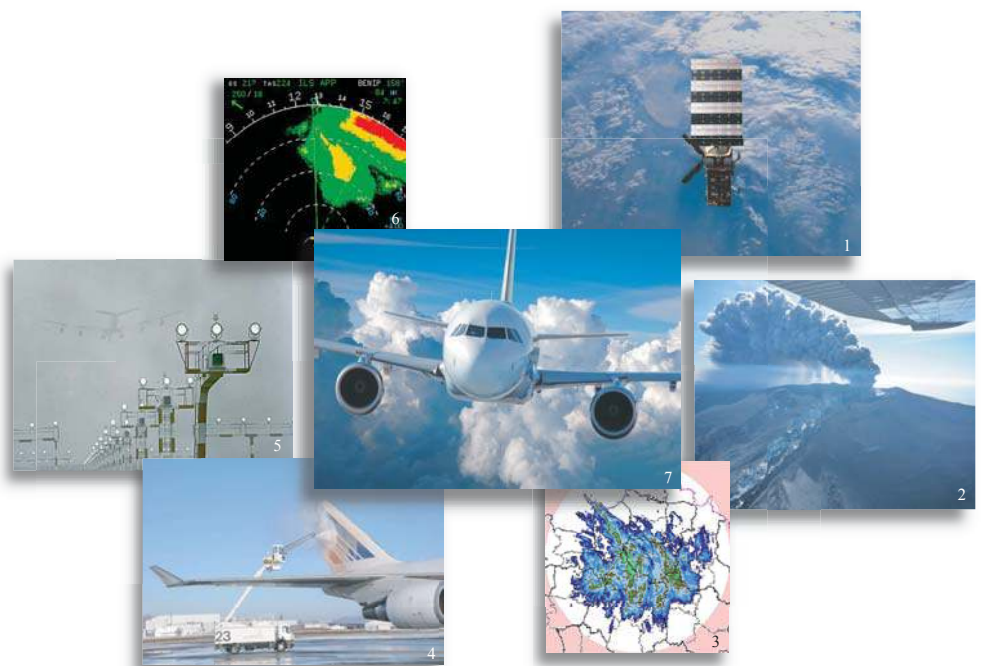




## Trafic aérien et météorologie

### *Air Traffic and Meteorology*





# **Trafic aérien et météorologie**

## *Air Traffic and Meteorology*

**Dossier 35 - 2011**

**Cover photo credits:**  
1: ESA - AOES Medialab1; 2: Sveinn Brynjólfsson IMO;  
3, 5: Météo-France; 4: DGAC; 7: Carlos Santa Maria Fotolia.com

**© Académie de l'air et de l'espace, 2011**  
**Tous droits réservés / All rights reserved**

Imprimé par / *Printed by*  
Evoluprint  
Parc Industriel Euronord - 10 rue du Parc - 31150 Bruguères  
[www.evoluprint.fr](http://www.evoluprint.fr)

ISBN 2-913331-51-3  
ISSN 1147-3657

## **Dossiers récents / Recent Dossiers:**

- n°34 **Une stratégie à long terme pour les lanceurs spatiaux européens, 2010**  
*Long-term Strategy for European Launchers, 2010*
- n°33 **Les Aéroports face à leurs défis, 2010**  
*Airports and their Challenges, 2010*
- n°32 **Prise de risque : conclusions et recommandations, 2009**  
*Risktaking: Conclusions and Recommendations, 2009*
- n°31 **Pour une approche européenne à la sécurité dans l'espace, 2008**  
*For a European Approach to Security in Space, 2008*
- n°30 **Le Rôle de l'Europe dans l'exploration spatiale, 2008**  
*The Role of Europe in Space Exploration, 2008*
- n°29 **Le Transport aérien face au défi énergétique, 2007**  
*Air Transport and the Energy Challenge, 2007*
- n°28 **La Sécurité des compagnies aériennes, 2007**  
*Airline Safety, 2007*
- n°27 **L'Europe de l'Espace ; enjeux et perspectives, 2006**  
*Space; a European Vision, 2006*
- n°26 **Compagnies de transport aérien à bas prix, 2006**  
*Low-fare Airlines, 2006*
- n°25 **La Révolution des drones, 2005**  
*The UAV Revolution, 2005*
- n°24 **L'Impact du trafic aérien sur l'environnement, 2004**  
*Impact of Aviation on the Environment, 2004*
- n°23 **La Menace balistique : quelle politique pour la France et l'Europe ?, 2004**  
*The Ballistic Threat: What should be the policy of France and Europe?, 2004*
- n°22 **L'Europe et les débris spatiaux, 2003**  
*Europe and Space Debris, 2003*
- n°21 **Retour d'expérience dans l'aviation civile, 2003**  
*Feedback from Experience in Civil Aviation, 2003*
- n°20 **Formation des pilotes, 2002**  
*Pilot Training, 2002*

# – CONTENTS –

<b>Foreword</b> .....	8
<b>Preamble</b> .....	12
<b>INTRODUCTION</b> .....	14
<b>SESSION 1: RELATIONSHIP BETWEEN AIR TRAFFIC AND METEOROLOGY</b>	
<b>1.1. Presentation of Laurent Barthélemy, Director Operations Control Centre, Air France</b> .....	16
<b>1.2. Presentation of Maurice Georges, Director of Air Navigation Services</b> ..	20
<b>1.3. Presentation of Alain Ratier, Deputy Director General of Meteo-France</b> ..	24
<b>1.4. Summary</b> .....	30
<b>SESSION 2: AIRPORTS AND METEOROLOGY</b>	
<b>2.1. Airlines: Managing day to day weather conditions, Bertrand de Courville, Corporate Safety Manager, Air France, AAE</b> .....	32
<b>2.2. Integrating weather information into A-CDM:</b>	
• <b>Positive experiences and upcoming plans, Étienne Van Zuijlen, Program Manager Airport CDM@AMS for KLM-AF, LVNL and Schiphol</b> ....	34
• <b>Meteo-France at the heart of CDM@CDG, a dedicated and enhanced collaboration: implications and achievements, Daniel Fournier, Assistant Regional Delegate Meteo-France 95, and Hervé Breton, Director of the CDM@CDG Programme</b> .....	36
<b>2.3. Evolution of meteorological services for aviation, today and tomorrow, Chi-Ming Shun, President of Commission for Aeronautical Meteorology, World Meteorological Organization, Assistant Director, Hong Kong Observatory</b> .....	40
<b>2.4. Improving arrival and departure management during severe weather conditions, Carmine Primeggia, MIT Lincoln Lab</b> .....	42
<b>2.5. Influence of weather conditions on air navigation performance, Xavier Fron, Head of the Performance Review Bureau Eurocontrol</b> .....	44
<b>2.6. Wake turbulence</b>	
• <b>Concepts of operations: towards more dynamic procedures, Jean-Pierre Nicolaon, Wake Vortex ATM Expert</b> .....	48
• <b>Meteorological data required for advanced wake vortex advisory systems aiming at pairwise dynamic aircraft spacing, Thomas Gerz, Frank Holzapfel, Klaus Dengler, Wake Vortex ATM Experts, Institute of Atmospheric Physics, DLR</b> .....	52
<b>2.7. Summary</b> .....	54

# - TABLE DES MATIÈRES -

<b>Avant-propos</b> .....	9
<b>Préambule</b> .....	13
<b>INTRODUCTION</b> .....	15
<b>SESSION 1 : RELATIONS ENTRE TRAFIC AÉRIEN ET MÉTÉOROLOGIE</b>	
1.1. <b>Présentation de Laurent Barthélemy</b> , Directeur du Centre de Contrôle des Opérations, Air France .....	17
1.2. <b>Présentation de Maurice Georges</b> , Directeur des Services de la Navigation Aérienne .....	21
1.3. <b>Présentation d'Alain Ratier</b> , Directeur Général Adjoint de Météo-France ..	25
1.4. <b>Synthèse</b> .....	31
<b>SESSION 2 : AÉRODROMES ET MÉTÉOROLOGIE</b>	
2.1. <b>La maîtrise du risque météorologique au quotidien dans une compagnie aérienne</b> , Bertrand de Courville, Chef du Service Prévention et Sécurité des Vols à Air France, AAE .....	33
2.2. <b>Intégration des informations météorologiques dans A-CDM :</b> • <b>Expériences positives et projets</b> , Étienne Van Zuijlen, Program Manager Airport CDM@AMS for KLM-AF, LVNL and Schiphol .....	35
• <b>Météo-France au cœur du CDM@CDG, une collaboration renforcée et dédiée : implications et réalisations</b> , Daniel Fournier, Adjoint au Délégué Départemental Météo-France 95 et Hervé Breton, Directeur de Programme CDM@CDG .....	37
2.3. <b>L'évolution des services météorologiques pour l'aviation, aujourd'hui et demain</b> , Chi-Ming Shun, President of Aeronautical Meteorology Commission, World Meteorological Organization, Assistant Director, Hong Kong Observatory .....	39
2.4. <b>Améliorer la gestion des arrivées et des départs en conditions météorologiques sévères</b> , Carmine Primeggia, MIT Lincoln Lab .....	43
2.5. <b>Influences des conditions météorologiques sur les performances de la navigation aérienne</b> , Xavier Fron, Chef du Bureau de la Revue des Performances, Eurocontrol .....	45
2.6. <b>Turbulence de sillage :</b> • <b>Concepts opérationnels pour des procédures plus dynamiques</b> , Jean-Pierre Nicolaon, Wake Vortex ATM Expert .....	49
• <b>Informations requises pour les systèmes d'alerte par paires d'avions</b> , Thomas Gerz, Frank Holzapfel, Klaus Dengler, Wake Vortex ATM Experts, Institute of Atmospheric Physics, DLR .....	51
2.7. <b>Synthèse</b> .....	55

### **SESSION 3: METEOROLOGY AND MAINTAINING SEPARATION**

<b>3.1. Models for understanding and predicting wind</b> , Gwenaëlle Hello, Deputy Director R&D, Forecasting Directorate, Meteo-France .....	58
<b>3.2. Meteorology and maintaining separations</b> , David Pace, Aviation Meteorologist, FAA.....	66
<b>3.3. Controllers faced with uncertainties in flight path forecasts</b> , Marc Baumgartner, IFATCA, SESAR/EASA Coordinator .....	68
<b>3.4. Future concepts of separation management</b> , Bob Graham, Programme Manager MTV-SESAR Concept Validation .....	70
<b>3.5. The impact of wind speed forecasting errors on detection of conflicts</b> , Jean-Marc Alliot, Head of R&D, DSNM .....	72
<b>3.6. Summary</b> .....	72

### **SESSION 4: EN-ROUTE PHENOMENA**

<b>4.1. Meteorological factors in recent air accidents</b> , Jean-Paul Troadec, Director of the French Bureau d'Enquêtes et d'Analyses .....	74
<b>4.2. Icing conditions at very high altitude and consequences on aircraft certification</b> , Eric Duvivier, Environmental Control Systems Section Manager, EASA .....	76
<b>4.3. Ice crystal icing: current knowledge and future research</b> , Walter Strapp, Environment Canada, Cloud Physics and Severe Weather Research Section .....	80
<b>4.4. Uplink met and flight safety: the FLYSAFE project</b> , Marc Fabreguettes, FLYSAFE Project Leader, THALES.....	84
<b>4.5. Taking weather conditions into account in operations</b> , Jean-Michel Roy, Test Pilot, Airbus .....	88
<b>4.6. Managing the impact of weather on air traffic control</b> , Ellen King, FAA System Operations, and Kevin Johnston, Senior Meteorologist, FAA System Operations .....	90
<b>4.7. Summary</b> .....	94

### **SESSION 5: AVENUES FOR RESEARCH**

<b>5.1. Concepts for aeronautics support in NextGen</b> , David Pace, Aviation Meteorologist, FAA .....	96
<b>5.2. The future ATM system and meteorology</b> , Dennis Hart, Aviation Meteorology Expert, Eurocontrol.....	98
<b>5.3. Meteorological information for aeronautics: en-route decision to climate change</b> , Herbert Pümpel, Chief Aeronautical Meteorology Division, WMO .....	100
<b>5.4. Aeronautics meteorology: lines of research</b> , Marc Pontaud, Deputy Director CNRM, Meteo-France .....	100
<b>5.5. Summary</b> .....	102

### **6. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**.....106

#### **Annexes:**

- Glossary .....	117
- Presentation of Air and Space Academy .....	120
- Publications .....	125

## SESSION 3 : MÉTÉOROLOGIE ET MAINTIEN DES SÉPARATIONS

- 3.1. **Les modèles pour connaître et prévoir le vent**, Gwenaëlle Hello, Directrice Adjointe R&D, Direction de la Prévision, Météo-France .....59
- 3.2. **Météorologie et maintien des séparations**, David Pace, Aviation Meteorologist, FAA.....67
- 3.3. **Le contrôleur face aux incertitudes des prévisions de trajectoire**, Marc Baumgartner, IFATCA, SESAR/EASA Coordinator .....69
- 3.4. **Les futurs concepts de maintien de séparation**, Bob Graham, Programme Manager MTV-SESAR Concept Validation .....71
- 3.5. **L'influence des erreurs de prévision de la vitesse du vent sur la détection de conflits**, Jean-Marc Alliot, Chef du Domaine R&D, DSNA....73
- 3.6. **Synthèse** .....73

## SESSION 4 : PHÉNOMÈNES EN ROUTE

- 4.1. **Les facteurs météorologiques dans les accidents d'avion récents**, Jean-Paul Troadec, Directeur du Bureau d'Enquêtes et d'Analyses .....75
- 4.2. **Conditions givrantes à très haute altitude et conséquences sur la certification des aéronefs**, Eric Duvivier, Environmental Control Systems Section Manager, EASA .....77
- 4.3. **Givrage par cristaux de glace : connaissances actuelles et futures recherches**, Walter Strapp, Environment Canada, Cloud Physics and Severe Weather Research Section .....81
- 4.4. **Transmission à bord de la météo et sécurité des vols : le projet FLYSAFE**, Marc Fabreguettes, Chef du Projet FLYSAFE, THALES.....85
- 4.5. **La prise en compte des conditions météorologiques en opérations**, Jean-Michel Roy, Pilote d'Essais, Airbus .....89
- 4.6. **Gérer l'effet de la météorologie sur le contrôle de la circulation aérienne**, Ellen King, FAA System Operations, et Kevin Johnston, Senior Meteorologist, FAA System Operations.....91
- 4.7. **Synthèse** .....95

## SESSION 5 : AXES DE RECHERCHE

- 5.1. **Concepts pour le support aéronautique dans NextGen**, David Pace, Aviation Meteorologist, FAA .....97
- 5.2. **Le futur système ATM et la météorologie**, Dennis Hart, Aviation Meteorology Expert, Eurocontrol .....99
- 5.3. **Information météorologique pour l'aéronautique : de la décision en route au changement climatique**, Herbert Pümpel, Chief Aeronautical Meteorology Division, WMO.....99
- 5.4. **Météorologie aéronautique : axes de recherches**, Marc Pontaud, Directeur Adjoint du CNRM, Météo-France.....101
- 5.5. **Synthèse** .....103

## 6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....107

### Annexes:

- Glossaire .....117
- Présentation de l'Académie de l'air et de l'espace .....121
- Publications .....125

# FOREWORD

*The Air and Space Academy endeavours to focus its attention and reflections on those issues it considers essential for a harmonious development of air and space activities. This is why, on the initiative of its section I “Scientific knowledge of air and space”, the decision was taken in early 2009 to organise an international conference on the impact of meteorology on air transport, concentrating on the problems encountered today and the research underway into solving them.*

*This is clearly a vast subject involving manufacturers, airlines, air traffic management services, airport management, meteorological services, certification authorities and pilots.*

*The interest generated by the conference, which took place on the site of Meteo-France in Toulouse on 9 and 10 November 2010, and the high level of international participation from all corners of the globe confirmed the crucial nature of the subject in the eyes of the main stakeholders. I should like to take this opportunity, on behalf of the Air and Space Academy, to express our gratitude to the companies and organisations who supported the organisation of this conference: Meteo-France, Aéroports de Paris, Airbus, the Chamber of Commerce and Industry of Toulouse, the Midi-Pyrenees Regional Council, EASA, Thales Air Systems, Thales Alenia Space, Air France, French civil aviation authority DGAC, Eurocontrol, the Haute-Garonne General Council and the Toulouse Municipality.*

*This initiative linked into the work also begun in early 2009 by the Academy’s Foresight commission charged with studying the air transport system in 2050. These reflections are designed to help support long-term planning by air transport policy makers and the aeronautics industry, as well as their customers and society as a whole.*

*The conclusions contained in this dossier on Air Traffic and Meteorology therefore constitute a contribution to this foresight initiative.*

# AVANT-PROPOS

L'Académie de l'air et de l'espace s'efforce de concentrer son attention et ses réflexions sur les sujets qui lui semblent importants pour le développement harmonieux des activités dans l'air et dans l'espace. C'est ainsi qu'à l'initiative de sa section I, "Connaissance scientifique de l'air et de l'espace", elle a décidé au début de l'année 2009 d'organiser un colloque international sur l'effet des conditions météorologiques sur le transport aérien, les problèmes rencontrés aujourd'hui et les recherches qui sont menées pour les résoudre.

Il s'agit d'un sujet très vaste impliquant les constructeurs, les compagnies aériennes, les organismes de gestion du trafic aérien, les gestionnaires d'aéroports, les services météorologiques, les autorités de certification et les pilotes.

L'intérêt suscité par ce colloque organisé sur le site de Météo-France à Toulouse les 9 et 10 novembre 2010, la forte participation internationale et la diversité d'origine des participants, ont confirmé que l'importance du sujet traité était partagée par la plupart des acteurs du secteur. Qu'il me soit permis ici d'exprimer la gratitude de l'Académie de l'air et de l'espace aux sociétés et organisations qui ont apporté leur soutien à l'organisation de ce colloque : Météo-France, Aéroports de Paris, Agence européenne de sécurité aérienne, Airbus, la chambre de commerce et d'industrie de Toulouse, le conseil régional Midi-Pyrénées, Thales Air Systems, Thales Alenia Space, Air France, la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), Eurocontrol, le conseil général de la Haute-Garonne et la mairie de Toulouse.

Cette initiative s'inscrit aussi dans le champ de la réflexion entreprise depuis le début de l'année 2009 par la commission "Prospective" de l'Académie dont le thème de travail est le transport aérien à l'horizon 2050. Cette activité a été lancée pour aider dans leurs réflexions sur le long terme tous les décideurs liés au transport aérien et à l'industrie aéronautique, sans oublier les clients et la société civile dans son ensemble.

*Our thanks go to the members of the programme committee of the Air Traffic and Meteorology conference – and in particular chairman Paul Kuentzmann – for their hard work in preparing this event. Under his direction, moreover, most of the committee agreed to pursue their commitment through 2011 in order to elaborate this dossier.*

**Gérard Brachet**

President of the Air and Space Academy

Les réflexions contenues dans ce dossier de synthèse du colloque “Trafic aérien et météorologie” constituent ainsi une contribution à cette démarche prospective.

Je remercie les membres du comité de programme du colloque “Trafic aérien et météorologie”, et en particulier son président Paul Kuentzmann, qui ont effectué un travail considérable pour la préparation de ce colloque. En outre, sous sa direction, la plupart d’entre eux ont accepté de poursuivre leur engagement pendant toute l’année 2011 pour l’élaboration de ce dossier.

**Gérard Brachet**

*Président de l’Académie de l’air et de l’espace*

# PREAMBLE

*The conference on “Air Traffic and Meteorology” was organised by the Air and Space Academy with the aim of bringing together international specialists from aviation meteorology and air traffic control and operations. This conference met expectations both in terms of the number of participants and their standing – especially European and international attendees – and also as regards the wealth of information imparted and shared. The present dossier endeavours to summarise the information presented and the ensuing conclusions. The following persons took part in drawing up this dossier (in alphabetical order):*

- *Pierre Andribet*
- *Pierre Bauer*
- *Dominique Colin de Verdière*
- *Patrick Dujardin*
- *Jean-Marc Garot*
- *Paul Kuentzmann*
- *Anne-Marie Mainguy*
- *Christiane Michaut.*

# PRÉAMBULE

Le colloque “Trafic aérien et météorologie” de l’Académie de l’air et de l’espace a été conçu comme un carrefour entre des spécialistes français et étrangers de la météorologie aéronautique, du contrôle aérien et de l’exploitation des avions. Le déroulement de ce colloque a été jugé satisfaisant tant par le nombre et la qualité des participants, notamment étrangers, que par la richesse des informations communiquées et des débats. Ce dossier s’efforce de faire une synthèse des informations recueillies et des conclusions qui peuvent en être déduites. Ont participé à la rédaction du dossier, par ordre alphabétique :

- Pierre Andribet
- Pierre Bauer
- Dominique Colin de Verdière
- Patrick Dujardin
- Jean-Marc Garot
- Paul Kuentzmann
- Anne-Marie Mainguy
- Christiane Michaut.

# AIR TRAFFIC AND METEOROLOGY

## INTRODUCTION

*The impact of weather conditions on air transport is obvious to any passenger: what frequent flyer has never been confronted with patches of turbulence or delays due to bad weather conditions? This simple observation merely confirms that the atmosphere is alive with extremely varied, fleeting phenomena to which aircraft must adapt. It is important to take a closer look at these meteorological phenomena, draw up a list and examine their consequences.*

*The first issue to be dealt with is that of the impact of meteorology on flight safety, punctuality and capacity, and the resulting economic consequences. To this end, it is vital to identify weather phenomena with the greatest impact.*

*The second issue concerns the current availability of weather information and the use to which it is put by air transport players. The large number of players can lead to differing perceptions of this question, for example as regards the priorities to give to such and such a phenomenon.*

*Lastly, it is essential to identify avenues for progress which would help make air traffic less vulnerable to weather conditions.*

\* \* \*

# TRAFIC AÉRIEN ET MÉTÉOROLOGIE

## INTRODUCTION

L'incidence des conditions météorologiques sur le transport aérien est une observation banale pour tout passager : quel usager régulier du transport aérien n'a-t-il pas été confronté à des périodes de vol turbulent ou à des retards attribués à des conditions météorologiques dégradées ? Au-delà de ce simple constat qui ne fait que traduire que l'atmosphère est le siège de phénomènes extrêmement variés et temporaires, auxquels tout avion doit s'adapter, il convient de recenser ces phénomènes météorologiques et de s'interroger sur leurs conséquences.

La première question à se poser est celle de l'effet de la météorologie sur la sécurité, la régularité et la capacité du transport aérien, ainsi que sur les conséquences économiques qui en découlent. Dans cette perspective, il importe d'identifier les phénomènes météorologiques ayant le plus fort impact.

Le second point à aborder est celui de l'état actuel des informations météorologiques disponibles et de l'utilisation qui en est faite par les acteurs du transport aérien. Ces acteurs étant nombreux, il n'est pas impossible que leurs perceptions respectives du problème général puissent être différentes, par exemple pour les priorités à donner à tel ou tel phénomène.

Enfin, il paraît indispensable d'identifier les pistes de progrès qui pourront rendre le trafic aérien moins dépendant des conditions météorologiques.

\* \* \*

## **SESSION 1: RELATIONSHIP BETWEEN AIR TRAFFIC AND METEOROLOGY**

**President: Paul Kuentzmann, Senior Advisor ONERA, AAE**

**Secretary: Jean-Marc Garot, Advisor CGEDD**

*This first session was intended as an introduction to the existing relationship between air traffic and meteorology and, as such, was directed particularly at non-specialists. With this aim in mind, three French public figures were invited to speak, representing respectively an airline (Air France), air navigation services (DSNA) and meteorological services (Meteo-France).*

### **1.1. Presentation of Laurent Barthélemy, Director Operations Control Centre, Air France**

*Laurent Barthélemy began by presenting the main figures for Air France-KLM, a member of the Skyteam alliance which serves one of the most highly developed networks in the world: a combined fleet of over 400 aircraft, operating 1,600 flights per day including 200 long-haul, with 800 daily movements at Roissy and 350 at Orly.*

*He then went on to present the Operations Control Centre he manages. This structure brings together some fifty persons from all domains – operational, technical and even commercial (maintenance, air operations, freight ...) – with the aim of ensuring that the planned schedule of flights is respected in optimal conditions, despite a multitude of unforeseen factors. Many of the latter concern weather phenomena (snow, fog, thunderstorms, hurricanes, etc.); others are of a technical nature (technical failures, airport closures, airspace congestion ...) or can be due to industrial action. Some atypical events, such as volcanic eruptions and geopolitical crises, can be equally disruptive.*

*Meteorology is one of the main factors that must be taken into account because of its many facets which not only impact the major priority of flight safety, but also affect both customer satisfaction – in terms of punctuality, regularity of flights and successful connections in hubs – and the economic vitality of airlines. Meteorology is thus at the heart of an airline's decision-making process. And while the air transport system has made huge technological progress and experienced remarkable development in the past few decades, it nonetheless remains sensitive to weather phenomena – fog, snow and black ice in particular – although our knowledge of such phenomena is constantly improving and predictions are becoming more accurate.*

## **SESSION 1 : RELATIONS ENTRE TRAFIC AÉRIEN ET MÉTÉOROLOGIE**

**Président :** Paul Kuentzmann, *Haut Conseiller ONERA, AAE*

**Rapporteur :** Jean-Marc Garot, *Conseiller CGEDD*

Cette première session a été conçue comme une introduction aux relations existant entre le trafic aérien et la météorologie, à destination en particulier d'un public peu familiarisé de la question. Dans cette perspective, il a paru intéressant de donner la parole à trois hautes personnalités françaises représentant respectivement une compagnie aérienne (Air France), des services utilisateurs de la navigation aérienne (DSNA) et des services météorologiques (Météo-France).

### **1.1. Présentation de Laurent Barthélemy, Directeur du Centre de Contrôle des Opérations, Air France**

Laurent Barthélemy a rappelé les chiffres les plus significatifs de la compagnie Air France-KLM, membre de l'alliance Skyteam, qui s'appuie sur l'un des réseaux mondiaux les plus développés : une flotte globale de plus de 400 avions, 1600 vols par jour, dont près de 200 long-courriers, 800 mouvements quotidiens à Roissy et 350 à Orly.

Il a ensuite présenté le Centre de contrôle des opérations qu'il dirige. Cette structure réunit une cinquantaine de personnes de toutes les fonctions opérationnelles, techniques et même commerciales (maintenance, opérations aériennes, fret, ...) pour aider à réaliser dans les meilleures conditions le programme prévu des vols, en faisant face aux aléas multiples. Une grande partie de ces aléas concerne des phénomènes météorologiques (neige, brouillard, tempêtes, cyclones), d'autres sont de caractère technique (pannes d'avion, fermeture d'aéroport, encombrement de l'espace aérien, ...) ou portent sur des conflits sociaux. Il existe aussi des aléas atypiques, mais tout aussi perturbants, comme par exemple les éruptions volcaniques et les crises politiques.

La météorologie est l'un des facteurs les plus importants à prendre en compte, du fait des enjeux multiples, certes pour la sécurité des vols qui constitue une priorité mais aussi pour la satisfaction des clients sur les plans de la ponctualité, de la régularité des vols, du succès des correspondances dans les "hubs" et pour la santé économique des compagnies aériennes. La météorologie est donc au cœur du processus décisionnel d'une compagnie aérienne. Si le transport aérien a connu des progrès techniques et un développement remarquable ces dernières décennies, force est de constater qu'il reste extrêmement sensible aux phénomènes météorologiques, brouillard, neige et verglas en particulier, même si ces phénomènes sont de mieux en mieux connus et prévus.

*Some recent examples of the impact of weather conditions are a good illustration of this state of affairs. The snowfall between 17 and 21 December 2009 forced Air France to cancel 1,270 flights; certain flights were cancelled at the last minute because of insufficiently reliable forecasts, lack of anticipation or an under-estimate of the real quantity of snow. The Xynthia windstorm, which crossed Vendee and Charente Maritime on 28 February 2010 before heading towards Ile-de-France, caused 370 flights to be cancelled, including some long-haul. The volcano eruption in Iceland in April 2010 resulted in 7,000 flights being cancelled and the loss of 700,000 passengers to Air France over five days and had a substantial economic impact.*

*Two projects are underway to assist Air France in facing up to adverse weather conditions:*

- *CDM (Collaborative Decision Making), a project initiated in 2004 at Charles de Gaulle airport, which brings together air traffic control services, airport personnel, Air France and French meteorological services in the same structure to share information and reinforce operational collaboration in the airport;*
- *FAR (Flight Assistance Reengineering), an internal Air France project aimed at completely overhauling the process of flight preparation and assistance. There is a moment at which all available information (weather, opening/closing of runways ...) must be taken into account in order to prepare a flight; this is particularly important for long-haul flights. Flight plans are then transmitted to crews who can either accept them or modify them to take account of evolving phenomena in the case of very long flights.*

*It is essential to assist the crew in all ways possible and to integrate all available information, whether from the ground or on board. Air France plans to reinforce the role of dispatchers, a profession that already exists, by way of an approach used some years ago by Delta and KLM in particular. The intention of this initiative is clearly to enhance a relationship of trust that exists between flight crews and technical ground support. This important project will span the next two years and is likely to significantly modify the internal functioning of the airline.*

*Air France's main aspirations as regards meteorological information can be summarised as follows:*

- *improve forecasts in terms of reliability and anticipation, particularly for snow and fog;*
- *reinforce collaborative processes;*
- *achieve an appropriate regulatory framework and decision-making processes;*
- *develop new ground or onboard equipment, provided they make a real contribution in terms of safety or economics.*

Cette situation est illustrée par quelques exemples récents de l'impact d'épisodes météorologiques. Les chutes de neige qui ont eu lieu du 17 au 21 décembre 2009 ont contraint Air France à annuler 1270 vols ; certaines annulations ont dû être faites "à chaud", à cause de l'insuffisante fiabilité des prévisions, du manque d'anticipation ou de la sous-estimation de la quantité réelle de neige. La tempête Xynthia, qui a traversé le 28 février 2010 la Vendée et la Charente Maritime, a poursuivi sa course vers l'Île-de-France et 370 vols, dont certains long-courriers, ont dû être annulés. L'éruption du volcan islandais en avril 2010 a entraîné l'annulation de 7000 vols et la perte de 700 000 passagers à Air France en cinq jours, entraînant un impact économique considérable.

Deux projets sont en cours pour aider Air France à mieux faire face aux aléas météorologiques :

- le CDM (Collaborative Decision Making), projet lancé en 2004 sur l'aéroport Charles de Gaulle, qui réunit dans une même structure le contrôle aérien, l'aéroport, Air France et Météo-France, de façon à renforcer le partage d'informations et la collaboration opérationnelle sur l'aéroport ;
- le FAR (Flight Assistance Reengineering), projet interne à Air France et qui consiste à revoir complètement le processus de préparation et d'assistance des vols. Il existe en effet un instant où doivent être prises en compte toutes les informations disponibles (météorologie, ouverture/fermeture de terrain, ...) pour permettre la préparation d'un vol, pour un long-courrier en particulier. Les plans de vol sont alors mis à disposition des équipages, qui peuvent, soit se les approprier, soit décider d'éventuelles modifications, compte tenu d'une possibilité d'évolution des phénomènes lorsque le vol est très long.

Il est donc essentiel d'apporter aux équipages tout le support possible et de croiser toutes les informations disponibles, qu'elles proviennent du sol ou du bord. Air France souhaite renforcer le rôle de dispatcher, un métier qui existe déjà, en s'appuyant sur la démarche entreprise il y a quelques années par Delta et KLM en particulier. L'intention est donc de fortifier le lien de confiance existant entre les équipages et le support technique du sol. Ce projet important va s'étaler sur les deux prochaines années et est susceptible de modifier sensiblement le mode interne de fonctionnement de la compagnie.

Les principales attentes d'Air France vis-à-vis de la météorologie peuvent être synthétisées comme suit :

- améliorations des prévisions en termes de fiabilité et d'anticipation, en particulier pour la neige et le brouillard ;
- renforcement des processus collaboratifs ;
- adaptation du cadre réglementaire et des processus de décision ;
- développement des nouveaux équipements au sol ou embarqués, sous la condition qu'ils apportent une véritable valeur ajoutée sous l'angle de la sécurité et sous celui de l'économie.

## **1.2. Presentation of Maurice Georges, Director of French Air Navigation Services**

*Maurice Georges started by reminding us that, in France, air navigation forms part of a global civil aviation system directed by the civil aviation authority DGAC. Given the multitude of decision mechanisms involved in the air transport system, this organisation, unique in Europe, has the advantage of giving voice to the opinions of all actors in the system as well as addressing issues raised by public bodies concerning safety and the overall organisation of air traffic. Air navigation is thus at the heart of the air transport system, and the aim is to ensure the best transportation for the greatest number of passengers and operators, guaranteeing both safety and flight punctuality.*

### **1.2.1. Air navigation and meteorology**

*In the early days of aviation, meteorology was undoubtedly more important than air navigation: there were more clouds in the sky than aircraft after all! Weather studies therefore have a longer aeronautics history than air traffic control.*

*Weather information is essential for any type of flight, as a decision aid; but exactly what decisions are based on it and which players need it? Inherent difficulties that must be faced include:*

- *the complexity of the system in terms of decision making, before or during flight;*
- *designation of the decision maker: is it always the captain? Or should the decision be shared by other actors, the airline or even public authorities, a tendency that is growing via the concept of collaborative decision making?*

*Meteorology constitutes one of the mainstays of the ICAO Convention and it is important to view it not only from the angle of a set of regulations to be applied, but also as an operational parameter to be taken into account, providing information beyond statutory regulations.*

*Air traffic control services use weather information to base their decisions on and they also transmit this information to pilots, two distinct but complementary roles. Meteorological information supports airport management. In extreme cases, this information forms the basis for the decision if necessary to close an airport or airspace and reroute traffic correspondingly. Traditional information from observation and forecasting is transmitted to crews so that they can make their decisions either directly or via air traffic control services. Demand from pilots and airlines tends to be for more accurate information on the situation in real time. Consequently the role of air traffic control within meteorology will remain important.*

## 1.2. Présentation de Maurice Georges, *Directeur des Services de la Navigation Aérienne*

En préambule, Maurice Georges a souhaité rappeler qu'en France la navigation aérienne est intégrée dans un système global de l'aviation civile, piloté par la DGAC, service public d'État. Compte tenu de la multitude des mécanismes de décision dans le transport aérien, cette situation, unique en Europe, permet de prendre en compte d'une part les avis de chacun des acteurs du système et d'autre part, les questions de puissance publique pour la sécurité et l'organisation générale du trafic aérien. La navigation aérienne est donc au cœur du système du transport aérien, avec l'objectif d'assurer le meilleur transport pour le plus grand nombre de passagers et d'opérateurs, en alliant sécurité et régularité du trafic.

### 1.2.1. *La navigation aérienne et la météorologie*

Au début de l'aviation de transport, la météorologie a eu sans doute plus d'importance que la navigation aérienne : il y avait plus de nuages dans le ciel que d'avions ! La météorologie possède donc une plus longue histoire aéronautique que le contrôle du trafic aérien.

L'information météorologique est indispensable pour assurer tout type de vol, comme support à la décision mais pour quelles décisions et quels acteurs ? Les difficultés suivantes doivent être affrontées :

- la complexité du système en matière de prise de décision, qu'elle intervienne avant le vol ou pendant le vol ;
- la désignation du preneur de décision. Est-ce toujours le commandant de bord ? Ou la décision doit-elle être partagée par d'autres acteurs, la compagnie, voire la puissance publique, une tendance se développant au travers du concept de "décision collaborative" ?

La météorologie constitue l'un des piliers de la convention de l'OACI et il est important de considérer la météorologie, non pas seulement sous l'angle d'une réglementation à appliquer mais aussi comme un paramètre opérationnel à prendre en compte, avec la fourniture d'informations au-delà de l'aspect réglementaire.

Les services de contrôle du trafic aérien sont à la fois utilisateurs d'informations météorologiques pour prendre leurs décisions et transmetteurs d'informations aux pilotes. Ces deux rôles distincts sont complémentaires. L'information météorologique aide les décisions pour la gestion aéroportuaire. Dans les cas extrêmes, cette information est requise pour prendre, si nécessaire, des mesures telles que la fermeture d'aéroport ou d'espace aérien et le déroutement corrélatif du trafic. Des informations classiques d'observation et de prévision sont transmises aux opérateurs aériens pour qu'ils puissent prendre leurs décisions directement ou au travers des services de contrôle du trafic aérien. La demande des pilotes et des compagnies aériennes porte sur des informations de plus en plus précises sur la situation en temps réel. De ce fait le rôle des services de

*Collaborative decision making, particularly important in weather crisis situations, is reliant on the quality of the network linking together the different actors accessing the information. It promotes a shared analysis of situations and a mutual comprehension of the skills and expectations of each of these actors: air operators, airports, meteorology and air navigation, along with local authorities and law enforcement services when crisis situations persist at airports.*

*The first phase of CDM is the collecting, preparing and exchanging of forecast information, then comes the risk analysis, strategic decision taking and tactical management of events and, after the event, operational and technical feedback from experience. CDM work methods therefore apply not only to difficult situations caused by adverse weather conditions (snow, strong wind ...) but also to situations in which weather is not the primary factor but plays a part (volcanic ash), or even to circumstances not involving weather at all (for example industrial action).*

### **1.2.2. Some examples of managing tricky situations**

*Despite greater and greater collaborative efforts, the lack of sufficiently accurate wind speed and direction forecasts can lead to excessive or insufficient caution, resulting in unsuitable decisions as to whether or not to close an airport. On 24 January 2009, a violent storm hit the South of France. A red alert had been issued the previous day but decisions were taken on the day itself and all traffic was rerouted towards the South-East. Faced with massive rerouting, the real-time crisis management process was set up and worked properly. Two weeks later, the same type of storm was announced for the North of France including Paris and, in order to anticipate a new batch of massive rerouting and airport congestion, the decision was taken by the Secretary of state for Transports to close the airspace over Greater Paris from 8pm till the following day. The airports were allowed to reopen at 10am.*

*One year on, such progress could have been consolidated for the Xynthia storm, which was correctly forecast well in advance. In order to avoid any excessive reactivity whilst remaining vigilant, the decision was taken not to cancel flights. And yet Charles de Gaulle airport was blocked for much of the morning and many flights were cancelled. The principle of CDM had been exploited to the full in order not to repeat previous mistakes but the result was a relative failure in terms of flight planning. These examples go to show that, despite significant progress, thanks in particular to the advent of CDM, it is extremely difficult to anticipate all eventualities during severe meteorological events but that, by remaining highly reactive, the impact of adverse weather conditions can be minimised.*

contrôle du trafic aérien vis-à-vis de la météorologie ne sera donc pas en réduction dans l'avenir.

Les mécanismes de prise de décision collaborative, particulièrement importants en situation de crise météorologique, reposent sur la qualité du réseau entre les différents acteurs amenés à partager l'information, en vue d'une analyse commune des situations et d'une compréhension mutuelle des compétences et des attentes de chacun des acteurs du réseau : opérateurs aériens, aéroports, météorologie, navigation aérienne, ... mais aussi préfetures et forces du maintien de l'ordre lorsque des situations de crise perdurent dans les aéroports.

La première phase du CDM est le recueil, la préparation et l'échange d'informations prévisionnelles ; viennent ensuite l'analyse des risques, la prise de décision stratégique, la gestion tactique des événements et, après événement, le retour d'expérience opérationnel et technique. Ainsi les méthodes de travail CDM s'appliquent non seulement lors de situations difficiles liées à des événements météorologiques (neige, vent fort, ...) mais aussi dans des situations un peu moins liées à la météorologie, même si celle-ci a son importance (cendres volcaniques), ou encore dans des situations où la météorologie est complètement absente (par exemple, conflit social dans la navigation aérienne).

### *1.2.2. Quelques exemples de gestion de situations délicates*

En dépit de fonctionnements de plus en plus collaboratifs, il s'avère qu'en étant, soit insuffisamment prudent, soit trop prudent, on a été amené à prendre, faute de prévision suffisamment précise de localisation et de force du vent, des décisions de fermeture ou non d'aéroport plutôt inadaptées. Le 24 janvier 2009, une très forte tempête a touché le sud de la France. L'alerte rouge avait été donnée la veille mais les décisions ont été prises le jour même et tout le trafic a été dérouteré vers le sud-est. Face à une situation de dérouterement massif, les processus de gestion de crise en temps réel ont été mis en place et ont correctement fonctionné. Quinze jours plus tard, le même type de tempête a été annoncé sur le nord de la France et sur l'Île-de-France et en vue d'anticiper une nouvelle situation de dérouterement massif et d'encombrement des aéroports, la décision a été prise, au niveau du Secrétaire d'État aux Transports, de fermer les aéroports franciliens de 20h au lendemain. La réouverture des aéroports a pu intervenir à 10h.

Un an après, les progrès auraient pu se concrétiser pour la tempête Xynthia, qui était bien annoncée. Les prévisions météorologiques se sont avérées correctes et afin d'éviter tout excès de réactivité tout en restant vigilant, la décision a été prise de ne pas supprimer de vols. Pourtant, l'aéroport Charles de Gaulle a été bloqué une grande partie de la matinée et de nombreux vols ont été annulés. Le principe du CDM avait été vraiment exploité pour ne pas reproduire les erreurs du passé et néanmoins le résultat a été un échec relatif pour l'organisation des vols. Ces quelques exemples prouvent qu'en dépit des progrès réalisés, notamment par la mise en place du CDM, lors d'événements météorologiques sévères il est

### **1.2.3. The cost of meteorology**

*Weather services cost money: in France they represent 6% of air navigation taxes, some 83 million euros. A joint goal on the part of DGAC and Météo-France is to control costs stemming directly from service provision and applied research. This means defining priorities. It would be possible merely to apply ICAO rules but recent improvements to meteorological services are not actually stipulated in ICAO regulations. Two questions therefore emerge:*

- *How to fund progress in meteorological technologies without increasing costs?*
- *How to define the value of research and set out priorities in terms of weather studies?*

### **1.2.4. French air navigation and meteorology within the Single European Sky**

*As far as the DSNA is concerned, European construction is closely linked to the creation of the FABEC block (Functional Airspace Block Europe Central), which is designed in the long term to bring together the air traffic control of six European countries (Germany, Benelux, France and Switzerland) plus the Eurocontrol centre in Maastricht. The aim is to arrive at joint air traffic control and hopefully, in the long run, a single air traffic control provider. The crucial question is how to integrate meteorology into FABEC. The first challenge is that of defragmenting the European service, moving from a network of air traffic control and meteorology providers to an integrated system on a level of continental Europe, perhaps along the lines of what exists already in the U.S. The second challenge is technological and is based around the SESAR programme which has the objective of shaping the technology and methods to be set in place for future air traffic control, in 2020 and beyond. The CDM concept is one element of SESAR. There is also a need for forward-looking meteorology based on high-level research but remaining close to operational applications.*

### **1.3. Presentation of Alain Ratier, Deputy Director General of Météo-France**

*Alain Ratier began by recalling that, in addition to the question of safety, meteorological services have also made huge progress in their understanding of additional air transport issues such as flight punctuality, costs and environmental constraints. This shared understanding has been gained through feedback from experience from high impact events. But relationships between air traffic and the weather services exist primarily on an institutional and operational level:*

- *on an institutional level, ICAO provides a regulatory framework with which the Single European Sky is designed to be coherent, while the*

vraiment difficile de tout anticiper, mais qu'une grande réactivité permet de minimiser l'impact des aléas météorologiques.

### ***1.2.3. Le coût de la météorologie***

La météorologie a un coût, en France elle représente 6 % des redevances de la navigation aérienne, soit l'équivalent de 83 millions d'euros. Un objectif commun à la DGAC et à Météo-France est de parvenir à maîtriser les coûts directement liés à la fourniture du service et ceux de la recherche appliquée. Cette maîtrise passe par la définition de priorités. Il serait possible de se contenter d'appliquer les prescriptions de l'OACI mais les développements récents d'amélioration du service météorologique ne sont pas directement prescrits par la réglementation de l'OACI. Il se pose donc deux questions ouvertes :

- Comment arriver à financer le progrès de la technique météorologique sans augmenter les coûts ?
- Comment définir la valeur de la recherche et comment définir les priorités en matière météorologique ?

### ***1.2.4. Navigation aérienne et météorologie françaises dans le ciel unique européen***

Pour la DSNA, une large part de la construction européenne est liée à la création du FABEC, bloc fonctionnel d'espace aérien en vue de rapprocher à long terme le contrôle européen de six pays (Allemagne, Benelux, France, Suisse) et le centre Eurocontrol de Maastricht. L'objectif est de parvenir à une prestation de contrôle commune, voire à terme à un prestataire unique de contrôle aérien. La question cruciale est de savoir comment intégrer la météorologie dans ce bloc FABEC. Le premier enjeu porte sur la défragmentation du service européen, qui consiste à passer d'un réseau de multiples prestataires du contrôle aérien et de météorologie à un système intégré à l'échelle de l'Europe continentale, peut-être en s'inspirant de ce qui existe aux États-Unis. Le second enjeu est technique : c'est le programme SESAR qui doit structurer à l'horizon 2020 et au-delà les techniques et les méthodes à mettre en œuvre pour le contrôle futur du trafic. Le concept CDM est un élément de SESAR. Il y a aussi besoin d'une météorologie d'avenir basée sur une recherche de haut niveau, tout en restant proche des applications opérationnelles.

## **1.3. Présentation d'Alain Ratier, Directeur Général Adjoint de Météo-France**

Alain Ratier a rappelé qu'au-delà de l'impératif de sécurité, les services de la météorologie ont fait de gros progrès dans la compréhension des autres enjeux que sont la régularité, les coûts et les contraintes environnementales pour le transport aérien. Cette compréhension partagée a été acquise au travers des retours d'expérience pour des événements à fort impact. Mais les relations entre

*World Meteorological Organisation ensures these regulations are properly transformed into technical reality by all meteorological services on a global level. Regulating entities, relaying the demands of the European Single Sky, express regulatory needs. In France it is the task of the civil aviation safety directorate (DSAC) to oversee Meteo-France and ensure the conformity of its services;*

- *on an operational level, it is a question of providing services to decision makers: air traffic managers, airlines, pilots and airport operators. In order to ensure an optimal service, Meteo-France must act in total technical and operational coherence with air traffic providers (including the air navigation services directorate (DSNA)) using detailed agreements to meet specific demands. Users also participate in Meteo-France's governance: a high council for meteorology (Conseil supérieur de la météorologie), comprising a certain number of commissions, has the task of formulating ideas to improve services. Two commissions are given over to aviation including the air transport commission, and a consultative commission is charged with economic aspects. Moreover two air transport representatives (Laurent Barthélemy and Maurice Georges) sit on Meteo-France's Board of directors. Air transport can therefore be seen to be properly represented in the decision making bodies of Meteo-France.*

*Meteorological services act both as weather monitoring centres and service providers in approach phases and near airports. The level of service is stipulated in regulations and depends on the category of the airport and its type of operation. Certain advanced services go beyond strict application of regulations: the main hubs often set up specific systems for managing capacity (in the case of fog, for example) and contribute to collaborative decision making. Regional functions also exist (defined by ICAO), to monitor volcanic ash and cyclones for instance. Lastly there is the question of managing datasets and exchange portals in order to provide and communicate information in a usable form. These different functions involve state of the art technology and dedicated development in such areas as observation resources (satellites, radars and sodars) and airport equipment. It is the combination of these technologies and their optimal use that makes for a high quality service.*

*Another of Meteo-France's missions is to predict meteorological conditions. Observations and digital models have been developed but their degree of uncertainty makes it difficult to predict atmospheric conditions with accuracy so human experience and expertise remain essential. The role of the forecaster therefore consists of analysing incoherences by matching up real-time information to the chronology built into the models. The forecaster's diagnosis of the situation thus includes forecasting*

le trafic aérien et la météorologie sont d'abord institutionnelles et opérationnelles :

- au niveau institutionnel, il existe le cadre réglementaire de l'OACI et le concept de Ciel unique européen défini en cohérence, et l'Organisation météorologique mondiale, laquelle s'assure que les éléments de réglementation de l'OACI sont bien traduits en termes techniques à l'échelle de la planète et de tous les services météorologiques. Le régulateur, qui est le relais des exigences du Ciel unique européen, exprime des besoins réglementaires. En France, c'est la direction de la sécurité de l'aviation civile qui contrôle Météo-France et s'assure de la conformité de ses prestations ;
- au niveau opérationnel, il s'agit de fournir des services aux preneurs de décision : gestionnaires de trafic, compagnies aériennes et pilotes, opérateurs d'aérodrome. Pour assurer le meilleur service, Météo-France doit agir en parfaite cohérence technique et opérationnelle avec les prestataires de circulation aérienne (dont la DSNA), avec des accords précis pour répondre à des besoins spécifiques. Les utilisateurs sont aussi impliqués dans la gouvernance de Météo-France ; il existe en effet un Conseil supérieur de la météorologie organisé en commissions, dont le rôle est de formuler des vœux pour l'amélioration des services, deux commissions concernent l'aviation, notamment une commission Aviation transport, une commission consultative s'intéresse aux aspects économiques. En outre deux représentants "personnes qualifiées" siègent au conseil d'administration de Météo-France (Laurent Barthélemy et Maurice Georges). On peut donc affirmer que le transport aérien est bien représenté dans les instances de décision de Météo-France.

Les services météorologiques sont à la fois centres de veille météorologique et prestataires de service pour l'approche et les aéroports. Le niveau de service est prescrit par le régulateur en fonction de la catégorie de l'aéroport et de son type d'exploitation. Il existe en outre des services avancés, qui vont au-delà de l'application stricte de la réglementation : les grandes plates-formes mettent en place des systèmes spécifiques pour la gestion des capacités (par exemple pour le brouillard) et apportent un soutien à la décision collaborative. Il y a aussi des fonctions régionales (les régions sont définies par l'OACI), comme la veille pour les cendres volcaniques, les cyclones. Enfin il y a la gestion des bases de données, les portails d'échanges, la mise en forme utilisable des informations et leur communication. Ces différentes fonctions impliquent de la haute technologie et des développements spécifiques tels que des moyens d'observations (satellites, radars, sodars) et des équipements d'aéroport. C'est la combinaison de ces techniques et leur utilisation optimale qui peut rendre le service performant.

La prévision météorologique constitue un autre volet de la mission de Météo-France. On dispose d'observations et de modèles numériques mais l'existence d'incertitudes sur les observations et les modèles rend la prévisibilité de

*uncertainties, an aspect that is crucial for decision making. This provides the working framework for the CDM model within a crisis cell.*

*Aeronautics is one of the most problematic areas for meteorological services because of the following characteristics:*

- *time and space scales: for general meteorology, the medium term represents three to ten days, but the air navigation timescale runs from 11 to 24 hours, for very detailed local scales (airports) or very large areas (en route). Ideally information would be updated very frequently, at least every hour, which is impossible at the current time;*
- *vulnerability to dangerous phenomena: icing conditions, turbulence, fog, electrical activity and snow are very difficult to predict for flight information regions and airports;*
- *uncertainties and the need to take them into account in any decision: progress has been made by means of probabilistic techniques by which the same model is repeated a large number of times while intelligently modifying the initial condition. This technique not only provides a forecast but also a spread around this forecast.*

*These different challenges argue for, on the one hand, a specific research and development programme and, on the other, targeted operations at major airports. One avenue for progress concerns refresh rates: it is essential to update information more frequently. Today high resolution models run every three hours and large scale models every six hours; the goal is to increase resolution, enhance the observations underpinning models and, above all, update forecasts every hour. The ultimate aim is therefore to produce more detailed, more regular and better integrated observations and models. As regards other specific problems such as volcanic ash, efforts must be put into improving our understanding of volcanic emissions and observing the dispersion of fine ash (network of lidars).*

*How can the air traffic and meteorology relationship be improved? SESAR makes mention of ambitious ATM concepts involving flight-path “door-to-door” management. Europeans would seem to have realised the importance of taking meteorology into account in SESAR rather late in the day, unlike the American NextGen approach. The situation must now be rectified.*

*A recurring demand on the part of airlines, for economic reasons, is for wind and temperature grids. This is not impossible, although areas of uncertainty will always remain: “One mustn’t imagine that the global air traffic management system will, even by 2020, be a completely automated organisation, a kind of vast tub of data in which grids enter information and produce decisions all by themselves. This is not possible. In approach zones*

l'atmosphère difficile et par conséquent l'expérience et l'expertise humaines restent essentielles. Le rôle du prévisionniste consiste donc à analyser les incohérences en recoupant les informations disponibles en temps réel et la chronologie prévue par les modèles. Il va donc établir un diagnostic de la situation en communiquant les incertitudes associées à la prévision ; ce qui va être décisif pour la prise de décision. C'est dans ce cadre que l'on retrouve le schéma de décision collaborative au sein d'une cellule décisionnelle de crise.

L'aéronautique est pour la météorologie l'un des domaines les plus difficiles en raison des besoins suivants :

- horizons et échelles : pour la météorologie générale, le moyen terme correspond à une fourchette de trois à dix jours, alors que la navigation aérienne a un besoin compris entre onze et vingt quatre heures, avec des échelles locales très fines (aéroports) ou sur des domaines larges (en route). L'information devrait être rafraîchie à très haute fréquence, au moins toutes les heures, mais cela est impossible aujourd'hui ;
- détection des phénomènes dangereux tels que conditions de givrage, turbulence, brouillard, activité électrique, neige : la prévision sur les zones d'information de vol et sur les aéroports est très difficile ;
- prise en compte des incertitudes : elle est essentielle pour la prise de décision. Un progrès a été fait en recourant à des techniques probabilistes : on fait tourner un grand nombre de fois le même modèle en perturbant intelligemment les conditions initiales, ce qui permet d'obtenir non seulement une prévision mais un écart autour de cette prévision.

Ces différents défis militent pour, d'une part, un programme de recherche et développement spécifique et, d'autre part, pour des déploiements ciblés sur les grands aéroports. Ces objectifs correspondent aux axes de progrès suivants : il est essentiel de rafraîchir plus fréquemment l'information. Aujourd'hui les modèles à haute résolution tournent toutes les trois heures et les modèles à grande échelle toutes les six heures ; l'ambition est d'accroître la résolution, de mieux utiliser l'observation pour contraindre les modèles et surtout de rafraîchir la prévision toutes les heures. L'objectif de la recherche est donc de produire plus souvent, plus finement et de mieux intégrer observations et modèles. D'autres problèmes spécifiques existent également comme celui associé aux cendres volcaniques. Des efforts sont à faire pour mieux connaître l'émission volcanique et pour observer la dispersion des cendres fines (réseau de lidars).

Comment peuvent évoluer les relations entre trafic aérien et météorologie ? Dans SESAR sont mentionnés des concepts ambitieux de gestion de trafic par trajectoires, de "porte à porte". Il semblerait que les Européens aient pris tardivement conscience que la météorologie devrait être prise en compte dans SESAR, au contraire de l'approche américaine dans NextGen. La situation doit être redressée.

Un besoin exprimé est la disponibilité de grilles de vents et de température, une demande récurrente des compagnies aériennes pour des motifs économiques. Ce

*and near major airports, decision aids based on specific technical systems for observation modelling will be needed.”*

*The challenge will be to share this information on a European Single Sky level. Another question which concerns the sector is that of information sharing between pilots, ground and weather services. During the FLYSAFE experiment, installed on research aircraft, weather “events” diagnosed by both meteorological radars and onboard radars are integrated and superimposed in real time inside the cockpit. This merging of information can raise technical problems to do with the different frequencies of these two types of radar, but would seem to represent a promising future approach for collaborative decision making.*

#### **1.4. Summary**

*Weather phenomena and eventualities are crucial to aeronautics activities because of their potential impact on the key issues of safety, punctuality/regularity and economics. It is essential to factor weather aspects into decisional processes and international regulations are designed to ensure this. Weather forecasting however still represents a considerable challenge as regards local phenomena such as fog or snow as well as longer flights: we are still limited in terms of both spatial resolution and data refresh frequency. All players agree on the need for progress in the reliability of forecasts and decisional processes.*

*Decisional processes have been positively impacted by the setting up of CDM in different airports; the resulting pooling of information and decisions is proving very constructive. Some obstacles exist in terms of the reliability of weather forecasting (although uncertainties are starting to be taken into consideration in probabilistic calculation techniques) and especially the updating of high frequency information, which comes up against technical obstacles.*

*Behind the urgent demand for progress in weather forecasting, other economic and strategic questions emerge: Is meteorological research sufficiently funded on a national or European level? Who should fund improvements in this area? The issue of changing regulations is also raised.*

n'est pas impossible mais il restera toujours des incertitudes : "Il ne faut pas croire que le système de gestion du trafic aérien mondial, même à l'horizon 2020, sera une affaire complètement automatique et une grande "lessiveuse" à données dans laquelle les grilles entreraient et produiraient toutes seules les décisions. Ce n'est pas possible. Il faut bien comprendre que dans les zones d'approche et près des grands aéroports, il faudra des systèmes d'aide à la décision basés sur des systèmes techniques de modélisation d'observation particuliers".

L'enjeu sera aussi de partager ces informations à l'échelle du Ciel unique européen. Une autre question qui préoccupe le secteur est le partage d'informations entre les pilotes, le sol et la météo. Lors de l'expérience FLYSAFE, mise en œuvre sur des avions de recherche, il a été possible d'intégrer et superposer en temps réel à l'intérieur du cockpit des "objets" météorologiques diagnostiqués à la fois par les radars météo et par le radar de bord. Cette fusion peut poser des problèmes techniques en raison des fréquences différentes des deux types de radar mais semble représenter une voie d'avenir et un axe prometteur de décision collaborative.

#### **1.4. Synthèse**

Les phénomènes et aléas météorologiques sont au cœur de l'activité aérienne en raison de leur impact potentiel sur les enjeux majeurs que sont la sécurité, la ponctualité et la régularité, l'économie. La prise en compte de la météorologie est essentielle dans les processus décisionnels et fait l'objet de règlements internationaux. La prévision météorologique représente cependant encore un véritable défi tant pour des phénomènes locaux tels que le brouillard ou la neige que pour les longs trajets et les horizons temporels élevés : des limitations existent actuellement tant au niveau de la résolution spatiale que pour la fréquence de rafraîchissement des données. Tous les acteurs s'accordent sur la nécessité de progrès dans la fiabilité des prévisions et dans les processus décisionnels.

Les processus décisionnels ont évolué favorablement par la mise en place de CDM sur différentes plates-formes aéroportuaires ; le partage des informations et des décisions s'avère extrêmement positif. Il reste quelques verrous touchant la fiabilité des prévisions météorologiques, bien qu'un mouvement soit amorcé pour la prise en compte des incertitudes grâce à des techniques de calcul probabilistes, et surtout le rafraîchissement des informations à haute fréquence, lequel se heurte à des obstacles techniques.

Derrière la demande, voire l'impatience, vis-à-vis des progrès des prévisions météorologiques se cachent également des questions économiques et stratégiques : la recherche météorologique est-elle suffisamment financée dans les cadres nationaux ou européen ? Qui doit supporter le coût des améliorations dans ce domaine ? Au-delà se pose aussi le problème de l'évolution de la réglementation.

## **SESSION 2: AIRPORTS AND METEOROLOGY**

**President:** **Dominique Colin de Verdière**, Scientific Advisor DSNA, AAE

**Secretary:** **Pierre Tabary**, SESAR Director for Meteo-France

*This session aimed to clarify users' needs and review the set of tools available to airport stakeholders in the area of weather observation, forecasting and their use. It assessed the needs of both pilots and air navigation services and examined airport CDM (Collaborative Decision Making), the impact of meteorology on the performances of air navigation services, the development of new products and the standardisation of associated new services, the reduction of wake vortex induced separations by means of more accurate weather observations and forecasting.*

### **2.1. Airlines: Managing day to day weather conditions,** **Bertrand de Courville**, Corporate Safety Manager, Air France, AAE

*For Bertrand de Courville, an Air France pilot, the risk attached to changing weather conditions around airports is properly managed in well identified situations; however meteorological factors are often present in accident scenarios. Better information is needed in real time in the face of rapidly changing weather conditions (wind shear, low visibility, heavy rain and convective phenomena). For an airline and its pilots, good quality weather forecasting is crucial for flight preparation. Flight safety relies on the quality of forecasts before and during the flight as well as on observations. The wind factor also has an impact on the quantity of fuel to be loaded and fuel management by the pilot. Low visibility and high winds can impose operational limitations on landings.*

*As a result, pilots must be constantly prepared for the following options: delaying take-off, delaying or cancelling approach, rerouting according to different circumstance, in particular weather conditions.*

*Safety data indicates that a large number of accidents take place during approach or landing (34%) and that weather phenomena are often a contributing factor. Accidents ascribed to poor weather conditions during these phases include runway excursions and loss of control, which could normally be avoided by performing a go-around, holding or rerouting. Taking weather information into consideration for decision making made during approach and landing phases is therefore essential. It is not extreme phenomena that are the main factors in accidents but rather rapidly evolving weather conditions such as wind, visibility, runway contamination,*

## SESSION 2: AÉRODROMES ET MÉTÉOROLOGIE

**Président :** **Dominique Colin de Verdière**, *Conseiller Scientifique DSNA, AAE*

**Rapporteur :** **Pierre Tabary**, *Chargé de Mission SESAR pour Météo-France*

Cette session s'est donné pour but d'expliciter les besoins des usagers et de rassembler les outils disponibles en matière d'observation, de prévision et d'utilisation des données météorologiques par les acteurs des aéroports. Elle a abordé le problème des besoins des pilotes et des services de la navigation aérienne, le CDM (Collaborative Decision Making) aéroportuaire, l'impact de la météorologie sur les performances des services de la navigation aérienne, le développement de nouveaux produits et la standardisation des nouveaux services associés, la réduction des séparations dues aux turbulences de sillage à l'aide d'observations et de prévisions météorologiques plus précises.

### **2.1. La maîtrise du risque météorologique au quotidien dans une compagnie aérienne**, *Bertrand de Courville, Chef du service Prévention et Sécurité des Vols à Air France, AAE*

Pour Bertrand de Courville, pilote à Air France, le risque météorologique sur les aéroports est bien géré dans les situations bien identifiées ; cependant le facteur météorologique est souvent mis en cause dans les accidents. Le besoin est donc de recevoir une meilleure information en temps réel en cas de changements rapides des conditions météorologiques (cisaillement de vent, dégradation de la visibilité, forte pluie, phénomène convectif). Pour une compagnie aérienne et ses pilotes, une bonne prévision météorologique est indispensable pour préparer les vols. La sécurité repose sur la qualité des prévisions utilisées avant et pendant le vol ainsi que sur les observations. Les vents ont un impact sur la quantité de carburant à emporter et en cours de vol, le pilote doit gérer les réserves de carburant. La visibilité et le vent peuvent imposer des limitations opérationnelles à l'atterrissage.

En conséquence, le pilote doit constamment laisser ouvertes des options : retarder le décollage, retarder ou renoncer à une approche, se dérouter en fonction de différentes circonstances, dont en particulier la météorologie.

Les données de sécurité montrent qu'une part notable des accidents ont lieu en approche ou à l'atterrissage (34 %) et que la météorologie contribue souvent aux accidents. Les accidents dus à la météorologie dans ces phases sont des sorties de piste et des pertes de contrôle, qui pourraient être *a priori* évitées par une remise de gaz, une attente ou un déroutement. La prise de décision en phase d'approche et d'atterrissage, en prenant en compte les facteurs d'informations météorologiques, est donc essentielle. Ce ne sont pas les phénomènes les plus

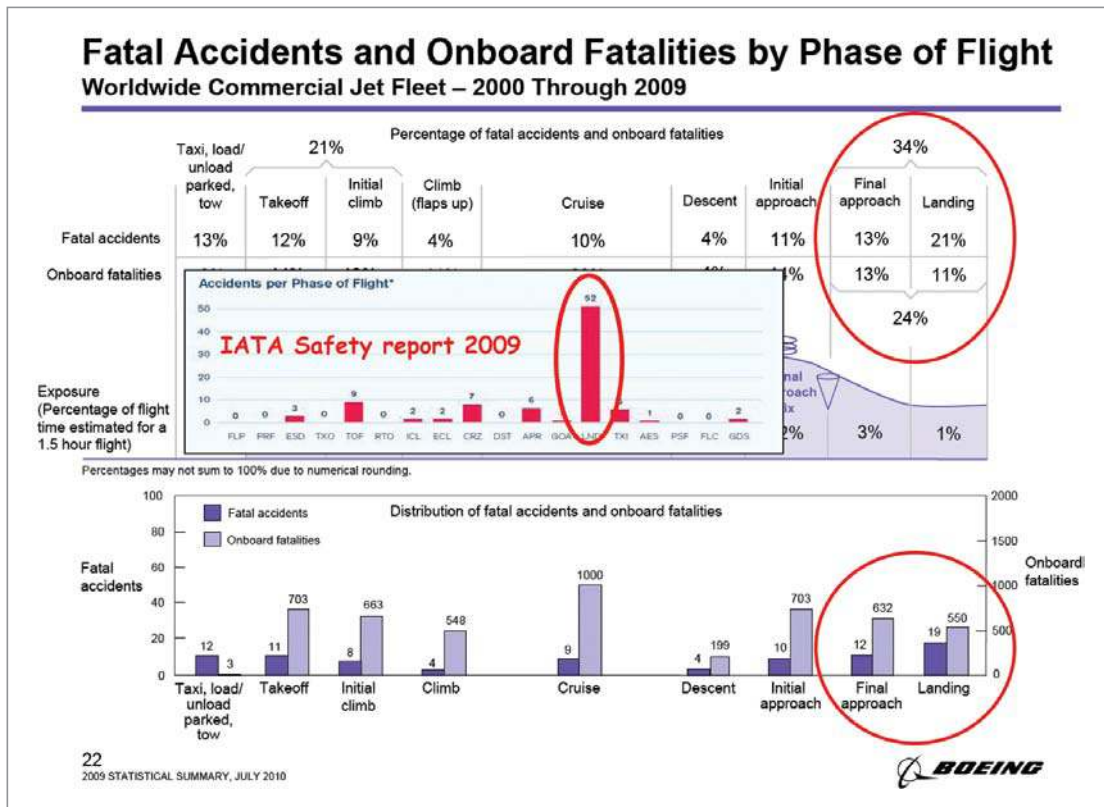


Figure 1 – Causes d'accident / Accident causes (Boeing 2010)

convective phenomena and fog patches. In the case of storms or reduced visibility conditions, the risks are well controlled although progress is still necessary to get better real time information to pilots on reduced visibility during heavy showers or fog for instance and on the presence of wind shear or wind rotation, microbursts, runway flooding, etc.

Additional improvements that would be welcomed include better hail detection by onboard radars and providing crews with information from ground weather radars, for example on the strength of storm cells.

## 2.2. Integrating weather information into A-CDM

### 2.2.1. Integrating Met into Airport Collaborative Decision Making; Positive experiences and upcoming plans, Étienne Van Zuijlen, Program Manager Airport CDM@AMS for KLM-AF, LVNL and Schiphol

The principles of CDM and the comprehensive use made of weather observations and forecasts were underlined. The need identified here was mainly for improved forecasting of the start and end times of degraded weather conditions (wind, visibility, thunderstorm) and their associated degrees of uncertainty. These forecasts are used as input in the decision-making process of the different players and constitute an important factor in

violents qui contribuent aux accidents mais les conditions météorologiques qui évoluent rapidement ; le vent, la visibilité, la contamination de la piste, les phénomènes convectifs, les bancs de brouillard sont les facteurs qui ont le plus fort impact. Pour les tempêtes ou les visibilités réduites, les risques sont bien maîtrisés, mais des progrès restent nécessaires, notamment une meilleure information aux pilotes en temps réel sur la réduction de la visibilité, dans le cas de fortes averses ou de brouillard, sur la présence de cisaillements ou rotations de vent, de microrafales, de noyage des pistes...

Des améliorations supplémentaires sont souhaitables comme par exemple une meilleure détection de la grêle par les radars de bord, la fourniture aux équipages d'informations issues de radars météorologiques, par exemple sur la puissance des cellules orageuses.

## 2.2. Intégration des informations météorologiques dans l'A-CDM

### 2.2.1. Intégration des informations météorologiques dans l'A-CDM; expériences positives et projets, Étienne Van Zuijlen, Program Manager Airport CDM@AMS for KLM-AF, LVNL and Schiphol

Les principes du CDM sont rappelés ainsi que l'usage intensif qui est fait des observations et prévisions météorologiques. Le besoin porte sur de meilleures prévisions des heures de début et de fin des mauvaises conditions météorologiques (vent, visibilité, orage), associées à des degrés d'incertitude. Ces prévisions constituent un facteur important dans le processus de décision des

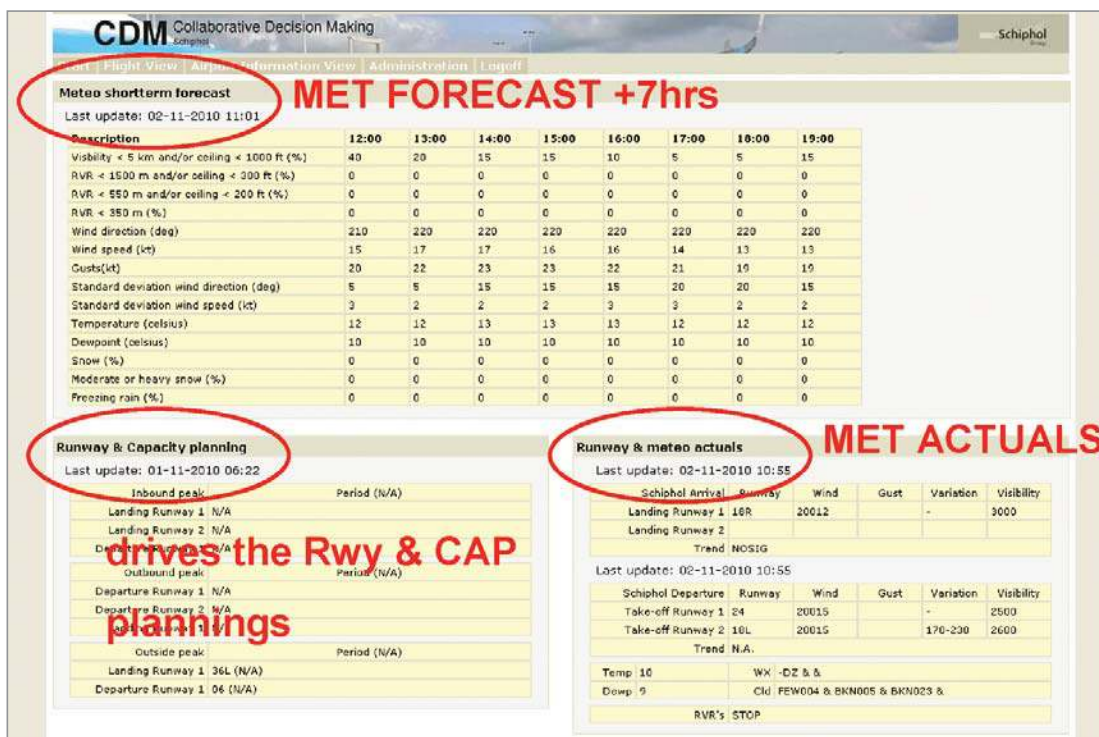


Figure 2 – Météorologie pour CDM à Amsterdam Schiphol / Meteorology for CDM at Amsterdam Schiphol

*reducing cancellations, increasing capacity, or managing priorities and delays.*

*Weather services provided on these airports go well beyond ICAO requirements. Meteorological products are tailored to local usage but must also be accessible and usable by international users so standardised display modes are necessary.*

*A study on degraded weather conditions is in progress led by a group of airport CDM experts aimed at supplementing the Eurocontrol CDM manual with chapters on de-icing, storms, heavy rain, wind, ceiling, fog, visibility and snow and defining generic procedures for European airports ([www.euro-odm.org/](http://www.euro-odm.org/)).*

**2.2.2. *Meteo-France at the heart of CDM@CDG, a dedicated and enhanced collaboration: implications and achievements*, Daniel Fournier, Assistant Regional Delegate METEO-France 95, and Hervé Breton, Director of the CDM@CDG Programme**

*The CDM programme of Paris-Charles de Gaulle airport (CDM@CDG), set in place progressively since 2004, brings together the main airport players: its operator Aéroports de Paris, the air navigation services, Air France and the other airlines grouped in an AOC association and Meteo-France. CDM@CDG also has strong links with Eurocontrol and the SESAR programme. CDG airport is the largest in Europe in terms of movements (525,000 arrivals/departures per year) and the second largest in terms of passengers (60 million per year). The day peak is 1,773 movements and the hour peak is 120 movements.*

*With regard to local weather phenomena, statistics for 2009 indicate:*

- *63 days with winds over 30 knots*
- *2 days with winds over 55 knots (maximum speed registered was 79.7 knots in 1990)*
- *42 days with fog*
- *22 days with storms*
- *17 days with snowfall*
- *42 days with air frost, including 6 without any thaw (greatest extremes of temperatures recorded were -17.8°C in 1985 and +39.0°C in 2009).*

*In the event of high wind, the use of boarding bridges, loading platforms and access ladders to aircraft is restricted; in the event of strong crosswinds, runway use is restricted. Snow, aircraft de-icing and snow removal operations, poor visibility and reduced ceiling all disrupt operations and often cause a drop in capacity. Check-lists have been established for the various different degraded weather situations and joint*

différents acteurs pour la réduction ou l'augmentation de capacité, l'annulation ou la gestion des priorités et des retards.

Les services météorologiques offerts sur ces aéroports vont bien au-delà des exigences de l'OACI en la matière. Les produits météorologiques sont adaptés aux usages locaux mais doivent pouvoir être accessibles et utilisables par des usagers internationaux, il est donc nécessaire de définir des modes standard de représentation.

Un travail est en cours par un groupe d'experts CDM-aéroports sur les conditions météorologiques défavorables, afin d'ajouter des chapitres au manuel CDM d'Eurocontrol pour traiter du dégivrage, des orages, des pluies intenses, du vent, du plafond, du brouillard, de la visibilité et de la neige et pour définir des procédures génériques pour les aéroports européens ([www.euro-odm.org/](http://www.euro-odm.org/)).

**2.2.2. *Météo-France au cœur du CDM@CDG, une collaboration renforcée et dédiée : implications et réalisations, Daniel Fournier, Adjoint au Délégué Départemental Météo-France 95, et Hervé Breton, Directeur de Programme CDM@CDG***

Le programme CDM de l'aéroport Paris-Charles de Gaulle (CDM@CDG) est mis en œuvre de façon progressive depuis 2004 ; il regroupe les principaux intervenants sur cette plate-forme : l'exploitant Aéroports de Paris, les services de la Navigation Aérienne, Air France et les autres compagnies, regroupées au sein de l'association AOC, Météo-France. CDM@CDG a aussi de forts liens avec Eurocontrol et le programme SESAR. La plate-forme CDG est la première en Europe pour le nombre de mouvements (525 000 arrivées/départs par an), la deuxième en termes de passagers (60 millions par an) ; la pointe journalière est 1773 mouvements et la pointe horaire, 120 mouvements.

Concernant les phénomènes météorologiques locaux, les statistiques indiquent pour 2009 :

- 63 jours avec un vent supérieur à 30 kt ;
- 2 jours avec un vent supérieur à 55 kt (la vitesse maximale enregistrée a été 79,7 kt en 1990) ;
- 42 jours avec brouillard ;
- 22 jours avec orage ;
- 17 jours avec chutes de neige ;
- 42 jours avec gelée sous abri, dont 6 sans dégel (les températures extrêmes enregistrées ont été -17,8 °C en 1985 et +39,0 °C en 2009).

En cas de vent fort, il y a des restrictions d'utilisation des passerelles, des plates-formes et des échelles d'accès aux avions ; en cas de fort vent de travers, l'exploitation des pistes est limitée. La neige, les opérations de dégivrage et de déneigement, la diminution de visibilité et de plafond perturbent l'exploitation et

performance indicators set up for safety, environment and quality of service (punctuality and regularity).

A technical weather group comprising all stakeholders was set up with the aim of pooling ideas on decision-making processes, identifying needs to be met and finding the best responses in terms of weather information. The main result was the setting up of the Meteo-France website for CDM@CDG:

- This site presents the most comprehensive set of information possible for understanding the situation and using forecasts. It contains information on past weather, local observations updated every six minutes (T, Td, wind and QNH) and indications of change. A dashboard presents overall information in the form of weather data with colour codes for thresholds along with an integrated display; forecasts are given from 0 to 7 days in the form of an aerogramme, a decision graph for wind is also provided.
- The site also contains conditions for low visibility procedures (LVP), radar images, satellite data, information on storms and general forecasting charts.
- The final touch is a weather “chat” enabling shared message exchanges with forecasters.

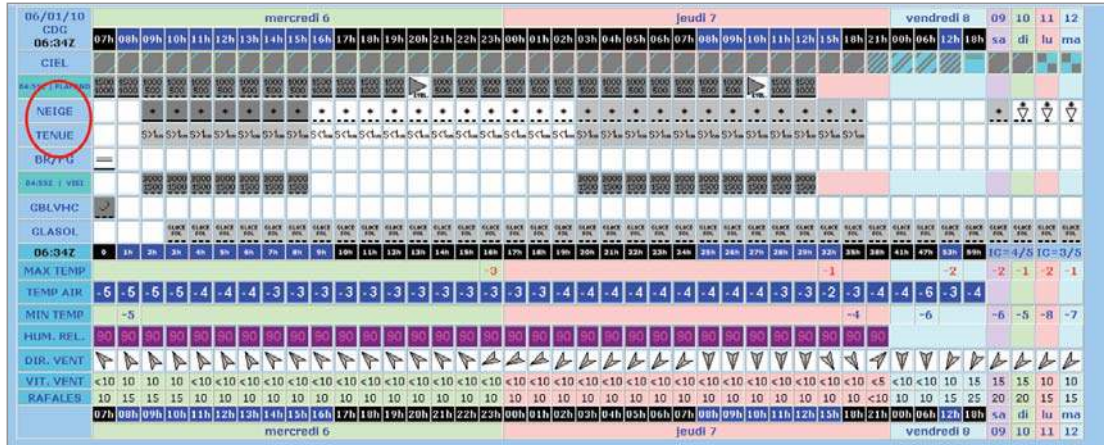


Figure 3 – Aérogramme de CDM@CDG pour l'épisode neigeux du 6 au 7 janvier 2010 / Aerogramme of CDM@CDG for snowfall on 6-7 January 2010

The experimentation phase fully confirmed the added value of the CDM scheme during the snowfall episode of January 2010. Likewise the local departures management scheme tested in summer 2010 showed a significant decrease in taxiing time (2 minutes per 20 minutes on average), more reliable timetables, optimised capacities and improved anticipation of delays. The core of the CDM@CDG scheme was declared operational in November 2010.

entraînent souvent une diminution de la capacité. Des fiches ont été établies pour les diverses situations météorologiques dégradées ; des indicateurs communs de performance ont été mis en place pour la sécurité, l'environnement et la qualité de service (ponctualité et régularité).

Un groupe technique météorologique regroupant les partenaires s'est réuni avec la mission d'échanger sur les processus décisionnels, d'identifier les besoins à satisfaire et de trouver les meilleures réponses en termes d'informations météorologiques. Le principal résultat a été la mise en place du site internet de Météo-France pour CDM@CDG :

- ce site présente la somme la plus complète possible d'informations pour apprécier la situation et nourrir les prévisions. Il s'agit d'informations sur le temps passé et d'observations locales actualisées toutes les six minutes (T, Td, vent et QNH) et d'indications d'évolution. Un tableau de bord présente l'information globale sous forme de données météorologiques avec des seuils par couleurs et d'un voyant de synthèse ; les prévisions sont données de 0 à 7 jours sous forme d'une aérogramme, une aide décisionnelle vent sous forme graphique est aussi fournie ;
- le site comporte aussi les conditions de procédures en faible visibilité (LVP), les images radar, les données satellites, les informations sur les orages et des cartes de prévisions générales ;
- le site est complété par un "chat" météorologique, permettant des échanges visibles avec le prévisionniste.

La phase d'expérimentation a démontré lors de l'épisode neigeux de janvier 2010 l'intérêt du plateau CDM ; les tests de la gestion locale des départs (GLD), lors de l'été 2010, ont montré une diminution significative des temps de roulage (2 minutes sur 20 minutes en moyenne), une fiabilisation des horaires, une optimisation des capacités et une meilleure anticipation des retards. Le cœur du CDM@CDG a été déclaré opérationnel en novembre 2010.

### **2.3. L'évolution des services météorologiques pour l'aviation, aujourd'hui et demain, *Chi-Ming Shun, President of Aeronautical Meteorology Commission, World Meteorological Organization, Assistant Director, Hong Kong Observatory***

Les services météorologiques fournis en zone terminale sont définis dans l'Annexe 3 de l'OACI et dans le document Tec Reg Vol II de l'OMM, les informations sont communiquées à la navigation aérienne, aux compagnies, aux pilotes et aux aérodromes. Sur les aérodromes les messages TAF et les METAR sont limités à un rayon de 8 km ; rien n'est défini spécifiquement pour l'ATM et en particulier pour supporter le CDM.

Les retards dus à la météorologie entraînent des consommations de carburant et des coûts supplémentaires et ont un impact sur l'environnement. L'ATM a besoin

### **2.3. Evolution of meteorological services for aviation, today and tomorrow, Chi-Ming Shun, President of Commission for Aeronautical Meteorology, World Meteorological Organization, Assistant Director, Hong Kong Observatory**

*Meteorological services for terminal zones are defined in ICAO Annex 3 and WMO Technical Regulations Vol. II and information is sent to air navigation services, airlines, pilots and airports. TAF and METAR messages are limited to a range of 8km around airports; nothing is specifically defined for ATM nor particularly to support CDM.*

*Delays caused by weather conditions lead to extra costs and fuel consumption and have a negative impact on the environment. ATM needs more accurate spatial and temporal weather information and probabilistic models are necessary to assist in decision making. The growth in traffic brings with it a need for new meteorological services and their standardisation.*

*Around airports, work has to be done on convective phenomena during approach, on entry and exit points and holding areas. Certain phenomena such as crosswinds or headwinds and wintry weather in general must also be studied. Forecasts must consider different timescales: Immediate forecast or nowcast (0 to 1hr.), short-term (0 to 6hr.) and medium-term forecast (up to 2 days). A large number of tools exist for presenting convective situations – in Australia, Hong Kong, France (ASPOC), USA (MIT-RAPT) – and tropical cyclones (Hong Kong). These tools do not provide coded messages but images: standardised displays are needed which factor in uncertainties. Training courses in these services and products must be provided for specialists as well as everyday users.*

*The new MSTA programme (Meteorological Service for Terminal Area) – developed for the WMO in collaboration with ICAO – should contribute to desired progress. The different MSTA stakeholders are pilots and airlines, Eurocontrol, Eumetnet and ICAO. The aim is to hold a joint meeting between WMO and ICAO in 2014 in order to amend ICAO's Annex 3.*

*The difficulties involved in enhancing meteorological services for aviation can be summarised in the following questions:*

- *What are the most critical elements for ATM?*
- *What are the needs in terminal areas?*
- *Which partners must be involved alongside ICAO, Eurocontrol, FAA, IATA, IFALPA and IFATCA?*
- *What level of performance is required? Certain performance goals exist in NextGen, but are very demanding; would it not be worthwhile setting up more realistic goals for today's products?*

d'informations météorologiques plus précises dans le temps et dans l'espace ; des modèles probabilistes pour aider à la prise de décision sont nécessaires. L'augmentation du trafic nécessite de nouveaux services météorologiques et leur standardisation.

Autour des aéroports, un besoin porte sur les phénomènes convectifs en approche, sur les points d'entrée et de sortie, sur les points d'attente. Certains phénomènes comme le vent de travers ou de face et les conditions hivernales sont aussi à considérer. Les prévisions doivent porter sur différents horizons temporels : prévision immédiate (Nowcast, 0 à 1 h), prévision à court terme (0 à 6 h), à moyen terme jusqu'à 2 jours. Un grand nombre d'outils existent pour présenter les situations convectives (Australie, Hong Kong, France – ASPOC -, USA (MIT-RAPT) et les cyclones tropicaux (Hong Kong). Les produits de ses outils ne sont pas des messages codés mais des images : des représentations communes prenant en compte des incertitudes sont nécessaires. La formation à l'utilisation des services et des produits doit être assurée tant pour les spécialistes que pour les usagers courants.

Les nouveaux services météorologiques pour zones terminales (MSTA, Meteorological service for terminal area), développés pour l'OMM en collaboration avec l'OACI devraient contribuer aux progrès souhaités. Les différentes parties prenantes engagées dans MSTA sont les pilotes et les

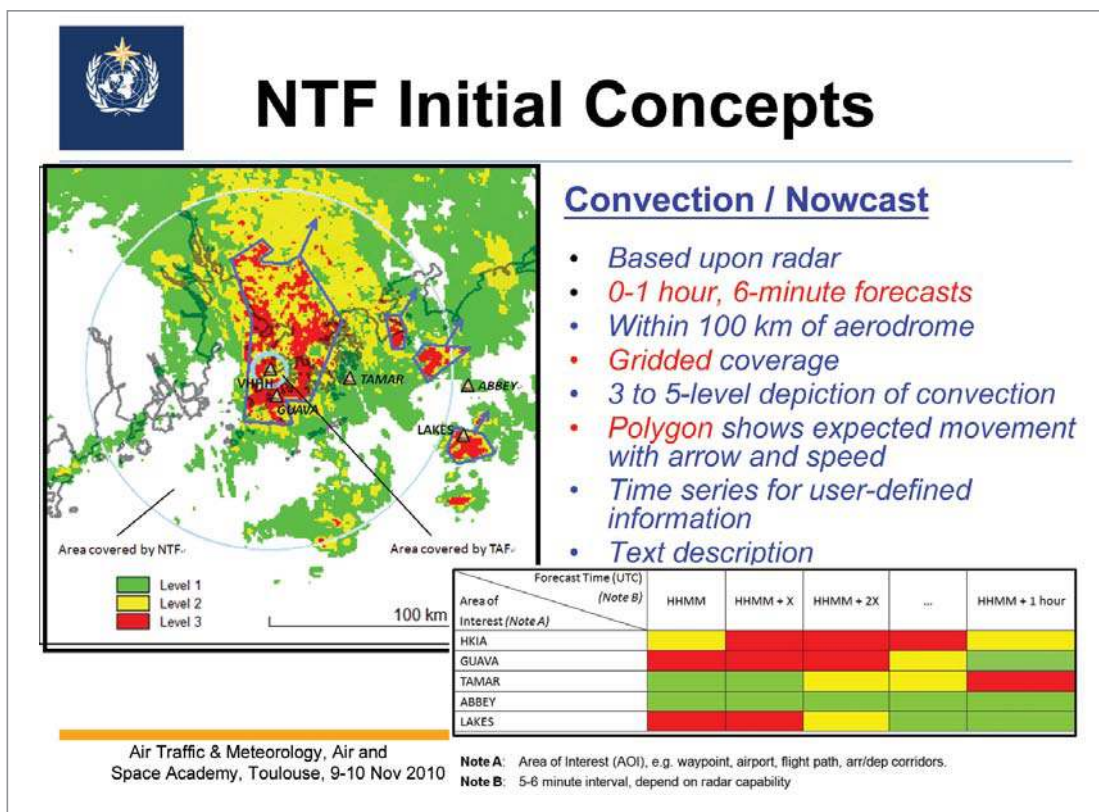


Figure 4 – Nouveau concept NTF / New Terminal Weather Forecast

- *Is it necessary to translate weather information into air traffic impact with uncertainty indicators for CDM? The answer is most likely a yes, as shown by U.S. and Japanese experience.*

#### **2.4. Improving arrival and departure management during severe weather conditions, Carmine Primeggia, MIT Lincoln Lab**

*A presentation was made of methods and tools developed for FAA by the Lincoln Lab for dealing with storm situations leading to restrictions on airspace capacity. The system as a whole is based on information from observations and forecasting models, on assessment of the traffic impact of weather and on traffic management decision-making processes.*

*For storm prediction, the COSPA (COnsolidated Storm Prediction for Aviation) tool provides a forecast for a 3km grid and a timescale of between 0 and 8 hours; this tool also determines the tops of the storms. The Route Availability Planning Tool (RAPT), launched in New York in 2003, has succeeded in accelerating departures by determining the operational impact of storms and anticipating route closures 30 minutes in advance.*

*Arrival sequencing management carried out by the TMA (Time Metering Advisory) tool makes for a capacity gain of 3-5% but, in the event of severe weather conditions, aircraft cannot follow the allocated trajectories and a new sequencing process is necessary. Improvements must therefore be made to the TMA tool.*

*As regards airports, the TFDM (Tower Flight Data Manager) system facilitates information sharing and a collaborative response to storm phenomena, and applies to arrivals, departures and ground movements.*

*Maintaining efficient operations during serious weather disruptions is one of the major challenges of NextGen; medium-term research in this area aims:*

- *to increase the operational use of arrival trajectories (Time Metering);*
- *to improve departure capacity when air routes are blocked by storms;*
- *to enhance traffic management on the ground by taking the impact of meteorology on arrivals and departures into consideration.*

*Progress recorded in several areas, for example by means of RAPT, has been encouraging and developments underway – SWIM (System Wide Information Management) and NNEW (NextGen Network Enabled Weather) – pave the way to new functionalities:*

*[www.ll.mit.edu/mission/aviation/faawksystems/ciws.html](http://www.ll.mit.edu/mission/aviation/faawksystems/ciws.html)*

compagnies, Eurocontrol, Eumetnet, l'OACI. L'objectif visé est d'aboutir à une réunion conjointe entre OMM et OACI en 2014 pour amender l'annexe 3 de l'OACI.

En résumé, la problématique de l'évolution des services météorologiques pour l'aviation peut être posée sous forme de questions :

- Quels sont les éléments les plus critiques pour l'ATM ?
- Quels sont les besoins en zones terminales ?
- Quels partenaires convient-il d'impliquer au-delà de l'OACI, Eurocontrol, FAA, IATA, IFALPA et IFATCA ?
- Quelles sont les performances requises ? Certains objectifs de performances existent dans NextGen, mais ils sont très ambitieux ; ne serait-il pas utile de proposer des objectifs peut-être plus réalistes pour les produits d'aujourd'hui ?
- Est-il nécessaire d'interpréter l'information météorologique en impact sur le trafic, avec des indications d'incertitudes, à l'exemple du CDM ? La réponse est probablement oui, comme le montre l'expérience aux États-Unis et au Japon.

#### **2.4. Améliorer la gestion des arrivées et des départs en conditions météorologiques sévères, Carmine Primeggia, MIT Lincoln Lab**

Les méthodes et outils développés pour la FAA par le Lincoln Lab, pour le traitement des situations orageuses entraînant des limitations de capacité de l'espace aérien, sont présentés. Le processus global repose sur les informations provenant d'observations et de modèles prévisionnels, sur l'évaluation de l'impact sur le trafic de la situation et sur les processus décisionnels pour la gestion du trafic.

Pour la prévision des orages, l'outil COSPA (COsolidated Storm Prediction for Aviation) réalise une prévision sur une maille de 3 km à un horizon compris entre 0 et 8 h ; cet outil détermine également la hauteur du sommet des orages. L'outil RAPT (Route Availability Planning Tool), mis en œuvre à New York depuis 2003, a permis d'accélérer les départs en déterminant l'impact opérationnel des orages et en anticipant la fermeture des routes 30 minutes à l'avance.

La gestion du séquençage en temps à l'arrivée, réalisé par l'outil TMA (Time Metering Advisory), apporte un gain de capacité de 3 à 5 %, mais, en cas de conditions météorologiques sévères, les avions ne peuvent suivre les trajectoires nominales et un nouveau séquençage est nécessaire. Des améliorations de l'outil TMA sont donc à développer.

## **2.5. Influence of weather conditions on air navigation performance, Xavier Fron, Head of the Performance Review Bureau Eurocontrol**

*Weather clearly has an impact on the safety level and capacity of airports, but the indicators required to measure this impact still need to be validated.*

*Air navigation taxes in Europe amounted to 8.6 billion euros in 2009, 420 million of which were devoted to meteorological services. Do users get value for money?*

*Weather conditions have an impact on ATM capacity. In Europe, 20% of flights are delayed by over 15 minutes, of which 20% for reasons linked to the weather. The figures for delays are roughly the same in Europe as in the U.S. and yet Europe does not have to deal with as many convective events as the U.S.*

*Airport capacity is the key to the system. But what is the optimal capacity and how can it be approached? In the event of poor weather conditions capacity drops considerably, causing cancellations, rerouting and missed connections, all the more so since airport schedules are dense, especially in the major European hubs.*

### **a) How can the impact of bad weather on airports be measured and alleviated?**

*A binary weather indicator (good or bad weather) has been defined based on METAR information (visibility, ceiling, wind, precipitation, icing and dangerous phenomena). The map on figure 5 indicates the percentage of bad weather days for the main airports according to this indicator. The ATMAP (ATM Airport Performance) programme provides extra indicators including taxiing time and departure punctuality. The impact of bad weather on taxiing time can vary widely according to airports and a significant correlation has been shown between taxiing time and take-off delays. Many critical questions remain to be answered in order to achieve an optimal system management. The network effects must also be taken into account; delays can be seen to increase during the course of the day due to flight connections.*

### **b) How to reduce the impact of weather conditions?**

*Possible strategic measures include increasing capacity and improving equipment and staff training. Flight planning can be adjusted by maintaining sufficient margin for delays; in this case the value of airport slots must be set against the cost of delays and rotation margins. With the help of CDM, a network plan can be developed to make the best use of available capacity. Climatology is used to fix programmes 6 months ahead.*

Sur les aéroports, le système TFDM (Tower Flight Data Manager) facilite le partage des informations et la réponse collaborative, en cas de phénomènes orageux, pour ce qui touche les arrivées, les départs et les mouvements au sol.

Maintenir des opérations efficaces en cas de graves perturbations météorologiques est l'un des défis majeurs de NextGen ; les recherches à moyen terme continuent :

- pour améliorer la capacité d'utiliser des opérations basées sur les trajectoires (Time Metering) à l'arrivée ;
- pour accroître la capacité de départ quand les orages bloquent les routes aériennes ;
- pour la gestion du trafic au sol, en prenant en compte l'impact de la météorologie sur les arrivées et les départs.

Les progrès enregistrés dans plusieurs domaines, par exemple grâce au RAPT, ont été encourageants et les développements en cours de SWIM (System Wide Information Management) et de NNEW (NextGen Network Enabled Weather) permettront de nouvelles fonctionnalités :

[www.ll.mit.edu/mission/aviation/faawksystems/ciws.html](http://www.ll.mit.edu/mission/aviation/faawksystems/ciws.html).

## **2.5. Influences des conditions météorologiques sur les performances de la navigation aérienne, Xavier Fron, Chef du Bureau de la Revue des Performances, Eurocontrol**

La météorologie a un impact sur la sécurité et sur la capacité des aéroports, mais les indicateurs pour mesurer ces impacts nécessitent encore des validations.

Les redevances pour la fourniture des services de navigation en Europe ont été de 8,6 milliards d'euros en 2009, dont 420 millions d'euros pour les services météorologiques. Les usagers en ont-ils pour leur argent ?

La météorologie a un impact sur la capacité du système ATM En Europe, 20 % des vols sont retardés de plus de 15 minutes et, dans 20 % des cas, pour des causes météorologiques. Aux États-Unis et en Europe, les retards sont à peu près les mêmes alors que l'Europe ne subit pas autant d'événements convectifs que les États-Unis.

La capacité des aéroports est le point-clé du système. Mais quelle est la capacité nominale et comment s'en approcher ? En cas de mauvaises conditions météorologiques, la capacité diminue de façon importante, entraînant des annulations, des déroutements et des pertes de correspondance et ce d'autant plus que les programmes des aéroports sont denses, notamment sur les grands hubs européens.

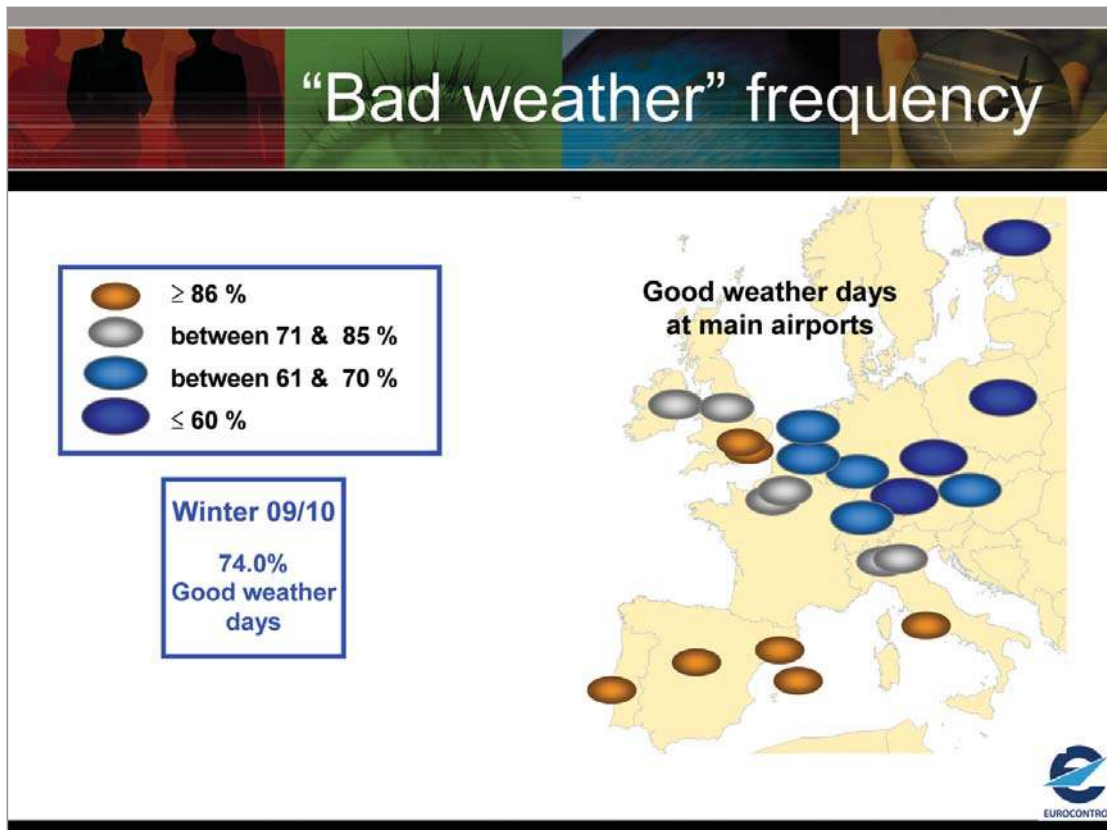


Figure 5 – Indicateur de mauvais temps / Bad weather indicator (PRC-Eurocontrol)

The day before a given day, pretactical management based on forecasting (MET, ATC, airport and traffic demand) balances out demand and capacity. On the day itself, the tactical phase comes into force with the need for more precise forecasting of the beginning and end of weather events (visibility, wind) to allow the best use of capacity actually available; it is also possible to apportion any delay optimally between the different flight phases (before departure, while waiting on taxiway, en route, on arrival), according to the quality of the forecasts.

The Single European Sky fixes performance targets. Since weather conditions have a significant impact on capacity and on the quality of air navigation services, the corresponding performance indicators must be accurately defined. Meteorological services must be included in the performance framework: for airport CDM and network management, it is impossible to do without specific meteorological services. This obviously has a cost.

**a) Comment peut-on mesurer et atténuer l'impact du mauvais temps sur les aéroports ?**

Un indicateur binaire de temps (good or bad weather) a été défini à partir des informations METAR (visibilité, plafond, vent, précipitations, conditions givrantes et phénomènes dangereux). La carte de la figure 5 indique pour les principaux aéroports le pourcentage de jours de mauvais temps selon cet indicateur. Dans le cadre du programme ATMAP (ATM Airport Performance), des indicateurs supplémentaires incluant le temps de roulage et la ponctualité au départ sont donnés. L'impact du mauvais temps sur la durée de roulage s'avère très variable suivant les aéroports et il existe une corrélation significative entre le temps de roulage et les retards au décollage. Il reste de nombreuses questions critiques auxquelles il faut répondre pour gérer le système de façon optimale. Les effets de réseau sont aussi à prendre en compte, on constate ainsi que les retards augmentent en cours de journée en raison de l'enchaînement des vols.

**b) Comment réduire l'impact de la météorologie ?**

Les mesures stratégiques portent sur l'augmentation de capacité, de meilleurs équipements et l'entraînement du personnel. La programmation des vols peut être ajustée en gardant une marge suffisante ; il s'agit alors de faire un arbitrage entre la valeur des créneaux aéroportuaires, le coût des retards et la marge pour les rotations. On peut également avec le CDM développer une planification réseau et faire un meilleur usage de la capacité disponible. La climatologie est utilisée pour l'établissement des programmes 6 mois à l'avance.

La veille d'un jour J, une gestion pré tactique reposant sur la prévision (MET, ATC, aéroport et demande) permet d'équilibrer la demande et la capacité à l'arrivée et d'anticiper les problèmes par des annulations, un plan de secours et une gestion de la capacité prévue ; les acteurs agissent alors dans le cadre du CDM. Le jour J correspondant à la phase tactique, une prévision plus précise du début et de la fin des événements météorologiques (visibilité, vent) permet d'utiliser au mieux la capacité effectivement disponible ; on peut aussi agir par allocation optimale du retard entre les différentes phases de vol avant la mise en route au départ, attente au sol sur le taxiway, en route, à l'arrivée), en fonction de la qualité des prévisions.

Le Ciel unique européen fixe des objectifs de performances. Comme les conditions météorologiques influent de manière importante sur la capacité et la performance des services de navigation aérienne, il est impératif de définir précisément les indicateurs de performance les prenant en compte. Les services météorologiques doivent être inclus dans le schéma performance : pour le CDM aéroportuaire et la gestion du réseau, on ne peut pas se passer de services météorologiques spécifiques. Cela a évidemment un coût.

## 2.6. Wake turbulence

The issue of wake turbulence was tackled in two presentations, one devoted to the evolution of operational procedures to reduce separations between aircraft and the other to required means of measurement and weather forecasts.

The physical and behavioural characteristics of wake turbulence in still air are now very well understood and reliable wake turbulence models exist in the U.S. and Europe, but it now appears that meteorological parameters have an appreciable impact on the phenomenon. Vortices disperse in two phases (figure 6); they descend and can bounce off the ground, accelerating their dispersal.

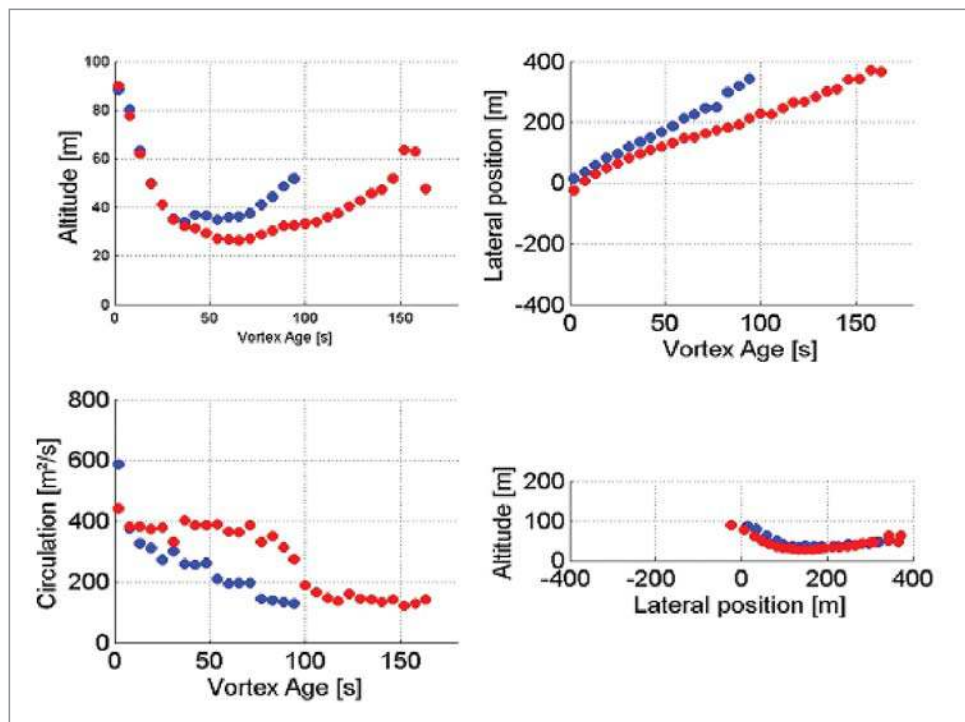


Figure 6 – Dissipation de la turbulence de sillage / Wake turbulence decay

### 2.6.1. Wake turbulence concepts of operations: towards more dynamic procedures, Jean-Pierre Nicolaon, Wake Vortex ATM Expert

The speaker outlined aircraft separation rules for wake turbulence along with their current applications before tackling those planned for 2020 and the necessary validation work. Current spacing rules are safe but conservative; the medium aircraft classification category is very broad and spacings can be overestimated. Studies are under way to create new categories (ICAO's RECAT project) with a view to reducing separations in order to increase capacity and deal with aircraft in pairs to take account of the "resistance" ability of the following plane.

## 2.6. Turbulence de sillage

Les turbulences de sillage ont fait l'objet de deux exposés ; l'un consacré à l'évolution des procédures opérationnelles pour réduire les séparations entre aéronefs et l'autre, aux moyens de mesures nécessaires et aux prévisions météorologiques.

Si le phénomène de turbulence de sillage en air calme est aujourd'hui bien connu en matière de caractéristiques physiques et comportementales, si des modèles fiables de turbulence de sillage sont disponibles aux États-Unis et en Europe, il s'avère que les paramètres météorologiques agissent de manière sensible sur la turbulence de sillage. Les tourbillons se dissipent en deux phases (figure 6), ils descendent et peuvent rebondir en atteignant le sol, ce qui accélère leur dissipation.

### 2.6.1. *Turbulence de sillage : concepts opérationnels pour des procédures plus dynamiques, Jean-Pierre Nicolaon, Wake Vortex ATM Expert*

Les règles d'espacement entre avions liées aux turbulences de sillage sont rappelées, ainsi que les différentes applications qui en sont faites, celles prévues jusqu'à l'horizon 2020 et les travaux de validation nécessaires. Les règles actuelles d'espacement sont sûres mais conservatrices ; la catégorie Medium de classification des avions est très large et conduit à surestimer certains espacements. Ces travaux sont menés pour créer de nouvelles catégories (projet RECAT de l'OACI), en vue de réduire les séparations, afin d'augmenter la capacité, et de traiter les avions par paires en tenant compte de la faculté de "résistance" de l'avion suiveur.

Les conditions météorologiques ne sont pas pour le moment prises en compte, alors qu'elles agissent directement sur l'évolution de la turbulence de sillage, ce qui influe directement sur les besoins d'espacement et donc sur la capacité des pistes. Les points suivants doivent être mentionnés :

- le vent de travers pourrait être un avantage, car il a tendance à déplacer latéralement les tourbillons, à droite ou à gauche de l'axe d'atterrissage ou de décollage ;
- l'instabilité de l'atmosphère a tendance à accélérer la dissipation des tourbillons, ce qui est un facteur favorable.

Le déplacement et la dissipation des tourbillons permettraient d'espérer réduire les espacements aussi bien en montée initiale qu'en phase d'atterrissage, à condition d'être capable de détecter et de prévoir la persistance du vent de travers et l'instabilité de l'atmosphère. Il conviendra aussi de s'assurer que les contrôleurs s'adapteront, quand les séparations seront devenues variables, à des méthodes de travail différentes de celles d'aujourd'hui. En cas de fort vent de face, dans le concept d'espacement en temps (TBS, Time Based Spacing), les séparations en distance "in-trail" seraient remplacées par des séparations en

*Weather conditions are not taken into account for the moment, although they affect the evolution of wake turbulence, thus directly impacting spacing requirements and therefore runway capacity. The following points must be mentioned:*

- *crosswinds could represent an advantage, since they tend to displace vortices laterally, to the right or left of the landing or take-off axis;*
- *any instability in the atmosphere tends to accelerate dispersal of vortices, which can have a favourable effect.*

*The consequent displacement and dissipation of vortices might make it possible to reduce spacing in initial climb and landing phases, as long as the persistence of crosswind and atmospheric instability could be detected and predicted. In addition, controllers' capability to adapt to new work methods would have to be ensured when separations became variable. In the case of a strong headwind, within the context of Time Based Spacing (TBS), separations based on "in-trail" distance would be replaced by separations based on "in-trail" time; in this case, aircraft with a ground speed lower than in the absence of wind, but closer to each other, runway capacity would be restored.*

*Lidars are capable of observing the displacement and dissipation of vortices. Eurocontrol has collected a multitude of vortex signatures, in a large number of weather conditions, in Frankfurt, Roissy and London, with a view to estimating the potential benefit of crosswinds. Today, a crosswind of over 7 knots would make it possible to apply minimum radar separation instead of ICAO stipulated spacing for 36% of cases. Observations carried out at the Saint Louis airport (Missouri, U.S.) led to separations between aircraft being reduced to 1.5 NM on two parallel runway approaches (CSPR Closely Spaced Parallel Runways). At Roissy airport, measurements taken over a year revealed the independence of paired landing and take-off runways, despite threshold offsets.*

*Several projects are underway to determine the influence of the weather on spacing, pertaining to arrivals and departures for single runways and close parallel runways. Besides operational concepts already referred to (TBS and crosswind), some more ambitious projects are envisaged such as Dynamic Pair-wise, for which separations are defined between types of aircraft taking into account weather conditions determining the displacement and weakening of vortices. Work is also being carried out into separations based on data exchanged between aircraft (ADS-B): by linking in local weather conditions, aircraft configuration and a wake turbulence model, it should be possible to determine and visualise onboard the zones of turbulence generated by the previous aircraft.*

temps “in-trail” ; les avions ayant alors une vitesse sol plus faible qu’en l’absence de vent, mais étant plus proches les uns des autres, la capacité de la piste serait rétablie.

Le lidar permet d’observer le déplacement et la dissipation des tourbillons. Eurocontrol a collecté un grand nombre de signatures de tourbillons, dans une grande variété de conditions météorologiques, à Francfort, Roissy et Londres, en vue d’estimer les potentiels engendrés par un vent de travers. Aujourd’hui, un vent de travers supérieur à sept nœuds permettrait d’appliquer pendant 36 % du temps les séparations minimum radar au lieu des espacements requis par l’OACI. Les observations réalisées à l’aéroport de Saint Louis (Missouri, États-Unis) ont permis de réduire les séparations entre avions à 1,5 Nm sur deux pistes parallèles rapprochées (CSPR, Closely Spaced Parallel Runways). À Roissy, un an de mesures a permis de montrer l’indépendance des pistes d’atterrissage et de décollage du même doublet, malgré des seuils décalés.

Plusieurs projets sont en cours pour déterminer l’influence de la météorologie sur les valeurs d’espacement, ils portent à la fois sur les arrivées et les départs pour les pistes uniques et les pistes parallèles proches. Outre les concepts d’opération déjà signalés (TBS et vent de travers), des projets plus ambitieux sont envisagés, tel le Dynamic Pair-wise, pour lequel les séparations sont définies entre types d’avions, en tenant compte des conditions météorologiques déterminant le déplacement et l’affaiblissement des tourbillons. Des travaux sont aussi menés sur les séparations utilisant les échanges de données entre avions (ADS-B) ; en associant les conditions météorologiques locales, la configuration de l’aéronef et un modèle de la turbulence de sillage, il serait possible de déterminer et de visualiser à bord les zones de turbulence générées par l’avion amont.

Pour pouvoir porter ces concepts au stade opérationnel, il faut que la météorologie puisse anticiper à très court terme la situation. Pour les départs, la prévision doit être au plus de vingt minutes ; pour les arrivées, le besoin opérationnel identifié est de quarante-cinq minutes. Si ces horizons sont satisfaits, il deviendra alors possible de mettre en œuvre tactiquement des espacements réduits permettant d’absorber d’éventuels retards en cours. Pour les besoins plus stratégiques, des prévisions fiables à deux ou trois heures permettraient d’influencer directement la capacité des pistes déclarées. En complément, il conviendra de développer ou d’adapter les outils de l’ATC tels que les DMAN (gestionnaires de départs), les AMAN (gestionnaires d’arrivées) et les Spacing Tools (outils d’espacement).

### ***2.6.2 Turbulences de sillage : informations requises pour les systèmes d’alerte par paires d’avions, Thomas Gerz, Frank Holzapfel, Klaus Dengler, Wake Vortex ATM Experts, Institute of Atmospheric Physics, DLR***

La réduction des séparations nécessite des moyens d’observation et des modèles de prévision de paramètres météorologiques le long de la trajectoire des avions.

*In order for such concepts to reach operational status, Met services would have to be capable of anticipating the situation in the very short term. For departures, the forecast would have to be 20 minutes at most; for arrivals, the operational need identified is of 45 minutes. If such timescales were met, it would become possible to tactically implement reduced spacing in order to absorb delays. For more strategic needs, reliable 2-3 hour forecasts would directly influence the capacity of the runways under study. At the same time, ATM tools such as the DMAN departure managers, AMAN arrival managers and Spacing Tools would have to be developed or adapted.*

**2.6.2. Wake turbulence: Meteorological data required for advanced wake vortex advisory systems aiming at pairwise dynamic aircraft spacing,**  
*Thomas Gerz, Frank Holzapfel, Klaus Dengler, Wake Vortex ATM Experts, Institute of Atmospheric Physics, DLR*

*To reduce separations, meteorological observation means and forecasting models must be present along the flight path of an aircraft.*

**a) Measurement systems**

*WTR/RASS (Wind and Temperature Radar/Radio Acoustic Sounding System), installed in Frankfurt, measures the wind according to its 3 component aspects, its temperature and its TKE (Turbulent Kinetic Energy), every two minutes with a vertical resolution of 30m. A system to detect wind shear, composed of a rain and snow detecting radar and a lidar, is to be installed in Frankfurt and Munich; it should also be capable of measuring the wind on the landing trajectory. These measurement systems are effective, but very expensive.*

**b) Forecasting weather and turbulence**

*The field of weather data is essential (wind, turbulence, stratification). The required resolution is 100m by 10km for the horizontal plane and 10m by 0-200m for the vertical plane for timescales of 2 min, 6 min, 1hr. and 6h. Wind, turbulence, stratification and temperature forecasting data are used as inputs to vortex displacement and dissipation models.*

*Nowcast is observation based: by adjusting measured data it identifies a trend with confidence intervals, or uses time-space extrapolation; precautions must be taken in the case of discontinuities, for example inversion of temperature. In the absence of observations, forecasting models are used, nested from the European scale to the airport scale. Observation data can be integrated into the digital forecasting model by analysing discrepancies between observations and forecasts as well as the quality of the latter.*

*Deterministic forecasting is inadequate since the variation around average behaviour can be wide. Wake turbulence must therefore be dealt with as a*

**a) Systèmes de mesure**

Le WTR/RASS (Wind and Temperature Radar/Radio Acoustic Sounding System), installé à Francfort, mesure, toutes les deux minutes, avec une résolution verticale de 30 m, le vent suivant ses trois composantes, la température et le TKE (Turbulent Kinetic Energy). Un système de détection de cisaillement de vent va être installé à Francfort et à Munich, il est composé d'un radar météorologique de détection de pluie et de nuage et d'un lidar ; il pourrait aussi mesurer le vent sur la trajectoire d'atterrissage. Ces systèmes de mesure sont performants, mais coûtent très cher.

**b) Prévision météorologique et prévision des turbulences**

Le champ de données météorologiques est essentiel (vent, turbulence, stratification). La résolution nécessaire est horizontalement de 100 m sur 10 km et verticalement de 10 m de 0 à 200 m et ce à des échéances de 2 min, 6 min, 20 min, 1 h et 6 h. La prévision du vent, de la turbulence, de la stratification et de la température alimente les modèles de déplacement et de dissipation des tourbillons.

La prévision immédiate ou Nowcast est basée sur les observations et détermine par ajustement des données mesurées une tendance avec des intervalles de confiance, ou recourt à une extrapolation en temps et en espace ; des précautions sont à prendre en cas de discontinuités, par exemple une inversion de température. En l'absence d'observations, les modèles de prévision, emboîtés depuis l'échelle européenne jusqu'à l'aéroport, sont utilisés. Les données d'observation peuvent être assimilées dans le modèle numérique de prévision prenant en compte les différences entre observations et prévisions, ainsi que leur qualité.

La prévision déterministe est insuffisante, car la variation autour du comportement moyen peut être grande. Les turbulences de sillage doivent donc être traitées comme un phénomène stochastique en utilisant des modèles météorologiques stochastiques. D'autres sources d'incertitude proviennent des caractéristiques de l'avion, de ses paramètres et performances de vol. Les phénomènes météorologiques possèdent différentes échelles de temps et d'espace, suivant qu'il s'agisse de cyclones, de front, d'orages, de turbulence de sillage, ..., ce qui complique la prévision.

On peut faire tourner plusieurs modèles en parallèle toutes les 3 h. On peut aussi utiliser l'assimilation des observations et les mesures recueillies à bord des avions (AMDAR), celles des radars, du système RASS ou de sodars et faire tourner un seul modèle toutes les heures. L'expérience montre que les modèles sont aussi utiles pour d'autres préoccupations comme le changement d'orientation des pistes.

L'objectif final reste le développement d'un modèle météorologique probabiliste. Avec l'augmentation de la confiance dans les modèles et en utilisant l'auto-

*stochastic phenomenon by using stochastic weather models. Other sources of uncertainty come from the different characteristics of aircraft, their parameters and flight performance. Weather phenomena possess different time and space scales depending on whether it is question of cyclones, fronts, storms, wake turbulence, etc., which makes forecasting a complicated business.*

*Several models can be used in parallel every 3 hours. It is also possible to integrate observations and measurements collected on board aircraft (AMDAR) with those coming from radar, the RASS system or sodars and operate a single model every hour. Experience shows that models are also useful for other issues such as changing the direction of runways.*

*The final goal remains the development of a probabilistic weather model. By means of increasing degrees of confidence in models and the use of self-learning, vortex evolution will no doubt in time be predicted within quite narrow limits.*

### ***c) Experiments carried out in Frankfurt and Munich***

*In order to increase the capacity of Frankfurt's closely-spaced parallel runways (CSPR), the DLR developed a wake turbulence forecasting and monitoring system, functioning in stages throughout the descent trajectory, from the FAF (Final Approach Fix) to the runway threshold; this system is known as WSVBS (Wirbel Schleppen Vorhersage und Beobachtungs System). The experiment lasted 3 months; the forecasting timescale was of 45 min, refreshed every 10 min. This kind of operation could be used 75% of the time, making for an increase in capacity of 3 to 4%. Forecasts turned out to be correct: the lidar emitted no alert for 1,100 aircraft in the Heavy category. In real-time simulations controllers confirmed the benefit of the WSVBS system and agreed with the proposed procedures and display layout. The safety analysis still remains to be done however.*

*Tests were also carried out in summer 2010 in Munich, where independent parallel runways exist, with dynamic spacing on one of the runways. The potential gain proved to be limited: 1.1% for a separation of 70 sec. Safety elements remain unknown, which meant that sizeable margins were necessary. Improved wind forecasting was not used and the lidar suffered one failure. A new series of trials is planned to take place in 2011.*

## **2.7. Summary**

*Meteorology has an impact on safety and capacity but adverse weather indicators need to be improved. CDM is being set up in most main airports and involves sharing weather observations and forecasting.*

apprentissage, on estime qu'à terme l'évolution des tourbillons pourra être prévue dans des limites assez étroites.

### c) Expérimentations menées à Francfort et Munich

Afin d'augmenter la capacité des pistes parallèles et rapprochées (CSPR) de Francfort, le DLR a développé un système de prévision et de surveillance des turbulences de sillage, dans des fenêtres le long de la trajectoire de descente, depuis le FAF (Final Approach Fix) jusqu'au seuil de piste ; il s'agit du WSVBS (Wirbel Schleppen Vorhersage und Beobachtungs System). L'expérimentation a duré 3 mois ; l'horizon de prévision était de 45 min, rafraîchi toutes les 10 min. Ce concept d'opérations pourrait être utilisé 75 % du temps et apporter un gain de capacité de 3 à 4 %. Les prévisions se sont avérées bonnes : le lidar n'a émis aucune alerte pour 1100 avions de la catégorie Heavy. Les contrôleurs ont confirmé l'intérêt du système et ont accepté les procédures proposées et les outils de visualisation. L'analyse de sécurité reste toutefois à faire.

Des tests ont aussi été faits à l'été 2010 à Munich, où des pistes parallèles indépendantes existent, avec des espacements dynamiques sur l'une des pistes. Le gain potentiel s'est avéré limité : 1,1 % pour une séparation de 70 s. Les éléments de sécurité sont encore inconnus, ce qui a nécessité de prendre des marges importantes. On n'a pas utilisé de prévision améliorée de vent et le lidar a connu une défaillance. Une nouvelle campagne d'essais aura lieu en 2011.

## 2.7. Synthèse

La météorologie a un impact sur la sécurité et la capacité mais les indicateurs de mauvais temps demandent à être améliorés. Sur les grands aéroports, le CDM est en cours de mise en place et repose sur l'utilisation partagée des observations et des prévisions météorologiques.

Les progrès reposent sur :

- une meilleure prévision du début et de la fin des conditions météorologiques dégradées et la prise en compte des incertitudes ;
- des mécanismes de détermination de l'état de surface de pistes (hauteur d'eau et surtout facteur de glissance) ;
- des systèmes d'information météorologique avancés, avec des interfaces standardisées pour les besoins des différents utilisateurs ;
- de nouvelles procédures pour réduire les espacements liés aux turbulences de sillage, basées sur des outils d'observation multiples (radars météorologiques, lidars, sodars), et des modèles de prévision stochastiques à haute résolution temporelle et spatiale ;
- des systèmes de détection des cisaillements de vent.

*Progress is needed in the following areas:*

- *improved forecasting of the beginning and end of degraded weather conditions and the consideration of uncertainties;*
- *devices and methods to determine the state of runway surfaces (water level and particularly friction factor);*
- *advanced weather information systems, with standardised interfaces for the needs of different users;*
- *new procedures to reduce spacing associated with wake turbulence, based on multiple observation tools (weather radars, lidars, sodars) and stochastic forecasting models with high time-space resolution;*
- *systems to detect wind shear.*

*Users must be trained to use more detailed weather information and to take uncertainties into account. But progress will only be possible if planned investment in weather services can be justified from the point of view of safety and economic efficiency.*

*In the discussion at the end of the session, and on the basis of a series of trials carried out by Airbus, Claude Lelaie cast doubt on lidar measurements of vortex intensity which indicate the force the following plane is subjected to as well as its capacity to fly in this vortex. In the absence of any published results of the Airbus test, in-depth discussion on this point was postponed.*

Les utilisateurs devront être formés à l'utilisation d'informations météorologiques plus détaillées, y compris à la prise en compte des incertitudes associées. Les progrès ne seront possibles que s'il est possible de justifier les investissements météorologiques prévus sous l'angle de la sécurité et celui de l'efficacité économique.

Au cours de la discussion de fin de session, Claude Lelaie (Airbus) a mis en cause, sur la base des campagnes d'essais menées par Airbus, la mesure par lidar de "l'intensité" d'un tourbillon, dont découle la force à laquelle est soumis l'avion suiveur, ainsi que sa capacité à voler dans celui-ci. En l'absence de résultats publiés sur les essais Airbus, toute discussion de fond a dû être différée.

## **SESSION 3: METEOROLOGY AND MAINTAINING SEPARATION**

**President:** *Patrick Dujardin, Director Research and Education Department, École Nationale de la Météorologie, Météo-France*

**Secretary:** *Nicolas Durand, R&D, Directorate for Technique and Innovation, DSNA*

*While the importance of meteorology in forecasting dangerous phenomena, both in the vicinity of airports and en-route, has long been recognised, the impact of weather data on separation management by air traffic controllers has only recently been given any attention. Two questions are raised:*

- *What is the level of accuracy required of wind data in order to produce a high quality trajectory forecast so as to anticipate risks of separation loss between aircraft?*
- *What degree of anticipation of poor conditions is likely to cause pilots to modify trajectories, thus making separation management by air traffic control more difficult?*

*Methods used by meteorologists for generating forecasts were presented before a description of the applications of these forecasts.*

### **3.1. Models for understanding and predicting wind,** *Gwenaëlle Hello, Deputy Director R&D, Forecasting Directorate, Météo-France*

58

*The question “How do meteorologists go about forecasting wind?” was dealt with in four sections:*

- *Methods and tools for numerical prediction*
- *Weather forecasting in operation*
- *Performance and errors*
- *Prospects for ensemble forecasting and immediate forecasting (nowcast).*

#### **3.1.1. Methods and tools for numerical prediction**

*The wind is defined as a displacement of the air with relation to the ground. It is not calculated directly but comes under the state of the atmosphere, itself characterised by a set of magnitudes linked to each other by physical laws. The atmosphere can be considered as a dynamic system evolving according to two principles: a principle of causality (the future state of the system is determined by its past and present states) and a deterministic*

## **SESSION 3 : MÉTÉOROLOGIE ET MAINTIEN DES SÉPARATIONS**

**Président :** **Patrick Dujardin**, *Directeur de l'Enseignement et de la Recherche, École Nationale de la Météorologie, Météo-France*

**Rapporteur :** **Nicolas Durand**, *Domaine R&D, Direction de la Technique et de l'Innovation, DSNA*

Si l'importance de la météorologie pour la prévision des phénomènes dangereux, aussi bien à proximité des aéroports qu'en route, est reconnue depuis longtemps, l'impact des données météorologiques dans la gestion des séparations par le contrôle du trafic aérien fait l'objet d'une attention plus récente. Deux questions se posent :

- Quel est le niveau de précision touchant la connaissance du vent requis pour effectuer une prévision de trajectoire de qualité permettant d'anticiper les risques de pertes de séparation entre avions ?
- Quel est le degré d'anticipation des conditions défavorables susceptibles d'amener les pilotes à des modifications de trajectoires, modifications rendant difficile la gestion des séparations par le contrôle aérien ?

Il a été jugé plus didactique de présenter d'abord les méthodes utilisées par les météorologistes pour effectuer leurs prévisions, avant de réaliser la synthèse de l'utilisation des prévisions pour les applications.

### **3.1. Les modèles pour connaître et prévoir le vent, Gwenaëlle Hello, Directrice Adjointe R&D, Direction de la Prévision, Météo-France**

À la question "Comment font les météorologistes pour prévoir le vent", une réponse est apportée en quatre parties :

- les méthodes et les outils de la prévision numérique ;
- la prévision du temps au stade opérationnel ;
- les performances et les erreurs obtenues ;
- les perspectives relatives aux prévisions d'ensemble et à la prévision immédiate.

#### **3.1.1. Les méthodes et outils de prévision numérique**

Le vent est défini par le déplacement de l'air par rapport au sol. Il ne se calcule pas directement mais entre dans l'état de l'atmosphère, lui-même caractérisé par un ensemble de grandeurs liées entre elles par les lois de la physique. L'atmosphère peut être considérée comme un système dynamique évoluant suivant deux principes : un principe de causalité (l'état futur du système est déterminé par ses états passé et présent), un principe déterministe (à une condition initiale donnée à un instant donné correspondra un seul état futur).

*principle (a given initial condition at a given time will result in a single future state).*

*The atmosphere can be described by fluid mechanics equations with partial differential coefficients – Navier-Stokes equations – for scalar magnitudes such as pressure and temperature and the vector magnitude of speed or wind. Since the equations used are not linear, no analytical solution exists and only numerical methods of integration provide a solution.*

*Traditionally, numerical methods involve discrete points describing the three dimensions and time. The space is decomposed into small cells, with each cell corresponding to a calculation. One particular aspect of meteorological tools is the large spatial dimension under consideration, corresponding to the whole of the Earth's surface and ten or so kilometres of altitude, leading to an extremely high number of cells. A similar process is used with regard to time, which is analysed according to small intervals or steps.*

*Meteorological modelling has the following specific characteristics:*

- *the numerical problem is very large, which presents numericists with complex optimisation issues. The system in question is so large that it is difficult to observe it in its globality;*
- *it is an open system, in other words exchanges go on at its boundaries (oceans, vegetation, space, etc). Interactions between the different boundary elements must be taken into account and modelled;*
- *the forecast is only useful if it comes early enough to meet users' needs. Despite continuous progress in computing power, it is still a question of reaching the best compromise between forecasting, computing reliability and time;*
- *a dialectic exists between forecast state and analysed state. Rather than carrying out an analysis which reflects observations as closely as possible, the analysis is angled to give the best possible forecast;*
- *atmospheric modelling requires the processing of very varied space-time scales.*

*The initial state is at the heart of numerical weather prediction. The process of producing the initial state is called data assimilation; its result is called analysis. In order to arrive at an accurate analysis, the different magnitudes of the model (temperature, humidity, pressure, wind) should all ideally be observed; this is far from being the case in practice. Data assimilation is therefore a sophisticated mathematical means of using observations that are by nature heterogeneous and, in terms of spatial distribution, come from different sources; this process also integrates a former state of the model implicitly containing links between the different magnitudes. The assimilation calculation is therefore based on an*

L'atmosphère peut être décrite par les équations aux dérivées partielles de la mécanique des fluides, les équations de Navier-Stokes, pour des grandeurs scalaires, telles la pression et la température, et une grandeur vectorielle, la vitesse ou le vent. Les équations utilisées étant non linéaires, il n'existe pas de solution analytique et seules les méthodes numériques d'intégration permettent de parvenir à une solution.

De manière classique, les méthodes numériques imposent de discrétiser l'espace suivant les trois dimensions et le temps. Au niveau spatial, l'espace est décomposé en petites cellules, chaque cellule correspondant à un point de calcul. Une particularité des outils météorologiques est la grande dimension de l'espace considéré, correspondant à toute la surface du globe terrestre et une dizaine de kilomètres d'altitude, ce qui conduit à un nombre extrêmement élevé de cellules. Pour le temps, on travaille aussi par petits sauts temporels.

Les spécificités de la modélisation météorologique peuvent être résumées comme suit :

- le problème numérique est de très grande taille, ce qui pose aux numériciens des questions d'optimisation complexes. En outre, le système considéré est tellement grand qu'il est difficilement observable dans son intégralité ;
- le système est ouvert, c'est-à-dire qu'à ses frontières (océans, végétation, espace, etc.) existent des échanges. Les interactions avec les différents éléments de frontière doivent être pris en compte et modélisés ;
- la prévision n'est utile que si elle arrive suffisamment à l'avance pour les besoins des utilisateurs. Malgré le progrès continu des puissances de calcul, il faudra réaliser le meilleur compromis entre la prévision, la fiabilité des calculs et le temps ;
- il existe une dialectique entre état prévu et état analysé. Plutôt que de réaliser une analyse qui reflète au mieux les observations, on cherche à ce que l'analyse débouche sur la meilleure des prévisions possible ;
- la modélisation atmosphérique nécessite le traitement d'échelles spatio-temporelles très variées.

L'état initial est au cœur de la prévision numérique. Le processus de production de l'état initial est appelé assimilation des données, son résultat est appelé analyse. Pour arriver à l'analyse, il faudrait en toute rigueur pouvoir observer les différentes grandeurs intervenant dans le modèle (température, taux d'humidité, pression, vent) ; ce besoin en observations est loin d'être satisfait en pratique. L'assimilation de données est donc un moyen mathématique complexe permettant d'utiliser des observations hétérogènes par nature et pour la répartition spatiale, provenant de différentes sources ; ce processus intègre également un état ancien du modèle contenant implicitement les liens entre les différentes grandeurs. Le calcul d'assimilation repose donc sur un algorithme d'optimisation déterminant une nouvelle trajectoire du modèle qui soit à distance minimale des observations.

*optimisation algorithm determining a new trajectory of the model at a minimal distance from the observations.*

*The oldest conventional data is that collected on the Earth's surface – land or sea – but this only gives information on the lower part of the atmosphere. For the vertical dimension, data is now collected on board aircraft during approach to airports and over the sea; other data comes from “profilers”, especially in the U.S., and radio sounding. Numerical meteorology was revolutionised with the availability of satellite data. This has the advantage of providing almost complete global cover and contributing precious information on temperature and humidity, at the price nonetheless of extremely difficult operation and substantial cost. GPS data is also potentially interesting since it gives information on water vapour and clouds. Wind profiling and reflectivity radars are also useful for positioning initiating structures of the convective part.*

*Meteo-France today uses 1.6 million pieces of data four times a day for each analysis (figure 7).*

### ***3.1.2. Weather forecasting on an operational level***

*How can one predict the weather several times a day when juggling between optimising computing resources and meeting users' needs?*

*Two types of model are used in operational weather centres to achieve this compromise. The first model operates on a large spatial scale and also deals with large-scale phenomena such as jetstreams and major depressions such as storms; the horizontal resolution is around 10km. Since this model will input other more detailed models, the accent is put on the initial state (assimilation, analysis); in this way the large scales will be correctly positioned and the satellite data put to best use. Weather is predicted four times a day, on the whole, for forecasts up to ten days in the future. The second, fine-scale model is characterised by a rapid refresh rate for observations and shorter-term forecasts.*

*Real time management is a discrete process: at fixed intervals of time (between 3 and 12h), information is collected and analysis and forecasts carried out. The assimilation of 1.6 million pieces of information usually takes twenty or so minutes and forecasting also takes some time. As a result, a forecast is not available before an hour and a half at best. The process is therefore both discrete and subject to a certain time lapse.*

*Direct output is not really usable since a certain amount of processing, such as space or time interpolations, must be carried out. WINTEMP (Wind and Temperature) charts are produced by means of vertical and horizontal interpolation. Diagnostic computations are essential since the model's resolution is not fine enough to capture gusts of wind, which must be*

Les plus anciennes données conventionnelles sont celles collectées en surface, sur terre et sur mer mais ne renseignent que sur la partie basse de l’atmosphère. Pour la dimension verticale, il y a maintenant les données recueillies par avion à l’approche des aéroports et au-dessus des espaces maritimes ; d’autres données provenant de “profilers”, surtout aux États-Unis, et de radio-sondages. La révolution pour la météorologie numérique de ces dernières années provient de l’arrivée des données de satellites, ces données ont l’avantage d’autoriser une couverture presque globale de la Terre et d’apporter de précieuses informations sur la température et l’humidité, au prix toutefois d’une exploitation fort difficile et d’un coût sensible. Les données GPS qui apparaissent sont aussi potentiellement intéressantes car elles donnent une information sur la vapeur d’eau et les nuages. Les données radar de vent et de réflectivité sont aussi utiles pour positionner les structures à l’origine de la partie convective.

Météo-France utilise aujourd’hui quatre fois par jour 1,6 millions de données pour chaque analyse (figure 7).

### 3.1.2. La prévision de temps au stade opérationnel

Comment faire pour fournir plusieurs fois par jour la prévision du temps qu’il va faire, en composant avec l’optimisation des ressources en calcul et la satisfaction des utilisateurs ?

Deux types de modèles sont utilisés dans les centres opérationnels de météorologie pour satisfaire ce compromis. Le premier modèle opère sur une

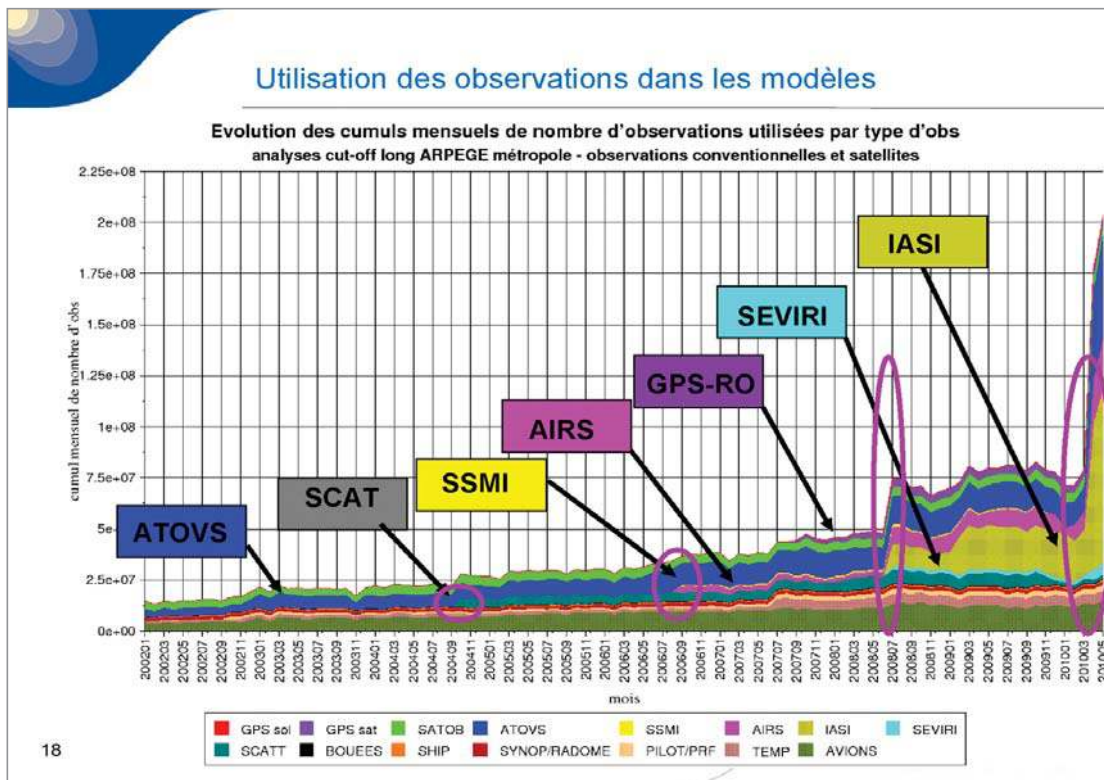


Figure 7 – Utilisation des observations dans les modèles / Use of observations in models

parameterised through direct output or by using different data to calculate a turbulence factor.

### 3.1.3. Performance and errors

The evolution of performance from 2006 to 2010 is illustrated in figure 8; the quality of three-day forecasts is determined by comparing forecasts and observations.

The general trend is one of improvement but certain grey areas subsist:

- there are annual cycles: weather is more difficult to forecast in winter than in summer. Certain years are more difficult than others; the forecast error margin naturally increases the further it is from the initial state;
- it is more difficult to increase predictability in the case of short timescales than for long ones. It took seven years for four-day forecasting to reach the same quality as two-day forecasting and ten years for three-day forecasting to attain the same level as two-day forecasting.

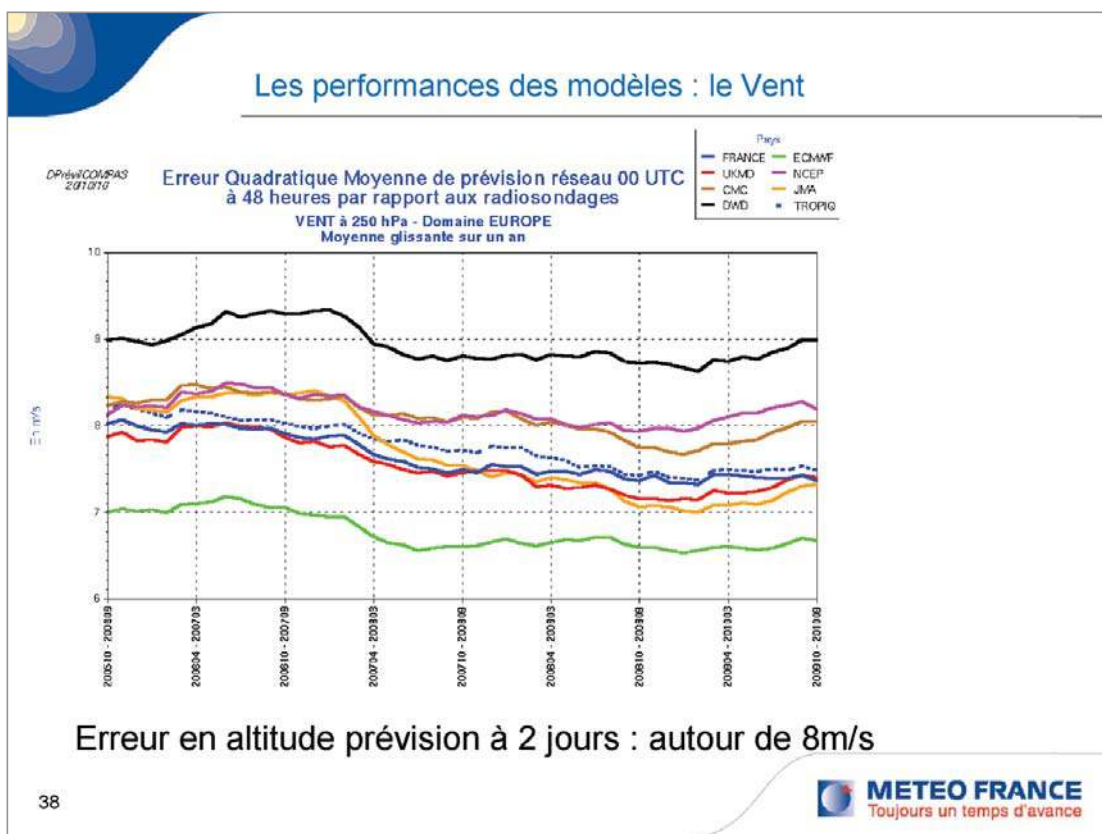


Figure 8 – Performances des modèles, le vent / Performance of models, wind

As far as wind is concerned, the mean orders of magnitude for forecasting error are known (daily variability). For a 48 hour forecast at high altitude, the error is around 8m/sec. The error margin for wind forecasts possesses a vertical structure and tends to increase in the case of strong winds

grande échelle spatiale et va viser des phénomènes également à grande échelle, tels les jet streams et les grandes dépressions comme les tempêtes ; la résolution spatiale horizontale est autour de 10 km. Comme ce modèle pourra alimenter des modèles spatialement plus raffinés, l'accent sera mis sur l'état initial (assimilation, analyse) ; ce faisant, les grandes échelles seront bien positionnées et les données satellites, utilisées au mieux. Le temps sera prévu, en général quatre fois par jour, jusqu'à des horizons de dix jours. Le second modèle aux échelles fines va être caractérisé par un rafraîchissement rapide des observations et des prévisions à horizon plus proche.

La gestion du temps réel va être un processus discret : à intervalles fixes de temps (entre 3 et 12 h), les informations vont être collectées et les analyses et prévisions réalisées. L'assimilation des 1,6 millions d'informations prend en général une vingtaine de minutes, la prévision va aussi prendre du temps. En conséquence, une prévision ne sera disponible au mieux qu'après une heure et demie. Le processus général est donc à la fois discret et empreint d'un certain délai.

Les sorties directes sont peu exploitables, un certain nombre de traitements doivent être réalisés, comme des interpolations spatiales et temporelles. L'interpolation sur la verticale et l'horizontale donne naissance aux cartes WINTEMP (Vents et Températures). Les calculs de diagnostic sont indispensables car la résolution du modèle est insuffisante pour capter les rafales, il faut paramétrer ces rafales à partir des sorties directes ou encore utiliser différentes données pour calculer un indice de turbulence.

### **3.1.3. Performances et erreurs**

L'évolution des performances de 2006 à 2010 est illustrée par la figure 8, la qualité de la prévision à trois jours est déterminée en comparant prévisions et observations.

La tendance générale est à l'amélioration mais il subsiste des insatisfactions :

- il existe des cycles annuels : le temps est plus difficile à prévoir en hiver qu'en été. Des années sont plus difficiles que d'autres ; l'erreur de prévision croît évidemment au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'état initial ;
- il est plus difficile de gagner en prévisibilité pour les échéances courtes que pour les longues. Il a fallu sept ans pour qu'une prévision à quatre jours d'échéance ait la même qualité qu'une prévision à deux jours, dix ans auront été nécessaires pour qu'une prévision à trois jours d'échéance ait la même qualité qu'une prévision à deux jours.

En ce qui concerne le vent, les ordres de grandeur d'erreur de prévision sont connus en moyenne (variabilité journalière). Pour une prévision à 48 heures à haute altitude, l'erreur est autour de 8 m/s. L'erreur de vent possède une structure verticale, là où il y a des vents forts (courants jet), l'erreur tend à croître. Avec des modèles fins, l'erreur peut être ramenée à 2 m/s à 10 km, pour des échéances de 12 à 36 heures, l'erreur peut être comprise entre 2 et 4 m/s.

(jetstreams). With fine-scale models, the error can be reduced to 2 m/sec. and for timescales of 12 to 36 hours, it can be between 2 and 4 m/sec.

Given the inherent limit to deterministic forecasting, which tends to amplify error, a possibility for improvement lies in the approach known as “ensemble forecasting”, which seeks to quantify uncertainty by varying the initial state. The example given shows 75% of the ensemble distribution predicting squalls of over 70 knots run out to 36 hours. This type of approach can provide mean values and standard deviations and is capable of giving the geographical position of the uncertainty, or even its evolution in time.

### **3.1.4. Prospects for ensemble forecasts and immediate forecasts (nowcast)**

Fundamentally, the future of numerical forecasting relies on the capacity to assimilate more and more observations, refine the description of physical phenomena and improve modelling resolution. Ensemble forecasts are not new and initial results are promising. They lead to a more stochastic vision of weather forecasting which should be taken into account by users. Short or very short timescales are problematic in terms of computing means and some methodological questions also require research; however, techniques involving extrapolation from merged, regularly refreshed information and the arrival of mesoscale models should make progress possible in the medium term.

## **3.2. Meteorology and maintaining separations, David Pace, Aviation Meteorologist, FAA**

David Pace described his experience as a meteorologist working for an ANSP (Air Navigation Service Provider). He confirmed the need for accurate wind information in order to maintain separations and to forecast convective systems, especially in the U.S. where the latter are much more common than in Europe. He went on to talk about taking weather phenomena into account in air traffic control and on developments underway within the framework of the NextGen programme.

Separation remains the responsibility of air traffic control, but controllers are not, and have no desire to become, meteorologists. Their need therefore is to be aware of the limitations imposed by the different weather phenomena and their possible impact on air traffic management.

On the question of wind prediction, detailed information was given on the workings of the RUC (Rapid Update Cycle) wind forecasting tool. This system is not capable of forecasting time of occurrence with the precision required by “Trajectory Based Operations” (10 to 15 seconds 2 hours ahead!). One possible solution would be to integrate the available onboard

Compte tenu de la limite inhérente à la prévision déterministe, laquelle tend à amplifier les erreurs, une possibilité d'amélioration réside dans l'approche appelée "prévision d'ensemble", qui cherche à quantifier l'incertitude en variant l'état initial. Un exemple est donné qui montre les 75 % de la distribution de l'ensemble proposant des rafales supérieures à 70 nœuds à 36 heures d'échéance. Ce type d'approche peut conduire, d'une part, à des moyennes et, d'autre part, à des écarts types, et donner la position géographique de l'incertitude, ou encore son évolution au cours du temps.

### ***3.1.4. Perspectives relatives aux prévisions d'ensemble et à la prévision immédiate***

Fondamentalement, les perspectives en matière de prévision numérique reposent sur la capacité à assimiler de plus en plus d'observations, sur l'affinement de la description des phénomènes physiques et sur une meilleure résolution des modèles. La prévision d'ensemble n'est pas une nouveauté et les premiers résultats obtenus sont prometteurs et conduisent à une vision plus stochastique de la prévision météorologique, qui devra être prise en compte par tous les utilisateurs. Les échéances courtes ou très courtes posent un réel problème en termes de moyens matériels informatiques, mais aussi des questions méthodologiques nécessitant une recherche ; les techniques d'extrapolation à partir d'informations fusionnées et rafraîchies à haute cadence, l'arrivée de modèles à méso-échelle permettent cependant d'espérer un progrès à moyen terme.

### **3.2. Météorologie et maintien des séparations, David Pace, Aviation Meteorologist, FAA**

David Pace présente son expérience en tant que météorologiste travaillant au sein d'un ANSP (Air Navigation Service Provider), il reconnaît la nécessité de bien connaître le vent pour le maintien des séparations et développe plus particulièrement la prévision des systèmes convectifs, dans la mesure où ce genre de situation est beaucoup plus fréquent aux États-Unis qu'en Europe. Des informations sont données sur la prise en compte des phénomènes météorologiques dans le travail du contrôleur (Air Traffic Manager) et sur les développements en cours dans le cadre du programme NextGen.

La séparation reste sous la responsabilité du contrôle aérien, mais les contrôleurs ne sont pas et ne souhaitent pas devenir des météorologistes. Leur besoin porte donc sur la connaissance des contraintes engendrées par les différents phénomènes météorologiques et sur leurs possibles effets sur la gestion du trafic aérien.

Pour ce qui touche le vent, des informations très précises ont été données sur le fonctionnement du RUC (Rapid Update Cycle), outil de prévision du vent. La précision du RUC ne permet pas la prévision de l'heure de passage avec la

information into real time models, with the aid of the HRRR (High Resolution Rapid Refresh) tool.

*In terms of convective phenomena, the system should incorporate a tool capable of determining what the pilot will or will not do in the event of a phenomenon judged as dangerous, for example severe turbulence. The problem is therefore more complex than an objective knowledge of the intensity of the phenomenon; the question of the human-machine interface is, in this context, implicitly involved.*

*Various separation scenarios are presented, differing according to the degree to which responsibility for separation is delegated to the crew. These scenarios correspond to different ways of distributing assistance functions between ground and onboard systems and different types of data exchange.*

### **3.3. Controllers faced with uncertainties in flight path forecasts, Marc Baumgartner, IFATCA, SESAR/EASA Coordinator**

*Air traffic controllers are at present locked into an outmoded system and work in relative isolation. Flight planning systems can manage either one control position, or one centre, or all centres of an air traffic control organisation, but possibilities for sharing information with the outside world can be limited. Moreover, with the exception of one single control centre in Europe, there is no access to flight management system data. To caricature, controllers don't know what's going on above them, nor pilots below them.*

*Controllers are also charged with many traditional tasks: radio communications (which should hopefully be absorbed into the system in the future), updating paper or electronic flight strips (time-consuming), email or SMS exchanges with other controllers, sometimes phoning a neighbouring sector to inform them of the arrival of an aircraft. Many of these tasks could be facilitated by use of onboard data.*

*This somewhat outdated way of controlling air traffic and ensuring separations limits capacity and increases fragmentation of airspace. Europe currently comprises 1,087 sectors. In order to increase capacity, the size of individual sectors has in fact been reduced, with a corresponding reduction in length of flight in a sector. For instance, for the Geneva control centre, certain aircraft take 30 seconds to cross a sector; in this case, the controller hardly has time to say more than: "Hello, climb, goodbye!". This is absurd and other solutions must clearly be found to increase capacity.*

*IFATCA (International Federation of Air Traffic Controllers Association), which represents 137 countries and 50,000 controllers, recently published*

précision requise par les “Trajectory Based Operations” (10 à 15 secondes à échéance de 2 heures !). La question est donc posée de la possible intégration des informations disponibles à bord dans les modèles en temps réel, grâce à l’outil HRRR (High Resolution Rapid Refresh).

Concernant les phénomènes convectifs, le système devrait intégrer un outil permettant de déterminer ce que le pilote fera, ou ne fera pas, lors de l’occurrence d’un phénomène qu’il juge dangereux, par exemple une zone de forte turbulence. La problématique est donc plus complexe que la connaissance objective de l’intensité du phénomène ; la question de l’interface homme-machine est, dans ce cadre, implicitement évoquée.

Différents scénarios de séparation sont présentés, ils diffèrent par le niveau de délégation de la responsabilité de la séparation à l’équipage. À ces scénarios correspondent différentes possibilités de partage des fonctions d’assistance entre les systèmes sol et bord et différents modes d’échange des données.

### **3.3. Le contrôleur face aux incertitudes des prévisions de trajectoire, Marc Baumgartner, IFATCA, SESAR/EASA Coordinator**

Les contrôleurs sont, à l’heure actuelle, enfermés dans un système ancien et travaillent de façon plutôt isolée. Les systèmes de traitement des plans de vol peuvent gérer, soit une position de contrôle, soit un centre, soit l’ensemble des centres d’un organisme de contrôle du trafic aérien, mais le partage d’informations avec le monde “extérieur” apparaît limité. En outre, à l’exception d’un seul centre de contrôle en Europe, il n’y a pas d’accès aux données du Flight Management System. En étant caricatural, les contrôleurs ne savent pas ce qui se passe en haut et les pilotes en bas.

Les contrôleurs sont aussi chargés de nombreuses tâches traditionnelles : la communication radio, pour laquelle il est espéré qu’elle soit dans l’avenir intégrée dans le système, les mises à jour des strips papier ou électronique, qui prennent beaucoup de temps, les échanges par courriels ou SMS avec les autres contrôleurs ; parfois les contrôleurs doivent utiliser le téléphone pour signaler qu’un avion va entrer dans un secteur voisin. Pour beaucoup de ces tâches, le travail pourrait être facilité par l’utilisation de données de bord.

Cette façon, qu’on peut juger un peu “démodée” de contrôler le trafic aérien et de réaliser les séparations, limite la capacité et augmente la fragmentation de l’espace aérien. À l’heure actuelle, il existe 1087 secteurs en Europe. Pour augmenter la capacité, on a en fait réduit la taille des secteurs individuels, ce qui s’est traduit par une réduction de la durée de vol dans un secteur. Par exemple, pour le centre de contrôle de Genève, certains avions transitent dans un secteur pendant 30 secondes ; dans ces conditions, le contrôleur a à peine le temps de

its vision of future ATC in a document entitled “Statement on the Future of Global Air Traffic Management”. This is how IFATCA imagines the future:

- The whole system will be based on performance objectives, not only in terms of cost but also in terms of safety and environmental impact. Many traditional tasks will be automated.
- Air traffic control, today reactive and tactical, will be replaced by proactive, strategic management. This approach will be based on flight path while airspace will become dynamic, in other words it will move, in certain conditions, with aircraft.
- UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) will be integrated into normal airspace (non segregated).
- Fewer controllers should then be needed. This does not mean that existing controllers will lose their jobs but that their number will be sufficient to face the increase in traffic.
- Certain airports will be remotely controlled by “virtual” control towers.
- The function of separation will be automated.

This vision naturally raises many questions, including some relating to meteorology: how can weather data be integrated into a system relying on advanced automation? For the moment it has to be admitted that the exact nature of the weather data required is not known.

### **3.4. Future concepts of separation management, Bob Graham, Programme Manager, MTV-SESAR Concept Validation**

Future concepts for separation management constitute an important element of the European SESAR programme. Meteorology has a large impact on how effective future air traffic control tools will be, whether for in-flight or ground separation, or for strategic or tactical resolution. Uncertainty in meteorological information must be reduced where possible and otherwise factored in. Information must be shared and used by the different air traffic players in such a way as to streamline traffic flow and manage arrival sequences as well as possible. Some examples are given of separation management concepts capable of managing aircraft in closed loop conditions.

Two points emerge from this presentation:

- the need to clarify the role of humans in the information loop,
- the importance of top quality meteorological information in SESAR's success.

dire : “Bonjour, montez, au revoir !”. Cela n’a plus de sens, il faut trouver d’autres solutions pour augmenter la capacité.

L’IFATCA (International Federation of Air Traffic Controllers Association), représentant 137 pays et 50 000 contrôleurs, a publié sa vision du concept futur d’ATC dans le document “Statement on the Future of Global Air Traffic Management”. Voici comment l’IFATCA imagine l’avenir :

- Le système entier sera basé sur des objectifs de performance non seulement en termes de coût mais aussi en termes de sécurité et d’impact environnemental. Beaucoup des tâches traditionnelles devront être automatisées.
- Le contrôle du trafic aérien, aujourd’hui réactif et tactique, sera remplacé par une gestion proactive et stratégique. Cette approche sera basée sur la trajectoire et l’espace aérien sera dynamique, c’est-à-dire qu’il bougera, sous certaines conditions, avec les avions.
- Les UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) seront intégrés dans l’espace aérien normal (non ségrégué).
- Moins de contrôleurs devraient être alors nécessaires. Cela ne signifie pas que les contrôleurs actuels perdront leur travail mais que leur nombre sera suffisant pour faire face à l’augmentation du trafic.
- Certains aéroports seront contrôlés à distance par des tours “virtuelles”
- La fonction de séparation sera automatisée.

Cette vision pose naturellement beaucoup de questions, parmi lesquelles celles relatives à la météorologie : comment intégrer les données météorologiques dans un système faisant appel à une automatisation poussée ? Il faut bien avouer que l’on ne sait pas actuellement préciser la nature exacte des données météorologiques requises.

### **3.4. Les futurs concepts de maintien de séparation, Bob Graham, Programme Manager, MTV-SESAR Concept Validation**

Les futurs concepts de maintien de séparation constituent un élément important du programme européen SESAR. La météorologie a une large influence sur l’efficacité des futurs outils du contrôleur, qu’il s’agisse de séparation embarquée ou au sol, de résolution stratégique ou tactique. L’incertitude sur les informations météorologiques doit être prise en compte et si possible réduite. Le partage des informations est essentiel, ainsi que leur utilisation par les différents acteurs du trafic aérien, de façon à mieux synchroniser le trafic et mieux gérer les séquences d’arrivée. Des exemples de concept de maintien de séparation, permettant de gérer les avions en boucle fermée, sont donnés.

Deux points ressortent de la présentation :

- la nécessité de préciser la place de l’humain dans la boucle d’information ;
- le rôle central joué par la qualité des informations météorologiques pour le succès de SESAR.

### **3.5. The impact of wind speed forecasting errors on detection of conflicts, Jean-Marc Alliot, Head of R&D, DSNA**

*The speaker divided the controllers' work into four tasks: monitoring, detection, resolution and coordination. In fact, controllers resolve real conflicts, monitor potential conflicts and sometimes resolve non-existing conflicts thrown up by uncertainties on various levels. In the future, automated assistance tools will need to take these uncertainties into account in a very consistent way. A mathematical computation was presented to show the importance of wind prediction uncertainty for determining the number of potential supplementary conflicts to be envisaged. Assuming that there is no correlation between the wind forecasting uncertainties pertaining to each aircraft, a maximal error of 18 knots in the wind forecast would lead an MTCD (Medium Term Conflict Detection) system to detect 30% more conflicts than actually exist with an anticipation of 5 minutes. This number would leap to 90% for 15 minutes anticipation. More generally what emerges from this analysis is that the quality of a conflict forecasting tool depends directly on the quality of wind data.*

### **3.6. Summary**

*Wind forecasting plays a central role in maintaining separation. These forecasts are realised by means of computing codes processing the state of the global or regional atmosphere by integrating fluid mechanics equations. The atmosphere can be considered as a dynamic, nonlinear system and as such presents certain specificities such as the possibility of bifurcations and a high sensitivity to initial conditions. Given these conditions, an ongoing exchange must be set up between forecasting calculations and real observations. The shared need is situated on two complementary levels: on the one hand, very short-term forecasting (Nowcast) and a rapid refresh rate and, on the other, a factoring in of the inherent uncertainties of weather forecasting; the use of onboard and satellite data should make it possible to work towards these goals. **This stochastic approach to meteorological prediction, and particularly wind forecasting, represents a veritable intellectual revolution which will have to be taken on board by all air traffic players.** It will clearly require the development of numerical forecasting and decision tools, globally standardised so as to make them easier to assimilate and exploit by operational personnel, particularly controllers and pilots. Corresponding tasks will also be more and more automated, although particular attention must be paid to customary questions of "humans in the loop" and reliability.*

### 3.5. L'influence des erreurs de prévision de la vitesse du vent sur la détection de conflits, *Jean-Marc Alliot, Chef du Domaine R&D, DSNA*

Il est rappelé que le travail de contrôleur peut se résumer à quatre tâches : surveillance, détection, résolution et coordination. Dans les faits les contrôleurs résolvent de vrais conflits, surveillent des conflits potentiels et résolvent parfois des conflits qui ne se produiront pas en raison des incertitudes existant à différents niveaux. Dans l'avenir, les outils d'assistance automatisée devront prendre en compte ces incertitudes et avec une grande fiabilité. Un calcul mathématique est proposé, démontrant l'importance de l'incertitude sur la prévision du vent pour la détermination du nombre de conflits potentiels supplémentaires à envisager. Si l'on prend comme hypothèse simplificatrice qu'il n'y a pas de corrélation entre les incertitudes sur la prévision du vent subi par chaque avion, une erreur maximale sur le vent de 18 nœuds conduirait un MTCD (outil de détection de conflit à moyen terme) à détecter 30% de conflits de plus que les conflits réels pour une anticipation à 5 minutes. Ce nombre passerait à 90% pour une anticipation à 15 minutes. Plus généralement, il ressort de cette analyse que la qualité d'un outil de prévision de conflit dépendra directement de la qualité des données de vent.

### 3.6. Synthèse

La prévision du vent joue un rôle central dans le maintien des séparations. Cette prévision est réalisée par des codes de calcul traitant de l'état de l'atmosphère du globe et dans des espaces plus limités, par intégration des équations de la mécanique des fluides. L'atmosphère peut être considérée comme un système dynamique non linéaire et, à ce titre, présente des spécificités comme la possibilité de bifurcations et une forte sensibilité aux conditions initiales. Dans ces conditions, un dialogue permanent doit être instauré entre calculs prévisionnels et observations. Le besoin partagé se situe à deux niveaux complémentaires : d'une part, la prévision à très courte échéance (prévision immédiate ou Nowcast) et rafraîchie à fréquence élevée, et, d'autre part, la prise en compte des incertitudes inhérentes à la prévision météorologique ; l'utilisation des données de bord et des données satellitaires devraient permettre de tendre vers ces objectifs. **Cette approche stochastique de la prévision météorologique et en particulier de celle du vent représente une véritable révolution intellectuelle qui devra être intégrée par tous les acteurs du trafic aérien.** Elle passera vraisemblablement par la mise au point d'outils numériques de prévision et de décisions, qui devront être internationalement standardisés, pour être aisément assimilés et exploités par les personnels opérationnels, contrôleurs et pilotes notamment. L'automatisation des tâches correspondantes progressera certainement, en portant une attention particulière aux questions classiques relatives à "l'homme dans la boucle" et de fiabilité.

## **SESSION 4: EN-ROUTE PHENOMENA**

**President:** **Pierre Andribet**, Head of Eurocontrol Experimental Centre (Brétigny sur Orge).

**Secretary:** **Christiane Michaut**, ONERA, AAE

*This session comprises two lines of attack:*

- *an inventory of all meteorological phenomena putting flight safety at risk, and the means to forestall them;*
- *a presentation of the impact of meteorological phenomena on flight schedules and the means and methods set up by air traffic control organisations to limit this impact.*

### **4.1. Meteorological factors in recent air accidents,**

**Jean-Paul Troadec**, Director of the French Bureau d'Enquêtes et d'Analyses

*In his presentation, the speaker did not restrict himself to en-route phenomena but identified seven main types of potentially dangerous meteorological phenomena:*

- *phenomena impairing visibility, mainly while taxiing;*
- *icing on take-off and approach;*
- *ice crystal icing in cruise flight;*
- *wind shear during approach and landing;*
- *friction factor of the runway on landing;*
- *turbulence in cruise flight;*
- *storm precipitation in cruise flight and landing.*

*The first five phenomena concern approach and landing phases.*

*As far as taxiing is concerned it is worth recalling that, in the case of the most serious civil aviation accident (Tenerife, 1977, 583 victims), visibility was considered to be a contributing factor rather than a primary cause of the accident.*

*The meteorological phenomenon most commonly encountered during cruise flight is turbulence, which tends to lead to injuries to passengers or unattached crew members rather than deaths or catastrophes. Turbulence is either caused by convective cells or what is known as clear air turbulence. In convective cells, strong turbulence is generated within cumulonimbus or in their vicinity. Such phenomena are predictable on a certain scale, but it can be difficult to detect them, in night flight for instance, within clouds or because of performance limitations of the onboard weather radar. Clear air turbulence is associated with jetstreams, troughs or orographic waves. Its*

## SESSION 4 : PHÉNOMÈNES EN ROUTE

**Président :** **Pierre Andribet**, *Responsable du Centre Expérimental Eurocontrol (Brétigny sur Orge)*

**Rapporteur :** **Christiane Michaut**, *ONERA, AAE*

Cette session s'est articulée autour de deux axes :

- l'inventaire des phénomènes météorologiques mettant en cause la sécurité des vols, et les moyens permettant de les prévenir ;
- la présentation de l'impact des phénomènes météorologiques sur la régularité des vols et des moyens et méthodes mis en œuvre par les organisations de contrôle du trafic aérien pour limiter cet impact.

### **4.1. Les facteurs météorologiques dans les accidents d'avion récents**, *Jean-Paul Troadec, Directeur du Bureau d'Enquêtes et d'Analyses français*

Dans sa synthèse, l'orateur ne s'est pas limité aux phénomènes en route et a identifié sept types principaux de phénomènes météorologiques potentiellement dangereux :

- les phénomènes réduisant la visibilité, essentiellement au roulage ;
- le givrage au décollage et en approche ;
- le givrage par cristaux de glace en croisière ;
- les cisaillements de vent en approche et à l'atterrissage ;
- la glissance de la piste à l'atterrissage ;
- les turbulences en croisière ;
- les précipitations orageuses en croisière et à l'atterrissage.

Les cinq premiers phénomènes concernent les phases d'approche et d'atterrissage. Pour le roulage, il convient de rappeler que, pour l'accident le plus grave de l'aviation civile (Tenerife, 1977, 583 victimes), la visibilité a été considérée comme un facteur contributif plutôt que la cause première de l'accident.

Concernant les phénomènes météorologiques présentant un danger en croisière, les plus fréquemment rencontrés sont les turbulences, qui se traduisent par des blessures (passagers ou membres d'équipage non attachés), rarement par des décès ou des catastrophes. Les turbulences sont, soit celles induites par des cellules convectives, soit celles connues sous le nom de turbulences en ciel clair. Dans les cellules convectives, les cumulonimbus génèrent de fortes turbulences en leur sein ou à proximité ; ces phénomènes sont prévisibles à une certaine échelle, par contre leur détection n'est pas toujours assurée, que ce soit au niveau visuel, de nuit ou parce que l'avion évolue à l'intérieur de nuages, ou à cause des limitations que présente le radar météorologique de bord. Les turbulences de ciel clair sont associées à des courant-jets, à des thalwegs ou à des ondes

*future position cannot be predicted with any accuracy, neither is it detectable by onboard or ground radar, however risks could be reduced by updating onboard information.*

*Storm precipitation remains the most dangerous phenomenon for aviation. This phenomenon is encountered in approach as well as in cruising flight. A good example is that of a L-1011 near Lyon airport which flew through two violent hailstorms and suffered serious damage. The aircraft's weather radar had not succeeded in detecting and anticipating the presence of hail.*

*The phenomenon of ice crystal icing in cruise flight is only beginning to be understood. Ice crystals can be present in large quantities in the high atmosphere, essentially in tropical convective zones. These crystals are not detected by onboard radars; they do not adhere to the airframe but can affect the workings of the engines and lead to incorrect anemobarometric indications. This phenomenon is suspected to have been a contributing factor in the AF447 accident.*

*There are countless examples of accidents in which a meteorological factor is thought to have played a role. However weather phenomenon are not usually considered to be the main cause of an accident, but rather as a one of several contributing or exacerbating factors. Accidents usually happen in situations which have been predicted or are predictable and, on the whole, the situation was or should have been brought under control.*

*Some avenues for progress can nonetheless be identified:*

- *the flight envelope should be widened for certification;*
- *available information could be better dispatched in the following ways:*
  - *air traffic control should inform crews in the case of evolving situations,*
  - *weather information should be updated in flight,*
  - *the use of crew reports should be extended;*
- *the following detection and forecasting equipment should be improved:*
  - *onboard radars and weather imagery,*
  - *equipment to measure runway friction,*
  - *onboard and ground wind shear forecasting tools,*
  - *devices for detection/forecasting icing conditions in altitude.*

#### **4.2. Icing conditions at very high altitude and consequences on aircraft certification, Eric Duvivier, Environmental Control Systems Section Manager, EASA**

*Two different standards are currently in application (figure 9):*

- *The CS25 standard for large aeroplanes. The C25-1319 indicates that flight has to be validated in varying icing conditions: continuous*

orographiques ; ces turbulences ne peuvent pas être prévues à l'heure actuelle avec une localisation précise, elles ne sont pas détectables par les radars de bord ou au sol, l'actualisation des informations de bord pourrait toutefois permettre de réduire les risques.

Les précipitations orageuses restent les phénomènes les plus dangereux pour l'aviation. Elles se rencontrent tant en croisière qu'en approche, un bon exemple est fourni par l'incident ayant affecté un L1011 aux environs de Lyon ; cet avion a traversé deux violentes averses de grêle et a subi des dégâts importants, le radar météorologique de l'avion n'avait pas permis de détecter et d'anticiper la présence de grêle.

Le givrage en croisière par cristaux de glace est un phénomène dont la perception est récente. Des cristaux de glace peuvent être présents en grande quantité dans la haute atmosphère, essentiellement dans les zones convectives tropicales. Ces cristaux ne sont pas détectés par les radars de bord ; ils n'adhèrent pas à la cellule mais peuvent par contre avoir des conséquences sur le fonctionnement des moteurs et donner de fausses indications anémo-barométriques. Ce phénomène est soupçonné d'avoir été un facteur contributif dans l'accident du vol AF447.

Les exemples d'accidents dans lesquels un facteur météorologique a joué un rôle sont innombrables. Cependant les facteurs météorologiques ne sont pas considérés comme une cause première d'accident, mais plutôt comme des facteurs contributifs ou aggravants parmi d'autres facteurs. Les accidents se produisent le plus souvent dans des situations qui sont prévues ou prévisibles, en général la situation devrait ou aurait dû être maîtrisée.

Un certain nombre de voies de progrès peuvent toutefois être identifiées :

- pour la certification, l'enveloppe du domaine de vol devrait être élargi ;
- la distribution des informations existantes pourrait être améliorée en :
  - informant les équipages par le contrôle aérien dans des situations évolutives,
  - mettant à jour les informations météorologiques en vol,
  - développant l'utilisation des rapports d'équipage ;
- l'amélioration des équipements de détection et de prévision pour :
  - les radars et l'imagerie météorologique de bord,
  - la mesure de glissance de la piste,
  - la prévision bord et sol des cisaillements de vent,
  - la détection/prévision des conditions de givrage en altitude.

#### **4.2. Conditions givrantes à très haute altitude et conséquences sur la certification des aéronefs, *Environmental Control Systems Section Manager, EASA***

Deux standards différents sont actuellement appliqués (figure 9) :

- Le standard CS25 pour les gros avions de transport. Le C25-1319 indique qu'il faut démontrer le vol dans diverses conditions givrantes : les conditions

*maximum icing conditions representative of stratus and intermittent maximum icing conditions representative of cumulonimbus from appendix C. Appendix C, which dates from 1960, defines criteria (temperature, moisture content, diameter of droplets).*

- *CSE standard for engines. CSE 780 indicates that their proper functioning has to be demonstrated in the different icing conditions.*

*Currently only criteria concerning icing by supercooled water are taken into account; ice crystal icing is not referred to. Ten or so years ago, following an accident on an ATR 72 (Roselawn, 1994), the 1960 curves were validated during a series of tests taking super large droplets into account. Appendix C then represented 99% of icing conditions, making the standard adapted to aircraft certification.*

*In Europe, the question of ice crystals is dealt with in the AMC (Acceptable Means of Compliance), which are not regulatory. Two types of conditions are considered:*

- *ice crystal icing alone;*
- *mixed icing, which involves a mixture of ice crystals and supercooled water.*

*After assessment, only the most vulnerable parts of the plane – in other words engines fed by angled air intakes and anemometric probes – were seen as problematic. Air intakes such as the Pitot type did not at first sight seem to present any particular vulnerability, but this has been reviewed in the face of events occurring in operational service. A certain number of thrust fluctuations and probe blockages in high convection zones have been noted in service, pointing the finger at ice crystals.*

*Unlike classic icing, visible to the crew or detectable, ice crystal icing is untraceable. It is now clear that the set of certifications must be extended, particularly as regards high altitudes and low temperatures. Our understanding of the underlying physical and accretion phenomena remains inadequate, which argues in favour of in-depth research and the development of specific measurements.*

*In the U.S., following the Roselawn accident, the NTSB recommended reviewing ice crystal and mixed icing conditions. In 2007, after the work of several study groups, the FAA drew up an Appendix D for engines (FAR Part 33), defining a new set of certification conditions; the publication in 2010 of the NPRM 10-10 (Notice of Proposed Rule Making) put this Appendix D into operation.*

*In Europe, EASA has taken initiatives and decisions in the following areas:*

- *certification: any new application postdating 30 January 2011 must comply with Appendix C, which incorporates a new atmosphere for ice*

maximales continues représentatives des stratus et les conditions maximales intermittentes représentatives des cumulonimbus de l'appendice C. L'appendice C, qui date de 1960, définit des critères (température, teneur en eau, diamètre des gouttes).

- Le standard CSE pour les moteurs. Le CSE 780 indique qu'il faut démontrer leur fonctionnement satisfaisant dans les diverses conditions givrantes.

Actuellement, seuls les critères concernant le givrage par eau surfondue sont pris en compte, il n'est pas fait état du givrage par cristaux de glace. Il y a une dizaine d'années et suite à l'accident survenu à un ATR 72 (Roselawn, 1994), les courbes de 1960 ont été validées lors de campagnes d'essais pour prendre en compte les très grosses gouttes ("super large droplets"). L'appendice C représentait alors 99 % des conditions de givrage, rendant le standard adapté à la certification des avions.

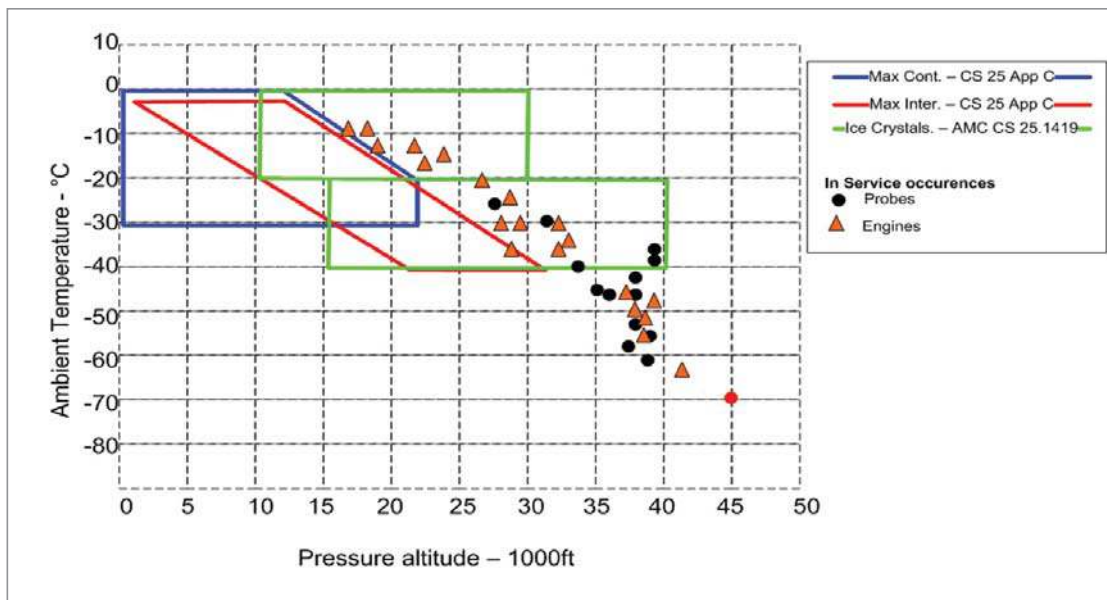


Figure 9 – Standards de certification pour le givrage à très haute altitude / Certification standards for high-altitude icing

En Europe, la question des cristaux de glace est prise en compte dans les AMC (Acceptable Means of Compliance), lesquels sont des moyens acceptables de conformité, mais non réglementaires. Deux types de conditions sont considérés :

- le givrage par cristaux de glace seuls ;
- le givrage mixte correspondant à un mélange de cristaux de glace et d'eau surfondue.

Après évaluation, il a été proposé que les parties les plus vulnérables de l'avion, soient les moteurs alimentés par des entrées d'air coudées et les sondes anémométriques. Par contre, les entrées d'air de type Pitot ne paraissaient pas de prime abord présenter une sensibilité particulière, elles le sont devenues en raison d'événements relevés en service. En effet, un certain nombre de fluctuations de poussée et de blocage de sondes dans des zones à forte convection

crystals. However, experimental equipment to verify this conformity – wind tunnels for instance – is desperately lacking; in fact the only existing method is based on assessment by analysis and experience in service;

- *medium-term regulation: this set of regulations will be based on the FAA's NPRM 10-10, widening its application to include all probes. An NPA (Notice of Proposed Amendment) should be published in late 2011.*

Moreover, EASA has supported the setting up of the EUROCAE (European Organisation for Civil Aviation Equipment) group to look into a revision of the ETSO (European Technical Standard Order) for Pitot tubes.

Ultimately, several challenges must be met:

- *physical knowledge of ice crystals must be improved;*
- *measurement of ice crystal icing conditions must be enhanced;*
- *simulation tools must be developed.*

Reporting has improved enormously; airspace congestion has led to more frequent flights in geographic zones containing ice crystals. The question is whether global warming will extend these geographic zones.

#### **4.3. Ice crystal icing: current knowledge and future research, Walter Strapp, Environment Canada, Cloud Physics and Severe Weather Research Section**

Aircraft frequently cross convection zones in which ice crystal concentration (IWC, Ice Water Content) is over  $2\text{g/m}^3$  and yet is not detected by onboard radar. This has a negative effect on safety, particularly through loss of engine thrust, as was the case for example for a BAe 146 in the mid 1990s. Flight restrictions imposed at the time by the FAA were followed by trials. In 2003-2004, a dedicated working group EHWG (Engine Harmonisation Working Group), incorporating the main North American aircraft and engine manufacturers, regulatory bodies and government agencies, was set up to look into the problem. In the course of this study, over 100 events occurring between 1990 and 2004 were classified and analysed.

Many presentations focused on the process of ice crystal icing, still under investigation, and more particularly its effect on engines which is more complex than probes (figure 10). Ice formation on parts of the compressor can alter thrust; if ice crystals pass into the combustion chamber, the engine is likely to stall. As well as making the plane unflyable, these events can induce very high maintenance costs (order of magnitude: \$300,000 to \$500,000 per event).

ont été relevés en opérations, conduisant à penser que des cristaux de glace pouvaient en être la cause.

Contrairement à ce qui touche le givrage classique, visible par l'équipage ou détecté, le givrage par cristaux de glace est indétectable. Désormais, il apparaît clairement que l'enveloppe de certification doit être étendue, notamment aux altitudes élevées et aux basses températures. La compréhension des phénomènes physiques sous-jacents et d'accrétion reste encore imparfaite, ce qui milite pour des recherches poussées et le développement de moyens de mesure spécifiques.

Aux États-Unis, suite à l'accident de Roselawn, le NTSB a recommandé de revoir les conditions de givrage par cristaux de glace et mixtes. La FAA, à la suite du travail de plusieurs groupes, a proposé en 2007 un appendice D pour les moteurs (FAR Part 33), définissant une nouvelle enveloppe de certification ; la publication en 2010 de la NPRM 10-10 (Notice of Proposed Rule Making) rendait cet appendice D opérationnel.

En Europe, les initiatives et décisions de l'EASA ont concerné :

- la certification : toute nouvelle demande postérieure au 30 janvier 2011 doit satisfaire à l'appendice D, qui intègre une nouvelle atmosphère pour les cristaux de glace. Toutefois il apparaît qu'il manque crucialement de moyens expérimentaux, souffleries par exemple, pour en vérifier la conformité ; en fait le seul moyen existant repose sur l'évaluation par analyse et sur l'expérience en service ;
- la réglementation à moyen terme : cette réglementation va reprendre la NPRM 10-10 de la FAA en élargissant son application à toutes les sondes. Une NPA (Notice of Proposed Amendment) devait voir le jour fin 2011.

En outre, l'EASA a soutenu la création du groupe EUROCAE (European Organization for Civil Aviation Equipment) sur la révision de l'ETSO (European Technical Standard Order) pour les sondes Pitot.

En définitive, de nombreux défis sont à relever :

- la connaissance physique des cristaux de glace ;
- la mesure des conditions de givrage par cristaux de glace ;
- le développement d'outils de simulation.

La remontée des informations s'est beaucoup améliorée, l'encombrement de l'espace aérien induit des vols plus fréquents dans des zones géographiques où des cristaux de glace sont présents. La question de l'impact du réchauffement climatique sur l'augmentation de l'étendue de ces zones géographiques est posée.

#### **4.3. Givrage par cristaux de glace : connaissances actuelles et futures recherches, *Walter Strapp, Environment Canada, Cloud Physics and Severe Weather Research Section***

Il est fréquent que les avions traversent des zones de convection où la concentration de cristaux de glace (IWC, Ice Water Content) est supérieure à

## Engine Icing

- more complicated because air in engine is warm
- cold ice particles drive down the temperatures of surfaces to freezing temperatures
- some crystals melt and freeze on cooled surfaces
- ice breaks off and causes surge/stall/thrust loss, sheds into combustor and quenches flame (flameout), or builds up and chokes airflow (rollback)
- actual details are under investigation

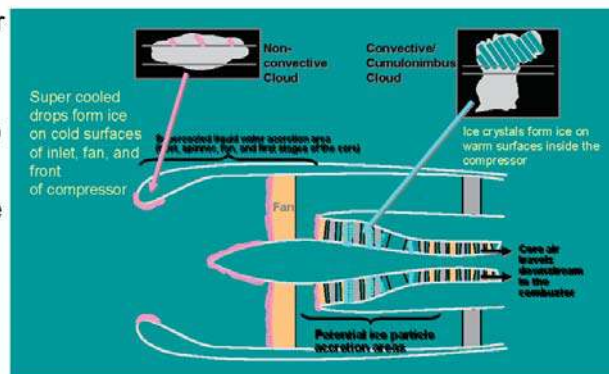


Figure 10 – Givrage d'un moteur par cristaux de glace / Engine ice-crystal icing

An analysis of weather data, flight recorders and pilots' observations led to an interesting conclusion. Whilst the onboard radar picks up nothing, certain indicators can suggest icing conditions:

- an anomaly or error in total air temperature, due to melting then refreezing in probes;
- precipitation on the windscreen (the melting of ice crystals resembles heavy rain);
- noise of crystals impacting the airframe.

Convective phenomena appear differently according to whether they form over continents or oceans, particularly rising currents. In-flight concentration data measurements are now old: those dating from the 1950s reported IWC values of up to 8g/cubic metre. During more recent testing, values were found to be 3g/cubic metre. The EHWG group therefore concluded that it was necessary to carry out new in-flight measurements using more sophisticated equipment. A first set of tests was carried out by Airbus in Darwin in February 2010 then in Cayenne in May 2010; initial observations confirmed detection rates and the results are presently being analysed. A second set of tests, organised jointly by FAA, NASA and Boeing, is planned in Darwin in 2013; 150 flight hours with a specially fitted out plane. Boeing also envisages fitting out a 747 over a period of one to two years on a route chosen for its convective phenomena.

2 g/m<sup>3</sup> et n'est pas détectée par le radar de bord. Les conséquences touchent la sécurité, notamment par l'intermédiaire de la perte de poussée des moteurs, comme par exemple, pour un BAe 146 au milieu des années 1990. Des restrictions de vol furent imposées à l'époque par la FAA, et suivies d'essais. En 2003-2004, un groupe de travail spécifique EHWG (Engine Harmonisation Working Group), regroupant les principaux constructeurs d'avions et de moteurs, les organismes de régulation et les agences gouvernementales de l'Amérique du Nord, fut formé pour analyser le problème. Au cours de cette étude, plus de cent événements survenus entre 1990 et 2004 furent répertoriés et analysés.

Le processus de givrage par cristaux de glace, encore en cours d'investigation, a fait l'objet de présentations, notamment pour les moteurs où il est plus complexe que pour les sondes (figure 10). La formation de glace sur des parties du compresseur peut altérer la poussée ; si les cristaux de glace passent dans la chambre de combustion, une extinction du moteur est à craindre. Ces événements peuvent représenter, outre la non-utilisation de l'avion, des coûts de maintenance élevés (ordre de grandeur : 300 à 500 milles dollars par événement).

L'analyse des données météorologiques, des données des enregistreurs de vol et des observations des pilotes a conduit à une conclusion intéressante. Alors que le radar de bord reste aveugle, il existe des indicateurs pour déceler les conditions givrantes :

- anomalie ou erreur de la température totale de l'air, par suite de la fonte puis de la recongélation dans les sondes ;
- précipitations sur le pare-brise (la fonte des cristaux de glace est perçue comme une forte pluie) ;
- bruit de l'impact des cristaux sur la cellule.

Les phénomènes convectifs apparaissent très différents selon qu'ils se forment sur les continents ou au-dessus des océans, en particulier pour les courants ascendants. Les données de concentrations relevées en vol sont anciennes : celles datant des années 1950 ont rapporté des valeurs IWC atteignant 8 g/m<sup>3</sup>. Lors de campagnes d'essais plus récentes, on a relevé 3 g/m<sup>3</sup>. Le groupe EHWG a donc conclu à la nécessité de réaliser de nouvelles mesures en vol et pour ce faire de disposer d'une instrumentation plus performante. Une première campagne d'essais a été réalisée par Airbus à Darwin en février 2010 puis à Cayenne en mai 2010 ; les premières observations ont confirmé les indices de détection, l'analyse des résultats est en cours. Une deuxième campagne, associant la FAA, la NASA et Boeing, est prévue à Darwin en 2013, 150 heures de vol sont programmées avec un avion fortement instrumenté. Boeing envisage aussi d'instrumenter un 747 commercial sur une période d'un à deux ans et sur une route choisie pour ses phénomènes convectifs.

Les avancées attendues sur la connaissance des phénomènes liés aux cristaux de glace et les indices de détection seront inclus dans la formation des équipages. À

*The progress expected in our knowledge of the phenomena linked to ice crystals and their detection indicators will be included in crew training. In the longer term, such phenomena could be better forecast in terms of both their positioning and their lifespan, although this aim remains ambitious. Satellite data could improve detection capacity but their refreshment rate would have to be high (c. every 15 minutes), due to the rapid changes in the activity to be detected. Ground radar could also be used but their cover is still insufficient. Nowcasting, based on a great deal of information being correlated, summarised and transmitted to the cockpit in a short lapse of time (less than 30 minutes) represents just as much of a challenge.*

#### **4.4. Uplink met and flight safety: the FLYSAFE project, Marc Fabreguettes, FLYSAFE Project Leader, THALES**

*The FLYSAFE project ran from 2005 to 2009 within the framework of the FP6 (European Framework Programme for Research and Technological Development). The main aim was to identify accident causes not attributable to purely mechanical or human problems. This programme brought together 36 partners from 14 countries and had a budget of 53 million euros.*

*Weather conditions are often quoted as being among the different cause of accidents and it was considered that the negative impact should be reduced. Within this context, research specifications were established. Technologies were identified for ground and onboard systems. These technologies were validated by progressive integration, subsystem by subsystem, and by carrying out flight testing in different hostile conditions. An overall assessment was finally carried out in a simulated environment in Amsterdam. This presentation outlined the programme's results in the following areas: better forecasting, better information, available data fusion.*

##### **4.4.1. Ground systems**

*Four weather data management systems have been developed, each relating to a specific weather phenomenon. These WIMS (Weather Information Meteorological System) focus on:*

- *trailing vortices;*
- *clear air turbulence;*
- *icing conditions;*
- *convective phenomena.*

*These systems should satisfy three space-time resolution scales according to whether they are used on a global, continental or airport level. The ICE-WIMS for icing conditions is a good illustration of these three scales: the*

plus long terme, l'amélioration pourrait venir de la prévision des phénomènes, tant en ce qui concerne leur localisation que leur période d'activité, mais cet objectif représente un réel défi. La détection pourrait bénéficier des données satellitaires à condition de parvenir à une fréquence de rafraîchissement élevée (environ toutes les quinze minutes), en raison du changement rapide de l'activité à détecter ; des radars sol pourraient aussi être utilisés mais leur couverture est encore insuffisante. Le "nowcasting", basé sur des informations multiples, corrélées, synthétisées et transmises au cockpit dans un court laps de temps (moins de 30 minutes) représente un autre défi tout aussi difficile.

#### **4.4. Transmission à bord de la météo et sécurité des vols : le projet FLYSAFE, Marc Fabreguettes, Chef du Projet FLYSAFE, THALES**

Le programme FLYSAFE a été mené de 2005 à 2009 dans le cadre du 6<sup>e</sup> PCRD (Programme cadre de recherche et développement européen). L'objectif général était d'identifier les causes d'accident non liées à des problèmes purement mécaniques ou humains. Ce programme a regroupé 36 partenaires appartenant à 14 pays et a disposé d'un budget de 53 millions d'euros.

Les conditions météorologiques sont souvent citées parmi les causes d'accidents et il convient d'en limiter les aspects négatifs. Dans cette perspective des spécifications de recherche ont été établies. Des techniques ont été identifiées pour les systèmes sol et bord. Ces techniques ont été validées par des intégrations partielles, sous-système par sous-système, et en effectuant des essais en vol dans différentes conditions hostiles ; une évaluation globale a été enfin menée dans un environnement simulé à Amsterdam. La présentation a porté sur les réponses apportées par le programme sur les aspects suivants : meilleure prévision, meilleure information, fusion des données disponibles.

##### **4.4.1. Systèmes au sol**

Quatre systèmes de gestion de données météorologiques, répondant chacun à un phénomène météorologique particulier, ont été développés. Ces WIMS (Weather Information Meteorological System) ont porté sur :

- les tourbillons de sillage ;
- les turbulences de ciel clair ;
- les conditions givrantes ;
- les phénomènes convectifs.

Ces systèmes devraient satisfaire à trois échelles de résolution spatiale et temporelle en fonction de leur utilisation mondiale, continentale ou aéroportuaire. L'ICE pour les conditions givrantes illustre bien les trois échelles : le réseau global, sous la responsabilité d'UK Met, a une résolution spatiale de 40 km et est rafraîchi toutes les six heures, le réseau continental ou intermédiaire, sous la responsabilité de l'Université de Hanovre, a une résolution spatiale de

*global network, under the responsibility of the UK Met office, has a spatial resolution of 40km and is refreshed every 6 hours; the continental or intermediary network, under the responsibility of the University of Hanover, has a spatial resolution of 7km with an hourly refresh rate; the local network, under the responsibility of Meteo-France, has a 1 km resolution and is updated every 15 minutes.*

*Systems combine existing weather data obtained via networks, statistics and predefined data, with forecasting models in order to achieve optimal forecasts. Weather data and significant associated parameters (time evolution, probability, path) are obtained from the WIMS. It was noted that these phenomena do not all present the same dangerousness and the same confidence interval. Only data considered to be most relevant to the position and flight phase of the aircraft are transmitted to the crew; this same data is shared with all potential ground players.*

#### **4.4.2. Onboard systems**

*An NG-ISS (Next Generation-Integrated Surveillance System) has been developed which integrates the possibilities of the new technologies. It provides pilots with processed information (consolidated, sorted, presented on Navigation Display) on existing and forecast risks presented by weather phenomena, air traffic and airports, after merging ground data with those available on board.*

*Coupled with the FMS (Flight Management System), avoidance solutions and modifications to flight path are proposed to the crew for validation. A supplementary module analyses actions taken by the crew facing the detected threat.*

#### **4.4.3. Data fusion**

*Data fusion is beneficial given the following considerations:*

- the onboard weather radar presents certain range limitations and is directional;*
- information correlated from the weather radar and the WIMS make it possible to provide an integrated object;*
- the WIMS vision can be received from ground systems via satellite telecommunications.*

*Onboard display of WIMS data also gives pilots the possibility of anticipating weather conditions, for instance in the event of a heading alteration imposed by air control. In the case of a rainstorm, the radar only sees on a level of the aircraft; WIMS data give extra information on the top and bottom of the cloud and its temporal evolution.*

7 km avec un rafraîchissement toutes les heures, le réseau local, sous la responsabilité de Météo-France, a une résolution du kilomètre et un rafraîchissement toutes les quinze minutes.

Le fonctionnement d'un système part des données météorologiques existantes, obtenues via les réseaux, les statistiques et les données prédéfinies, ainsi que des modèles de prévision pour aboutir aux "meilleures" prévisions. Les données météorologiques sont extraites du WIMS, de même que les paramètres significatifs associés (évolution temporelle et probabilité, trajet). Il a été noté que tous les phénomènes ne présentent pas la même dangerosité et le même intervalle de confiance. Seules les données considérées comme les plus pertinentes sont transmises aux avions, en fonction de leur localisation et de leur phase de vol ; ces mêmes données sont partagées avec tous les clients sol potentiels.

#### **4.4.2. Systèmes de bord**

Un système NG-ISS (Next Generation-Integrated Surveillance System) intégrant les possibilités des nouvelles technologies a été développé. Il permet de communiquer aux pilotes, après traitements (consolidation, hiérarchisation en termes d'alerte, présentation sur le Navigation Display), les risques existants et prévisionnels liés à la météorologie, au trafic aérien et aux aéroports, après fusion des données sol avec celles disponibles à bord.

En relation avec le FMS (Flight Management System), des solutions d'évitement et des modifications de plan de vol sont proposées à l'équipage pour validation. Un module supplémentaire permet d'analyser les actions prises par l'équipage face à la menace détectée.

#### **4.4.3. Fusion des données**

La fusion des données est bénéfique compte tenu des considérations suivantes :

- le radar météorologique embarqué présente certaines limitations pour la portée et est directionnel ;
- les informations corrélées du radar météorologique et du WIMS permettent de fournir un objet agrégé ;
- la vision WIMS peut être reçue du management sol via un satellite de télécommunication.

La visualisation à bord des données WIMS permet aussi aux pilotes d'anticiper les conditions météorologiques, par exemple en cas de changement de cap imposé par le contrôle. Pour un phénomène orageux et pluvieux, le radar ne voit qu'au niveau de vol de l'avion ; les données WIMS donnent des informations supplémentaires sur le sommet et la base du nuage, ainsi que sur son évolution temporelle.

Le projet FLYSAFE a prouvé la faisabilité technique de la fusion des données et des échanges sol-bord, ainsi que la capacité à distribuer la meilleure information

*The FLYSAFE project has proved the technical feasibility of data fusion and air-ground exchanges as well as the capacity to distribute the best information to all actors. Several avenues of research remain open. The first pertains to condensed, effective display of onboard information, since pilots have no ambition to become meteorologists. The FLYSAFE programme only took a single plane into account, so the CDM dimension remains to be elaborated. There remain problems of bandwidth, global geographical coverage and standardisation of meteorological messages. Economic feasibility incorporating the cost of communications is also a major challenge that must be met on a global level.*

#### **4.5. Taking weather conditions into account in operations, Jean-Michel Roy, Test Pilot, Airbus**

*For an aircraft manufacturer such as Airbus, humans must remain at the heart of the system in order to meet the priority goals of safety and efficiency in the air transport system. Among the operators involved, pilots are of particular importance; this explains why display has been dealt with from the viewpoint of the pilot, focusing on cockpit development and in particular the way in which weather information is processed and displayed by onboard systems. Improving the quality, availability, readability and reliability of weather information has always been a major aim in designing onboard systems.*

*In recent decades, many improvements have been made:*

- *setting up of onboard information systems. These systems aimed to digitise weather information, previously noted on paper during briefings; this increased the amount of information available, with better updating and easier, faster access;*
- *improvement of onboard weather radar systems: improved signal processing, thanks in particular to digital filters, taking into account terrain and its effects on radar detection, integrated presentation on the navigation display, 3D resolution displaying the situation according to altitude and enabling more efficient, safer avoidance measures of dangerous situations, development of alarms in the case of an absence of reaction on the part of pilots in the face of weather risks;*
- *increased data exchange between ground and air, in the case of ATC through the digital transmission of ATIS information thus significantly improving the quality and amount of information on board and avoiding errors inherent to phonic transmission, together with real time transmission of METAR and TAF by airline operation centres.*

*In addition to such improvements, other avenues for progress have been identified. One of these would be to increase onboard weather information by using satellite images. The feasibility and operational advantages*

à tous les acteurs. Il subsiste plusieurs domaines de recherche. Le premier porte sur la présentation synthétique et efficace des informations à bord, car les pilotes n'ont pas vocation à devenir des météorologues. Le programme FLYSAFE ne prenait en compte qu'un seul avion, il reste donc à mettre en place l'aspect CDM. Il existe des problèmes de bande passante, de couverture géographique globale, de standardisation des messages météorologiques. La faisabilité économique intégrant le coût des communications est aussi un défi majeur à relever au niveau mondial.

#### **4.5. La prise en compte des conditions météorologiques en opérations, *Jean-Michel Roy, Pilote d'Essais, Airbus***

Pour un constructeur comme Airbus, l'homme doit rester au cœur du système afin de satisfaire les objectifs prioritaires de sécurité et d'efficacité du transport aérien. Parmi les opérateurs impliqués, le pilote a une importance toute particulière et, pour cette raison, la présentation a été traitée sous l'angle du pilote et s'intéresse au développement des cockpits en se focalisant en particulier sur la manière dont les informations météorologiques sont traitées et présentées par les systèmes de bord. L'amélioration de la qualité, de la disponibilité, de la lisibilité et de la fiabilité des informations météorologiques a toujours été l'un des objectifs pris en compte pour la conception des systèmes de bord.

Dans les dernières décennies, des améliorations notables ont été enregistrées :

- la mise en place de systèmes d'information de bord ("on board information systems"). Ces systèmes ont visé la numérisation des informations météorologiques, auparavant recueillies en cours de briefing sous forme papier ; la numérisation a permis de disposer de plus d'informations, d'informations plus récentes, avec un accès plus facile et plus rapide ;
- l'amélioration des systèmes de radar météorologique de bord : meilleure qualité de traitement des signaux, en particulier grâce à des filtres numériques, prenant en compte le terrain et ses effets sur la détection radar, présentation intégrée à l'écran de navigation, résolution 3D permettant de visualiser la situation en fonction de l'altitude et autorisant des mesures plus efficaces et plus sûres d'évitement de situations dangereuses, développement d'alarmes dans le cas d'absence de réaction des pilotes en présence de risques météorologiques ;
- les échanges accrus de données entre le sol et le bord, au niveau de l'ATC par la transmission numérique des informations ATIS, augmentant de façon significative la qualité et la richesse des informations de bord et évitant les erreurs inhérentes à la transmission par phonie, ainsi que par la transmission en temps réel par les centres des opérations des compagnies aériennes de METAR et de TAF.

Au-delà de ces améliorations, d'autres axes de progrès ont été identifiés. C'est encore l'enrichissement des informations météorologiques de bord par l'apport

*presented by this option have been demonstrated but display criteria of the new weather information remain to be defined. This latter aspect is all the more important since it is essential to maintain the consistency of general onboard presentation rules – colour codes for example – whilst aiming at a global standardisation of these rules. It will also be necessary to reflect on pilot training, since the latter have no desire to become meteorological engineers, in order to help them interpret the new weather information.*

*Real progress is likewise necessary around airports for approach and taxiing. Two key improvements have passed feasibility studies and should be applied in the future:*

- taxiing has become more and more complex at certain airports and can be highly problematic in conditions of reduced visibility. This is a real problem impacting efficiency and safety; incidents, and even accidents, during taxiing are by no means uncommon. In this case, including a ground navigation system in the in-flight navigation system, locating the aircraft on the airport map, indicating the route to the parking area and, in the near future, incorporating the position of other mobile objects on the airport, would undoubtedly bring about a huge improvement to the present situation;*
- use of the “brake-to-vacate” function. This function makes it possible to take the real state of the runway into better account – particularly when wet or in the event of a known contamination – by optimising braking with relation to the exit runway and thus preventing any risk of runway excursion.*

*Weather management and its impact on flight efficiency and safety have always been, and will remain, one of the main preoccupations of any aircraft manufacturer. Reinforced collaboration with weather information providers will be one of the conditions enabling new avenues for improvement to be explored in the areas of detection, forecasting and presentation of relevant information to the pilot.*

#### **4.6. Managing the impact of weather on air traffic control, Ellen King, FAA System Operations, and Kevin Johnston, Senior Meteorologist, FAA System Operations**

*The main figures behind aviation and air traffic control in the U.S. were recalled: Aviation represents 5.6% of GDP and generates 11 million jobs. The national system of air traffic control manages on average 55,000 flights every day, with peaks of 7,000 aircraft controlled simultaneously in U.S. airspace.*

*In order to coordinate all en-route and terminal control centres, as well as airport control centres, there exists a central system known as ATCSCC (Air*

d'images satellitaires. La faisabilité et l'intérêt opérationnel de cette voie ont été démontrés mais il reste par contre à définir le mode de présentation des nouvelles informations météorologiques. Ce dernier aspect est d'autant plus important qu'il faudra être cohérent avec les règles générales de présentation à bord, pour le codage des couleurs par exemple, tout en visant à une standardisation globale de ces règles. Il importera aussi de réfléchir à la formation des pilotes, qui n'ont pas vocation à devenir des ingénieurs de la météorologie, afin de les aider à interpréter les nouvelles informations météorologiques.

De réels progrès sont par ailleurs nécessaires au niveau des aéroports pour les phases d'approche et de roulage au sol. Deux améliorations-clés ont fait l'objet d'études de faisabilité et devraient être déployées dans le futur :

- le roulage au sol est devenu de plus en plus complexe sur certaines plateformes aéroportuaires et peut devenir réellement problématique lorsque la visibilité est réduite. Il s'agit là d'un vrai problème affectant l'efficacité et la sécurité ; les incidents, voire les accidents, au roulage ne sont pas rares. Dans ce contexte, l'intégration au système de navigation en croisière d'un système de navigation au sol, positionnant l'avion sur la carte de la plate-forme, indiquant la route à suivre jusqu'au parking et, à terme, intégrant la position des autres mobiles sur la plate-forme, amènerait assurément une grande amélioration à la situation présente ;
- le déploiement de la fonction "brake-to-vacate". Cette fonction permet de mieux prendre en compte l'état réel de la piste, en particulier quand elle est humide ou en cas de contamination connue, en optimisant le freinage en fonction de la bretelle de sortie et en prévenant tout risque potentiel de sortie de piste.

La gestion de la météorologie et de son impact sur l'efficacité et la sécurité des vols a toujours été, et restera dans le futur, l'une des préoccupations prioritaires de tout constructeur aéronautique. Une collaboration renforcée avec les fournisseurs d'informations météorologiques sera l'une des conditions permettant d'explorer de nouvelles voies d'amélioration en matière de détection, de prévision et de présentation des informations appropriées au pilote.

#### **4.6. Gérer l'impact de la météorologie dans le contrôle de la circulation aérienne, *Ellen King, FAA System Operations, et Kevin Johnston, Senior Meteorologist, FAA System Operations***

Les principaux chiffres dimensionnants de l'aviation et du contrôle aérien aux États-Unis ont été rappelés : l'aviation contribue pour 5,6 % du PIB national et génère 11 millions d'emplois. Le système national de contrôle du trafic aérien gère en moyenne 55 000 vols quotidiennement, avec des pointes de 7 000 avions contrôlés simultanément dans l'espace aérien américain.

Afin de coordonner l'ensemble des centres de contrôle en route et terminaux,

*Traffic Control System Command Center) whose main mission is to detect the moment at which demand in terms of traffic exceeds system capacity and to take the necessary measures to maximize traffic fluidity whilst maintaining safety at its highest level.*

*When demand exceeds capacity, two types of measure are available to ATCSCC and its correspondents in control centres:*

- *measures known as “Ground Delays” which block aircraft on the ground before take-off when a destination airport is at excess saturation, often due to weather phenomena (thunderstorms, tornados, snowfall, etc.);*
- *measures known as “Air Space Flow programs” when a portion of airspace is saturated; the case most frequently encountered is that of the closure of a portion of airspace for meteorological reasons (dangerous convective phenomena at flight levels used by commercial airliners).*

*Overall, 70% of delays in the U.S. are caused by the weather. In order to reduce the impact of weather phenomena, the FAA has developed operational plans called SWAP (Severe Weather Avoidance Plan) which include a certain number of predefined scenarios of alternative routes (Air Space Flow programs) set up when needed according to a CDM collaborative decision mechanism involving all actors (FAA, general, business and commercial aviation) in order to arrive at the best scenario faced with a critical weather situation.*

*The FAA, in collaboration with the national meteorology administration, has developed a set of forecasting tools:*

- *CCFP (Collaborated Convective Forecast Product) provides 2-, 4- and 6-hour forecasts for zones subject to convective phenomena;*
- *LAMP (Localized Aviation Model output statistics Program) presents a similar type of information but for 25 hours, enhanced by occurrence probability;*
- *COSPA (COnsolidated Storm Prediction for Aviation) provides 8 hour forecasts of precipitation and storm phenomena.*

*The first tool is used operationally; the two others are under operational assessment by the ATCSCC.*

*Two new projects have been launched:*

- *ECCFP (Extended Convective Forecast Product), which differs from the CCFP by its 24 hour forecast;*
- *AIGCW, a decision aid, which combines weather forecasts and traffic forecasts in order to elaborate re-routing scenarios and choose the best scenario in terms of airspace capacity.*

ainsi que les centres de contrôle d'aéroport, il existe un système central appelé ATCSCC (Air Traffic Control System Command Center) dont la principale mission est de détecter le moment où la demande en termes de trafic dépasse la capacité du système, et de prendre les mesures nécessaires pour maximiser la fluidité du trafic tout en maintenant la sécurité à son plus haut niveau.

Lorsque la demande excède la capacité, deux types de mesures sont à la disposition de l'ATCSCC et de ses correspondants dans les centres de contrôle :

- des mesures dites de "Ground Delays" qui bloquent les avions au sol avant décollage, lorsqu'un aéroport de destination est à un niveau excessif de saturation, souvent pour des problèmes dus à des phénomènes météorologiques (orages, tornades, neiges, ...);
- des mesures dites "Air Space Flow programs" quand une partie de l'espace aérien est saturée, le cas le plus fréquemment rencontré étant la fermeture d'une partie de l'espace pour des raisons météorologiques (phénomènes convectifs dangereux aux niveaux de vol utilisés par les avions de ligne).

Globalement, 70 % des retards aux États-Unis sont liés à des raisons météorologiques. Afin de réduire l'impact des phénomènes météorologiques, la FAA a développé des plans opérationnels appelés SWAP (Severe Weather Avoidance Plan), comprenant un certain nombre de scénarios prédéfinis de routes alternatives (Air Space Flow programs) mis en œuvre en cas de besoin suivant un mécanisme de prise de décision collaboratif (CDM) impliquant l'ensemble des acteurs (FAA, aviations générale, d'affaires et commerciale) afin d'évaluer le meilleur scénario face à une situation météorologique critique.

La FAA, en collaboration avec l'administration nationale de la météorologie, a développé un ensemble d'outils de prévision :

- la CCFP (Collaborated Convective Forecast Product) donne des prévisions à 2, 4 et 6 heures pour les zones pouvant être sujettes à des phénomènes convectifs;
- le LAMP (Localized Aviation Model output statistics Program) présente le même type d'information mais à 25 heures, complétée de probabilité d'occurrence;
- le COSPA (COnsolidated Storm Prediction for Aviation) fournit une prévision des précipitations et phénomènes orageux à 8 heures.

Le premier outil est utilisé opérationnellement, les deux autres sont en cours d'évaluation opérationnelle par l'ATCSCC.

Deux nouveaux projets ont démarré :

- l'ECFP (Extended Convective Forecast Product) qu'on distingue du CCFP par une prévision à échéance de 24 heures;
- l'AIGCW qui est une aide à la prise de décision, en mélangeant les prévisions météorologiques et les prévisions de trafic afin d'élaborer des scénarios de re-

*These new tools are still in experimental stage and should be deployed within a few years.*

*To complement these tools, designed essentially for taking into account en-route phenomena, two other tools concerning the approach phase are in prototype stage:*

- *one aims to model the risks of dangerous wind in approach in the very short term, particularly as regards wind shear;*
- *a second one assesses the impact of winds forecast for the next two hours on an airport's capacity.*

#### **4.7. Summary**

*Meteorological phenomena in cruise flight, as in other flight phases, have a recognised impact on air safety but also, and above all, on the capacity of the air transport system, with notable reductions in capacity in the case of severe convective phenomena, as is the case in the U.S.*

*Concerning safety, for almost half of accidents, the weather was considered to be one of the contributing or exacerbating factors, but never until now considered as the single cause, since meteorological phenomena are almost always predicted or predictable. Three main avenues for progress were identified: Better use of existing information on the ground and on board, an improvement of ground and onboard detection equipment and a standardisation of data and their display.*

*One dangerous phenomena, for which relatively little is known for the moment since it is non detectable and difficult to forecast, is that of high altitude crystal ice icing. This phenomenon requires research in fundamental physics and measurement and modelling techniques.*

*The FLYSAFE programme, focusing on the dangerousness of weather phenomena, has demonstrated the technical feasibility of ground-to-air data exchange and its onboard fusion so as to present better information to crews.*

***The impact of meteorological phenomena on the capacity of the air transport system has been clearly shown for example in the U.S. where the weather accounts for 70% of observed delays. This is why the FAA is the only air traffic control organisation to have developed forecasting tools and to have set up the necessary procedures to maintain safety whilst minimising operational impact.***

routage de flux aériens et de choisir le meilleur scénario en termes de capacité de l'espace aérien.

Ces nouveaux outils sont encore au stade expérimental et devraient voir leur déploiement dans les années à venir.

Complétant ces outils essentiellement destinés à la prise en compte des phénomènes en route, deux autres outils sont en cours de prototypage pour les approches :

- un premier outil vise à modéliser à très court terme les risques de vent dangereux en approche, et particulièrement les risques de cisaillement de vent ;
- un second outil porte sur l'évaluation de l'impact sur la capacité d'un aéroport des vents prévus dans les deux heures.

#### 4.7. Synthèse

Les phénomènes météorologiques en croisière, comme dans les autres phases de vol, ont un impact reconnu sur la sécurité aérienne mais aussi et surtout sur la capacité du système de transport aérien, avec des réductions notables de capacité en cas de phénomènes convectifs sévères, comme cela est le cas aux États-Unis.

Concernant la sécurité, pour près de la moitié des accidents, la météorologie a été considérée comme l'un des facteurs contributifs ou aggravants, mais jamais jusqu'ici comme la seule cause, car les phénomènes météorologiques sont quasiment toujours prévus ou prévisibles. Trois axes principaux de progrès ont été identifiés : une meilleure utilisation de l'information existante au sol et à bord, une amélioration des moyens de détection au sol et embarqués, la standardisation des données et de leur mode de présentation.

Un des phénomènes dangereux et relativement mal connu à l'heure actuelle, car non détectable et difficilement prévisible a été présenté, il s'agit du givrage à haute altitude par cristaux de glace. Ce phénomène requiert des recherches en physique fondamentale, en techniques de mesure et en modélisation.

Le programme FLYSAFE, centré sur la dangerosité des phénomènes météorologiques, a démontré la faisabilité technique d'échanges de données sol-bord et de leur fusion à bord pour une meilleure information des équipages.

**L'impact des phénomènes météorologiques sur la capacité du système de transport aérien a été illustré par l'exemple des États-Unis, où la météorologie est la cause de 70 % des retards observés. C'est la raison pour laquelle la FAA est la seule organisation de contrôle du trafic aérien à avoir développé des outils de prévision et à avoir mis en place les procédures nécessaires pour maintenir la sécurité tout en minimisant l'impact opérationnel.**

## SESSION 5: AVENUES FOR RESEARCH

**President:** Anne-Marie Mainguy, Former Director of ONERA Lille Centre, AAE

**Secretary:** Pierre Bauer, Emeritus Director of Research, CNRM Meteo-France, AAE

Certain research programmes have already been presented or touched on in sessions 1 to 4. Session 5 focused on long-term research, particularly major structuring programmes carried out on both sides of the Atlantic (Next Gen in the U.S., SESAR in Europe); speakers were invited from, on the one hand, major air transport policy makers and, on the other, aeronautics meteorology specialists.

### 5.1. Concepts for aeronautics support in NextGen, David Pace, Aviation Meteorologist, FAA

The speaker first emphasised the necessity, in the areas of air traffic and meteorology, to have access to the best experimental observations and forecasts. In NextGen, work has been focused on three main areas: shared information, network-centred operations and integrated decision making.

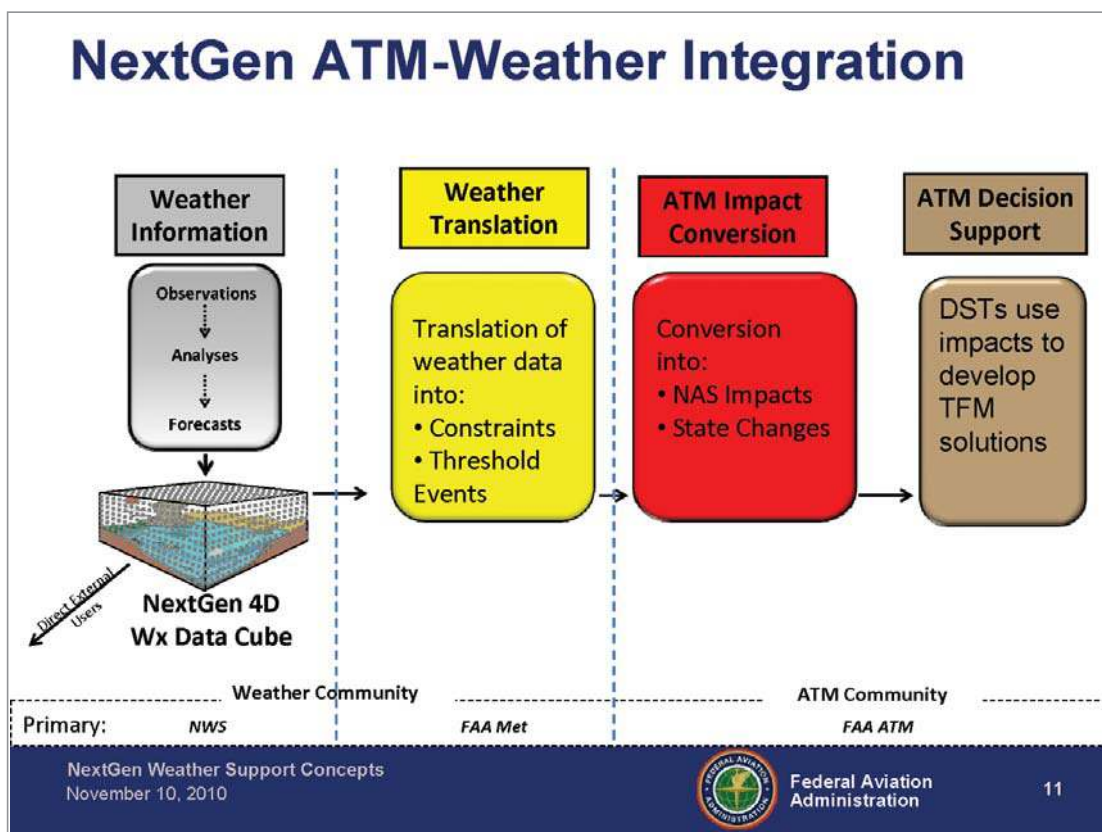


Figure 11 – Intégration ATM-Météorologie dans NextGen / ATM-meteorology integration into NextGen

## SESSION 5 : AXES DE RECHERCHE

**Présidente :** **Anne-Marie Mainguy**, *Ancien Directeur de l'ONERA  
Centre de Lille, AAE*

**Rapporteur :** **Pierre Bauer**, *Directeur de Recherche Émérite, CNRM  
Météo-France, AAE*

Certains travaux de recherche ont déjà été présentés ou évoqués dans les sessions 1 à 4. La session 5 s'est concentrée sur les axes de recherche à long terme, notamment les grands programmes structurants menés des deux côtés de l'Atlantique (Next Gen aux États-Unis, SESAR en Europe), en donnant la parole, d'une part, à de hauts responsables du trafic aérien et, d'autre part, à des spécialistes de la météorologie aéronautique.

### **5.1. Concepts pour le support aéronautique dans NextGen,** *David Pace, Aviation Meteorologist, FAA*

L'orateur a tout d'abord rappelé la nécessité de disposer, dans les domaines du trafic aérien et de la météorologie, des meilleures observations expérimentales et des meilleures prévisions. Dans NextGen, les travaux ont été focalisés sur trois axes majeurs : l'information partagée, les opérations par réseaux centrés, l'intégration pour la prise de décision.

L'information partagée peut être illustrée par cette notion de "cube météorologique 4D" accessible à tout le monde. Ce cube 4D doit être continuellement réactualisé, posséder la meilleure résolution possible et contenir des prévisions concernant certains phénomènes comme la turbulence ou le givrage. À l'intérieur de ce cube 4D existe un sous-ensemble de données constituant la source unique de référence utilisée par la FAA pour prendre ses décisions ; les autres acteurs, compagnies aériennes, aéroports, autres organismes peuvent utiliser des informations d'autres sources, y compris celles contenues dans le cube 4D.

L'intégration dans la décision se traduit par un schéma (figure 11) permettant, outre l'identification de celui qui prend la décision, la modification des routes et des espacements entre avions, si les conditions météorologiques le demandent. Dans ce schéma, l'information sur l'environnement évolue de la gauche vers la droite et les demandes pour le trafic empruntent le chemin opposé. Les bonnes décisions nécessitent la connaissance des contraintes existantes et leurs différents impacts.

*Shared information can be illustrated by this notion of “4D weather cube” accessible to all. This 4D cube must be continually updated, posses the best resolution possible and contain forecasts concerning certain phenomena such as turbulence or icing. Inside this 4D cube exists a sub-set of data that constitutes the single reference source used by the FAA for its decisions; other players – airlines, airports, other organisations – can use information from other sources, including those contained in the 4D cube.*

*Integrated decision is shown by a diagram (figure 11) which not only identifies who is making the decision, but also makes it possible to modify routes and spacing between planes, if required by weather conditions. In this diagram, information on the environment moves from left to right and demand for traffic follows the opposite path. The right decisions require knowledge of existing limitations and their different impacts.*

## **5.2. The future ATM system and meteorology, Dennis Hart, Aviation Meteorology Expert, Eurocontrol**

*Dennis Hart adopted an approach aimed at raising questions for the closing round table; he for instance questioned whether meteorological means were adequate to air traffic needs, at once for the present and the future.*

*On average, only 20% of detected delays (in Europe) can be put down to weather conditions; however the percentage of delays caused by the weather during certain specific periods can be much higher and generate huge costs, such as in 2008 for example. An analysis of weather-linked delays together with the regular exchanges existing between the different players revealed several desired elements of progress (in addition to the perennial demand for better weather forecasting):*

- *provision of efficient, formatted weather data;*
- *provision of reliable, accurate and timely information;*
- *a pooling of integrated, interoperable information between the different players: weather services, cockpit, airports and airlines;*
- *coherent and robust information;*
- *full compliance with regulations.*

*On the question of the necessary research, the speaker considered the main challenge facing the different players to be the interaction between the communities handling respectively air traffic management and meteorology. In his view, imperfect weather forecasts must not prevent weather data being taken into account in air traffic management. Moreover, expertise must be based on validated scientific concepts. Lastly the concept of “doubt” must be introduced into the air traffic management system.*

## **5.2. Le futur système ATM et la météorologie, *Dennis Hart, Aviation Meteorology Expert, Eurocontrol***

Dennis Hart a adopté une démarche visant à susciter des questions lors de la table ronde de clôture et, dans cette optique, a fait état de ses interrogations quant à l'adéquation entre moyens météorologiques et besoins du trafic aérien, à la fois pour le présent et le futur.

En moyenne, seuls 20 % des retards constatés (en Europe) sont imputables aux conditions météorologiques ; toutefois, le pourcentage de retards d'origine météorologique peut, dans certaines périodes, être beaucoup plus élevé et induire d'énormes surcoûts, comme par exemple en 2008. L'analyse des causes météorologiques des retards et les échanges constants existant entre les différents acteurs ont permis, au-delà de la sempiternelle demande de meilleures prévisions météorologiques, de faire émerger plusieurs éléments de progrès énumérés ci-dessous :

- la fourniture de données météorologiques formatées et efficaces ;
- la fourniture, en temps voulu, d'une information fiable et précise ;
- le partage d'une information intégrée et interopérable entre les différents acteurs, des services météorologiques jusqu'au cockpit, en passant par les aéroports et les compagnies aériennes ;
- la cohérence et la solidité de l'information ;
- la prise en compte intégrale des réglementations.

Sur la question de l'effort de recherche nécessaire, l'orateur estime que le principal défi à relever par les différents acteurs réside dans l'interaction entre les communautés s'occupant respectivement de la gestion du trafic aérien et la météorologie. De son point de vue, des prévisions météorologiques imparfaites ne doivent pas constituer un obstacle à la prise en compte des données météorologiques dans la gestion du trafic aérien. Par ailleurs, l'expertise doit s'appuyer sur des concepts scientifiques validés. Enfin, le concept de "doute" doit être introduit dans la gestion du trafic aérien.

Les recherches purement techniques seront prises en charge par les grands programmes comme NextGen et SESAR. Il subsistera un élément clé à appréhender tant par la communauté météorologique que par celle de la gestion du trafic aérien : la prise en compte du degré d'incertitude, du degré de confiance et d'une approche probabiliste.

## **5.3. Information météorologique pour l'aéronautique : de la décision en route au changement climatique, *Herbert Pümpel, Chief Aeronautical Meteorology Division, WMO***

Jusqu'à aujourd'hui, sécurité et économie (efficacité) ont été traitées de manière séparée mais cette approche devient de plus en plus difficile dans la mesure où

*Research carried out by major programmes such as NextGen and SESAR is purely technical. A key element that remains to be tackled by the meteorological and ATM community is to take into account degree of uncertainty, degree of trust and a probabilistic approach.*

**5.3. Meteorological information for aeronautics: en-route decision to climate change, Herbert Pümpel, Chief Aeronautical Meteorology Division, WMO**

*Until today, safety and economy (efficiency) were dealt with separately but this approach is becoming more and more difficult as the system approaches its limits. Also problematic is the fact of dealing with rare events since this rules out the existence of significant statistics; in certain circumstances, even, crew stress management should be taken into account.*

*Weather models have improved enormously in past decades, particularly concerning temperature forecasts and wind in altitude; however, the standardisation and communication of such data must still be improved. Satellite measurements provide better data to input into the model and AMDAR data enhance knowledge on vertical profiles; now progress must be made in our knowledge of boundary conditions, in other words the interaction between ground and atmosphere and the state of the atmosphere near the ground. In order to achieve this, measurements must be multiplied and improved. Convection, turbulence and icing phenomena remain insufficiently understood, forecasts must be improved and feedback from experience stepped up; a WMO working group has been set up on this matter. Another example is the current difficulty of forecasting ceiling and visibility.*

*A difficulty inherent to meteorology and aeronautics meteorology is the fact that the phenomena in question are situated at different scales, mesoscales and microscales, in a four dimensional space-time domain.*

**5.4. Aeronautics meteorology: lines of research, Marc Pontaud, Deputy Director CNRM, Meteo-France**

*European meteorology research for aeronautics is carried out within the framework of the SESAR programme. European meteorologists use the EUMETNET network to formulate their proposals for the SESAR programme, bearing in mind in particular the American 4-D cube approach.*

*French meteorology can also count on the SAFIRE research aircraft fleet. These planes are equipped with meteorological instruments and, for projects carried out with aeronautics partners, help gain a fuller understanding of a certain number of questions raised by this conference.*

le système s'approche de ses limites. De plus, le traitement des événements rares est délicat du fait qu'il est contradictoire avec l'existence de statistiques significatives ; dans certaines circonstances, il faudrait, en outre, prendre en compte la gestion du stress des équipages...

Les modèles météorologiques ont connu de grands progrès depuis quelques décennies, en particulier en ce qui concerne la prévision de la température et du vent en altitude ; néanmoins, il reste à améliorer la normalisation et la communication des données. Les mesures satellitaires ont permis de nourrir le modèle de meilleures données et les données AMDAR autorisent une meilleure connaissance des profils verticaux ; il faut maintenant continuer à progresser sur la connaissance des conditions limites, c'est-à-dire plus particulièrement sur l'interaction entre sol et atmosphère et sur l'état de l'atmosphère au voisinage du sol. Pour ce faire, il faut multiplier les mesures et accroître leur qualité. Convection, turbulence, givrage restent des phénomènes dont la compréhension doit être approfondie, les prévisions doivent être améliorées et le retour d'expérience accru ; un groupe de travail de l'OMM existe sur ce sujet. Un autre exemple aéronautique est la difficulté actuelle à prévoir plafond et visibilité.

Une difficulté inhérente à la météorologie et à la météorologie aéronautique réside dans le fait que les phénomènes à prendre en compte se situent à différentes échelles, méso-échelles et micro-échelles, dans un domaine spatio-temporel à quatre dimensions.

#### **5.4. Météorologie aéronautique : axes de recherches,**

*Marc Pontaud, Directeur Adjoint du CNRM, Météo-France*

Les recherches météorologiques européennes menées pour l'aéronautique s'inscrivent dans le cadre du programme SESAR. Les météorologues européens bénéficient du réseau EUMETNET pour formuler leurs propositions dans le programme SESAR ; celles-ci prennent notamment en compte l'approche américaine du "cube quadri-dimensionnel".

La météorologie française bénéficie aussi de la flotte d'avions de recherche SAFIRE. Ces avions sont instrumentés pour répondre aux besoins météorologiques, ils permettent également, dans le cadre de projets conduits avec les milieux de l'aéronautique, d'appréhender un certain nombre des questions relevant des thèmes du colloque.

Les recherches météorologiques visent à répondre à la demande du trafic aérien concernant la croisière, l'approche et l'aéroport. Leurs principales caractéristiques portent sur les résolutions spatiales et temporelles, sur le rafraîchissement des informations, sur les niveaux de probabilité, sur les marges d'incertitude et les degrés de confiance. Si les différents acteurs du transport aérien s'accordent sur l'importance de ces éléments, il n'est pas sûr qu'ils leur donnent le même sens et il apparaît donc utile de clarifier les choses.

*Meteorological research aims to satisfy air traffic demands in the areas of cruise, approach and airport zone. Its main characteristics include space and time resolutions, information refresh, levels of probability, margins for error and degrees of confidence. While the different air transport players agree on the importance of these elements, it is by no mean sure that they give them the same weight; a certain clarification therefore appears necessary.*

*Certain specific problems exist such as:*

- *fog-related situations;*
- *characterisation of states of airport surfaces;*
- *icing phenomena;*
- *wind shear;*
- *high resolution space-time modelling of airports;*
- *atmospheric convection;*
- *cloud developments (cumulonimbus);*
- *volcanic ash.*

*The means to meet the challenges raised by these different problems include instrumentation on the ground, especially in airports, and also onboard instrumentation (plane or satellite). New systems (lidar, radar, sodar) must be set up and existing or future systems, particularly space technology, should be used to meet aeronautics needs. Data must be merged with meteorological models, an essential step to improve both spatial resolution (descending scale) and refresh rates.*

*The only way of increasing the amount of information collected and its spatial and temporal resolution is by augmenting computing methods. The question will then be one of transferring this flow of available information (volume and readability) to users in the cockpit.*

*After such an evolution the approach will need to be reinforced in terms of probabilities, uncertainty margins and degree of confidence.*

## **5.5. Summary**

*Research into aeronautics meteorology must focus on four areas: improving our knowledge on meteorological phenomena, developing specific instruments, perfecting forecasting means and managing weather information.*

*Meteorological phenomena that require study include the high altitude (microcrystals, convection) and the ground or ground vicinity (wind shear, fog).*

Il existe un certain nombre de problèmes spécifiques tels que :

- les situations de brouillard ;
- la caractérisation des états des surfaces aéroportuaires ;
- les phénomènes de givrage ;
- les cisaillements de vent ;
- la modélisation à haute résolution spatio-temporelle des aéroports ;
- les convections atmosphériques ;
- les développements nuageux (cumulonimbus) ;
- les cendres volcaniques.

Les moyens pour relever les défis soulevés par ces différents problèmes concernent l'instrumentation au sol, notamment sur les aéroports, ainsi que l'instrumentation embarquée sur avion ou sur satellite. Il est souhaitable de mettre en place de nouveaux systèmes (lidar, radar, sodar) et d'exploiter, en fonction des besoins aéronautiques, les moyens existants ou futurs, notamment spatiaux. Il faut parvenir à une "fusion de données" avec les sorties des modèles météorologiques, étape indispensable tant en ce qui concerne l'accroissement des résolutions spatiales ("descentes d'échelle") qu'en ce qui concerne le "rafraîchissement" de l'information.

Accroître la collecte d'informations ainsi que les résolutions spatio-temporelles ne pourra se faire qu'au prix d'une augmentation des moyens de calcul. Le flux d'informations ainsi disponible posera aussi le problème de son transfert (volume et lisibilité) aux utilisateurs dans le cockpit.

Une telle évolution entraînera la nécessité de renforcer l'approche en termes de probabilité, de marge d'incertitude et de degré de confiance.

## 5.5. Synthèse

Les efforts de recherche de la météorologie aéronautique doivent porter sur quatre domaines : l'amélioration des connaissances relatives aux phénomènes météorologiques, le développement d'instrumentations spécifiques, le perfectionnement des moyens de prévision, la gestion de l'information météorologique.

Les phénomènes météorologiques à approfondir touchent aussi bien la haute altitude (microcristaux, convection) que le sol ou le voisinage du sol (cisaillements de vent, brouillards).

L'instrumentation doit porter sur les moyens au sol (lidars, radars, sodars) et sur les moyens embarqués à bord d'avions de ligne (AMDAR) ou d'avions de recherche.

Les moyens de simulation numérique propres à la météorologie sont en constante évolution, un modèle opérationnel à un instant donné cédant la place à un modèle amélioré après quelques mois. Les besoins spécifiquement aéronautiques portent sur l'accroissement de la résolution spatio-temporelle, sur la prévision

*The instrumentation should be developed for the ground means (lidars, radars, sodars) and for the onboard equipments of airliners (AMDAR) and research planes.*

*Numerical simulation devices dedicated to meteorology are constantly being enhanced; an operational model at a given time is succeeded by an improved model after only a few months. Needs specific to aeronautics include enhancing spatial and temporal resolution, immediate forecasting and taking into account meteorological phenomena. The result has a direct impact on navigation, during take off or landing phases, and also for updating information and probabilistic approaches.*

*Optimal management of information coming from different sources constitutes a major challenge in terms of data fusion, interpretation and anticipation, evaluation of uncertainties and dimensioning of communication means. The pooling of information by all air traffic players is essential. This implies, among other things, a reference source accessible to all and some well identified decision-making processes.*

immédiate, sur la prise en compte des phénomènes météorologiques ayant un impact direct sur la navigation ou dans les phases de décollage ou d'atterrissage, sur le rafraîchissement de l'information et sur les approches probabilistes.

La gestion optimale de l'information provenant de différentes sources constitue un défi majeur en termes de fusion de données, d'interprétation et d'anticipation, d'évaluation des incertitudes et de dimensionnement des moyens de communication. Le partage de l'information entre les acteurs du trafic aérien est essentiel. Cela signifie, en autres choses, une source de référence accessible à tous et des processus de décision bien identifiés.

## 6. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

*Meteorology is only rarely the main cause of an aviation accident but it can be a contributing or exacerbating factor. Precise statistics on the origin of air accidents established by the international aeronautics community for the 1999-2008 period confirm that weather factors (storm, wind shear) are a minority cause, far behind other causes such as runway excursions or in-flight loss of control.*

*Experience also shows that all meteorological phenomena have been characterised and indeed most are predictable and predicted. Our knowledge of certain phenomena (ice crystals), however, remains incomplete, while others (hail, ice crystals) are imperfectly detected and others still are highly localised, making only a brief appearance, and thus tend to escape real time forecasting (fog, reduced visibility, wind shear, etc). These meteorological phenomena can have an impact on safety (wind shear) and more generally hamper the regularity and capacity of air transport.*

*As regards regularity of flights, in other words the absence of delays, the weather can play a role which varies according to geographic region. In the U.S., meteorology is at the heart of 70% of delays observed, which explains why the FAA is at the forefront in terms of developing forecasting tools and setting up procedures to maintain safety whilst minimising operational impact. In Europe, weather conditions are on average responsible for 20% of delays, but crisis weather conditions such as storms, snowfall or volcanic ash clouds can bring the air traffic system to a standstill.*

*Meteorological information is provided by aeronautics meteorological services which are both integrated into general meteorological organisations such as Meteo-France and linked to international bodies such as WTO. Aeronautics meteorology shares with general meteorology a certain number of intrinsic difficulties and uses both digital measurements and forecasting means.*

*The difficulties intrinsic to meteorology are the following:*

- *the atmosphere can be considered as a dynamic, non-linear system with deterministic, chaotic modelling, which can give rise to bifurcations. This makes forecasting particularly tricky;*
- *the instantaneous state of the atmosphere can be apprehended through measures carried out by meteorological stations spread over the world's surface and more and more by aircraft (AMDAR) and specialised*

---

\* It has to be said that in Europe delays can be caused by many other factors including lack of efficiency and industrial action.

## 6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le constat est que la météorologie n'est qu'exceptionnellement la cause première d'un accident aérien mais elle peut en constituer un facteur contributif ou aggravant. Les statistiques précises établies par la communauté aéronautique internationale pour la période 1999-2008 détaillant l'origine par catégories des accidents aériens indiquent en effet que le facteur météorologique (tempête, cisaillement de vent) est une cause très minoritaire, loin derrière d'autres causes comme les sorties de piste ou les pertes de contrôle en vol.

Il s'avère aussi que, par expérience, la totalité des phénomènes météorologiques sont identifiés et pour la plupart prévisibles et souvent prévus ; il subsiste néanmoins quelques phénomènes dont la compréhension n'est pas totale (cristaux de glace), d'autres dont la détection est imparfaite (grêle, cristaux de glace), d'autres encore très localisés, apparaissent dans un court laps de temps et échappent parfois à une prévision en temps réel (brouillard, visibilité réduite, cisaillement de vent, etc.). Ces phénomènes météorologiques peuvent avoir un impact sur la sécurité (cisaillement de vent) et en règle générale nuisent à la régularité et à la capacité du transport aérien.

Pour la régularité des vols, c'est-à-dire l'absence de retards, la météorologie joue un rôle qui varie en fonction des régions géographiques. Pour les États-Unis, la météorologie est la cause en moyenne de 70 % des retards observés, ce qui a conduit la FAA à prendre une certaine avance dans le développement d'outils de prévision et dans la mise en place de procédures maintenant la sécurité tout en minimisant l'impact opérationnel. Pour l'Europe, la météorologie est en moyenne responsable de 20 % des retards\* mais peut paralyser le trafic aérien en cas de crise météorologique due à des tempêtes, des chutes de neige, ou des nuages de cendres volcaniques.

Les informations météorologiques sont fournies par les services de météorologie aéronautique, lesquels sont à la fois intégrés dans des organisations météorologiques à vocation plus générale, comme Météo-France, et impliqués dans des organisations internationales comme l'OMM. La météorologie aéronautique partage avec la météorologie générale un certain nombre de difficultés intrinsèques et exploite à la fois des mesures et des moyens de prévisions numériques. Les difficultés intrinsèques à la météorologie tiennent à plusieurs caractéristiques :

- l'atmosphère peut être considérée comme un système dynamique non linéaire dont la modélisation présente un caractère chaotique déterministe, qui peut donner lieu à des bifurcations. Ceci rend la prévision particulièrement délicate ;

---

\* Il faut dire qu'en Europe les retards ont bien d'autres causes notamment l'inefficacité de l'organisation et les mouvements sociaux

*satellites. Millions of pieces of information are received. As a result, a data assimilation stage is necessary to define an initial state for digital tools which then endeavour to forecast the evolution of the atmosphere via temporal integration of discretised equations. The entire process of assimilation followed by processing now runs smoothly although greater and greater computing power is necessary. It is also time consuming: 24 hours forecasting for instance requires 20 minutes computing;*

- *to study the whole of the Earth's atmosphere in its three dimensions and to discretise fluid mechanics equations, space must be sliced up into grid boxes of 15 km typically on the horizontal plane. Smaller size models exist for certain regions but the dimension of each box of the grid never drops under 1 km. Certain limitations are linked to knowledge of the conditions of the boundary layer; for example it is tricky to take into account precise terrain and exchanges between the ground and the atmosphere;*
- *different errors can also affect the quality of forecasting, essentially observation and modelling errors (basic models do not perfectly describe the physical phenomena under consideration), but also discretisation errors linked to the choice of grid dimension. As a result, certain local phenomena such as fog can escape forecasting and "corrections" have to be introduced into the forecast by airport meteorologists so as to better reflect reality.*

*Aeronautics weather forecasting clearly has certain limitations, despite the high level of competence of these specialised services. It cannot totally meet users' demand for real time information. Existing and anticipated numerical simulation tools are not capable of forecasting the wind in the very short term for instance, which complicates flight path management. Wind forecasting will help resolve conflicts between aircraft in a strategic and probabilistic way but can never guarantee tactical separation between planes. Display of three dimensional convective situations and their forecasting on control positions will remain, despite residual uncertainties, useful to controllers in anticipating aircraft re-routings. Air traffic services also need to have appropriate decision aids to interpret the results of meteorological models for aeronautics.*

*The most serious issue facing future air transport in Europe is apparently that of airport capacity: given the population density in Western Europe, it is difficult to envisage building new airports. Consequently the only solution to cope with air traffic growth would be an optimal use of existing airports, whatever the weather conditions.*

- l'état instantané de l'atmosphère peut être appréhendé au travers des mesures réalisées par les stations météorologiques réparties sur la surface du globe et de plus en plus par les avions de ligne (AMDAR) et des satellites spécialisés. Ces données se chiffrent en millions. En conséquence il existe une étape d'assimilation de ces données pour définir un état initial pour les outils numériques qui vont ensuite s'efforcer de prévoir l'évolution de l'atmosphère par intégration temporelle des équations discrétisées. L'ensemble de ce processus d'assimilation puis de calcul est maintenant bien rodé mais, même si les puissances de calcul mises en œuvre sont de plus en plus élevées, il demande du temps, par exemple la prévision à 24 heures demande 20 minutes de calcul ;
- l'étude de l'atmosphère terrestre complète dans ses trois dimensions et la discrétisation des équations de la mécanique des fluides conduit à utiliser, malgré la puissance des ordinateurs utilisés, des mailles dont la dimension caractéristique est de 15 km horizontalement. Il existe aussi des modèles sur des régions de taille limitée dont la maille ne descend pas néanmoins au-dessous de 1 km. Certaines limitations sont liées à la connaissance des conditions limites au sol, par exemple tenir compte du relief précis et des échanges entre le sol et l'atmosphère est délicat ;
- il existe également différentes erreurs pouvant affecter la qualité des prévisions, essentiellement les erreurs d'observation et des erreurs de modèles (les modèles élémentaires ne décrivent pas parfaitement les phénomènes physiques à prendre en compte) sans oublier les erreurs de discrétisation liées au choix du maillage. De ce fait, certains phénomènes localisés comme le brouillard échappent parfois à la prévision et certaines "corrections" sont parfois introduites dans la prévision par les météorologues des aéroports pour mieux s'approcher de la réalité.

La prévision météorologique aéronautique possède donc certaines limites, malgré la grande compétence des services spécialisés. Elle ne peut répondre totalement à la demande des utilisateurs dont le souhait est de disposer d'informations en temps réel. Les outils de simulation numérique disponibles et envisagés ne permettent pas en particulier de prévoir le vent à très courte échéance, ce qui complique la gestion des trajectoires. La prévision du vent permettra une résolution des conflits entre avions de façon stratégique et probabiliste mais ne pourra garantir les séparations tactiques entre les avions. L'affichage des situations convectives en trois dimensions et de leur prévision sur les positions de contrôle restera, en dépit des incertitudes résiduelles, utiles pour que les contrôleurs puissent anticiper les changements de route des avions. Les services de la circulation aérienne devront en outre disposer d'aides à la décision appropriées, basées sur une interprétation à des fins aéronautiques des résultats des modèles météorologiques.

*For major airports, the CDM process, already set up at Paris-Charles de Gaulle and Amsterdam-Schiphol airports, requires meteorological information to be translated into a usable form for aeronautics and shared between the different actors, particularly during degraded weather situations. As well as the standard information currently transmitted in the form of messages, graphic or cartographic display will have to improve so as to conform to global standards if it is to be used to its full. More accurate information in airport terminal areas, based on smaller gridboxes and time steps, will be necessary. This will reduce separation between aircraft on approach and optimize flights paths in descent and climb. Data fusion in the cockpit for the benefit of pilots has been shown to be possible in certain programmes such as FLYSAFE.*

*Large-scale programmes such as NextGen in the U.S. and SESAR in Europe endorse the necessary matching of meteorological resources and air traffic, even if the solutions to arrive at this match remain unclear.*

*Going beyond scientific and technical considerations, economic aspects must also be considered. It appears highly likely that desired progress will only be attained by dint of sizeable investment in both ground and onboard equipment, and that the cost of such enhanced services will have to be footed either by the taxpayer or by users.*

*One way of cutting costs would be to pool equipment and information as far as possible. As stipulated in the Single European Sky directive, centres responsible for aviation meteorology in Europe would be advised to constitute a network to provide coherent and single information on the whole European airspace.*

*Meteorological information on a European scale is in fact essential for the European air traffic network manager in order to anticipate and take the best decisions in the event of critical weather events. Air traffic control services will continue to transmit weather information to aircraft but data link in broadcast or customised mode will make this function less and less valuable. All new forecasting and interpreting tools and decision aids will also need financing.*

L'impact le plus sérieux pour l'avenir du transport aérien semble être en Europe la capacité des aéroports : compte tenu de la densité de population des pays d'Europe occidentale, il est difficile d'envisager la construction de nouveaux aéroports. En conséquence, la seule solution pour accommoder un accroissement du trafic aérien réside dans l'utilisation optimale des aéroports existants et ce quelles que soient les conditions météorologiques.

Pour les aéroports importants, les processus CDM, déjà mis en œuvre par exemple sur les plates-formes Charles de Gaulle et Schiphol, nécessitent, en particulier pour les situations météorologiques dégradées, la mise en place d'informations météorologiques interprétées pour les besoins aéronautiques et partagées entre les différents acteurs. Au-delà des informations standards actuelles, transmises sous forme de messages, la représentation de ces informations sous forme graphique ou cartographique, devra progresser et reposer sur des standards mondiaux afin d'en assurer un bon usage. Des informations plus précises en zone terminale des aérodromes, issues de modèles à maille réduite et à durée courte, seront nécessaires. Elles permettront d'assurer des séparations réduites entre avions à l'approche et d'autoriser des trajectoires optimisées en descente et en montée. La possibilité de réaliser la fusion des données dans le cockpit pour assister les pilotes, a été démontrée dans certains programmes comme FLYSAFE. De grands programmes comme NextGen aux États-Unis et SESAR en Europe prennent en compte l'adéquation nécessaire entre moyens météorologiques et besoins du trafic aérien, bien que les solutions pour parvenir à une telle adéquation restent parfois à préciser.

Au-delà des considérations scientifiques et techniques précédentes, les aspects économiques sont aussi à considérer. Il paraît plus que probable que les progrès attendus ne seront atteints qu'au prix d'investissements en équipements importants, tant pour les moyens au sol que pour les moyens à bord, et que le coût de services accrus devra être supporté soit par le contribuable, soit par les utilisateurs. Une façon de réaliser des économies serait de mutualiser au maximum les moyens et les informations. Pour l'Europe, il serait souhaitable que les centres responsables du service de la météorologie pour l'aviation, au sens de la directive "Ciel unique européen", se constituent en réseau pour fournir une information cohérente et unique sur tout l'espace européen. L'information météorologique à l'échelle européenne est en effet indispensable au gestionnaire du réseau européen de circulation aérienne afin d'anticiper et de prendre les meilleures décisions en cas d'événement météorologique critique. Les services du contrôle du trafic aérien continueront à transmettre les informations météorologiques aux avions mais la mise en place de liaisons de données en mode diffusion ou à la demande, par satellite en particulier, rendront cette fonction de moins en moins importante. Tous les outils nouveaux de prévision, d'interprétation et d'aide à la décision nécessiteront eux aussi des financements.

**The following recommendations emerge:**

► ***Meteorology will continue to make progress provided that:***

***Recommendation 1:***

- *Certain phenomena identified as impacting safety (icing) or capacity/regularity (fog, snow) are better understood.*

***Recommendation 2:***

- *A quantified stochastic approach to weather forecasting is adopted after standardising terminology for the following terms: forecasting errors, forecasting uncertainties, forecasting probability, degrees of confidence in forecasts;*
- *Spatial resolution and refresh rates continue to be improved.*

► ***The provision of meteorological services to all players will improve provided that:***

***Recommendation 3:***

- *A study is carried out into organising and funding meteorological services on a European scale in order to cut down on fragmentation and the resulting loss in efficiency.*

***Recommendation 4:***

- *Standardised digital and graphic weather information is broadcast automatically and simultaneously to air space users and air traffic services.*

► ***Flight path management of aircraft will improve provided that:***

***Recommendation 5:***

- *Users of airspace and air traffic services are given a European reference forecast with the aim of guaranteeing more accurate, optimised flight path management.*

***Recommendation 6:***

- *Air traffic services are provided with tools to interpret the information coming from forecasting models and decision aids.*

***Recommendation 7:***

- *More accurate observation and forecasting means are developed and implemented on major airports to optimise arrival and departure trajectories and reduce separations between aircraft.*
- *Measurement and forecasting of runway friction (rain, snow) is improved.*

**Se dégagent quelques recommandations :****► *Le progrès des connaissances météorologiques se poursuivra en repoussant les limites à condition de :***

**Recommandation n° 1 :** Approfondir la compréhension de certains phénomènes identifiés pouvant avoir un impact sur la sécurité (givrage) ou sur la capacité/régularité (brouillard, neige).

**Recommandation n° 2 :** Adopter une approche stochastique quantifiée des prévisions météorologiques après avoir unifié la terminologie pour les termes suivants : erreurs de prévision, incertitudes de prévision, probabilité de prévision, degré de confiance à accorder aux prévisions ; progresser dans l'amélioration des résolutions spatiales et des fréquences de rafraîchissement.

**► *La fourniture des services météorologiques à tous les acteurs sera améliorée à condition de :***

**Recommandation n° 3 :** Étudier l'organisation et le financement des services météorologiques à l'échelle européenne pour pallier la fragmentation nuisible à l'efficacité.

**Recommandation n° 4 :** Mettre en place une diffusion automatique des informations météorologiques numériques et graphiques standardisées simultanément vers les usagers de l'espace aérien et les services de la circulation aérienne.

**► *La gestion des trajectoires des avions progressera à condition de :***

**Recommandation n° 5 :** Mettre à la disposition des usagers de l'espace aérien et des services de la circulation aérienne une prévision européenne de référence en vue d'assurer la gestion de trajectoires plus précises et optimisées.

**Recommandation n° 6 :** Étudier et mettre à disposition des services de la circulation aérienne les outils d'interprétation des informations issues des modèles de prévision et d'aide à la décision.

**Recommandation n° 7 :** Étudier et mettre en place sur les aéroports importants des moyens d'observation et de prévision plus précis pour optimiser les trajectoires d'arrivée et de départ et pour réduire les séparations entre avions ; progresser dans la mesure et la prévision de la glissance des pistes (pluie, neige).

► *The appropriation of these tools will improve provided that:*

***Recommendation 8:***

- *Pilots are given the most appropriate information for the different flight phases and on request in an internationally standardised form.*

***Recommendation 9:***

- *Pilots and controllers are properly trained to use the new forecasting and management tools.*

*“Weather forecasting will always contain a level of uncertainty, but this will be better and better apprehended. Observations and forecasts will match the needs of aviation more and more closely” (Alain Ratier).*

► *L'appropriation de ces outils progressera à condition de :*

**Recommandation n° 8 :** Fournir au cockpit les informations les mieux appropriées aux phases de vol et aux demandes des pilotes, sous une forme internationalement standardisée.

**Recommandation n° 9 :** Prévoir la formation des pilotes et des contrôleurs à l'utilisation des nouveaux outils de prévision et de gestion.

*“La prévision météorologique comprendra toujours des incertitudes mais ces incertitudes seront de mieux en mieux connues. Les observations et les prévisions seront de mieux en mieux adaptées aux besoins de l'aviation” (Alain Ratier).*



# ANNEXES

## GLOSSAIRE / GLOSSARY

AAE	Académie de l'air et de l'espace, Air and Space Academy	ATR	Avions de Transport Régionaux
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast	BEA	Bureau d'enquêtes et d'analyses
AF	Air France	CCFP	Collaborated Convective Forecast Product
AIGCW	Aviation Impact Guidance for Convective Weather	CCO	Centre de contrôle des opérations, operations control centre
AIRS	Atmospheric Infrared Sounder	CDG	Aéroport Paris-Charles de Gaulle, Paris-Charles de Gaulle airport
AMAN	Système de gestion des Arrivées, Arrival Manager	CDM	Collaborative Decision Making
AMC	Acceptable Means of Compliance	CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
AMDAR	Aircraft Meteorological Data Relay	CNRM	Centre national de recherches météorologiques
AMS	Amsterdam (aéroport de Schiphol, Schiphol airport)	COSPA	COnsolidated Storm Prediction for Aviation
ANSP	Air Navigation Service Provider	CS	Certification Specifications
ASPOC	Aide à la gestion de l'espace aérien en fonction des zones orageuses, Thunderstorm surveillance tool for air navigation	CSE	Certification Specifications for Engines
ATC	Air Traffic Control	CSPR	Closely Spaced Parallel Runways
ATCSCC	Air Traffic Control System Command Center	DGAC	Direction générale de l'aviation civile, French civil aviation authority
ATIS	Air Traffic Information Service	DLR	Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, German aerospace centre
ATM	Air Traffic Management	DMAN	Système de gestion des départs, departure manager
ATMAP	ATM Airport Performance		
ATOVS	Advanced Operational Vertical Sounder		

DSNA	Direction des services de la navigation aérienne	IASI	Interféromètre atmosphérique de sondage infrarouge, Infrared Atmospheric Sounding Interferometer
EASA	European Aviation Safety Agency	IATA	International Air Transport Association
ECFP	Extended Convective Forecast Product	IFALPA	International Federation of Airline Pilots' Associations
ECTL	European Center for Transportation and Logistics	IFATCA	International Federation of Air Traffic Controllers
EDR	Eddy Dissipation Rate	IWC	Ice Water Content
EHWG	Engine Harmonisation Working Group	KLM	Royal Dutch Airlines
Eumetnet	Network of European Meteorological Services	L-1011	Lockheed L-1011
EUROCAE	European organisation for Civil Aviation Equipment	LAMP	Localized Aviation Model Output Statistics Program
EUROCONTROL	European organisation for the Safety of Air Navigation	LVNL	Luchtverkeersleiding Nederland – Air Traffic Control of the Netherlands
ETSO	European Technical Standard Order	LVP	Low Visibility Procedures
FAA	Federal Aviation Administration	MET	METeorology
FAB	Functional Airspace Block	METAR	METeorological Airport Report
FABEC	Functional Airspace Block Europe Central	MIT	Massachusetts Institute of Technology
FAR	Flight Assistance Reengineering	MSTA	Meteorological Service for Terminal Area
FAR	Federal Aviation Regulations	MTV-SESAR	Mid-Term Validation-SESAR
FMS	Flight Management System	NASA	National Aeronautics and Space Administration
FLYSAFE	Airborne Integrated Systems for Safety Improvement, Flight Hazard Protection and All Weather Operations	NextGen	Next Generation Air Transport System
FP	EC Framework Programme	NG-ISS	Next Generation-Integrated Surveillance System
GDP	Gross Domestic Product	NPA	Notice of Proposed Amendment
GLD	Gestion locale des départs, Departure manager	NPRM	Notice of Proposed Rule Making
GPS-RO	GPS Radio Occultation	NTSB	National Transportation Safety Board
HRRR	High Resolution Rapid Refresh	NTWF	New Terminal Weather Forecast
ICAO	International civil aviation organization		

OACI	Organisation de l'aviation civile internationale	SWIM	System Wide Information Management
OMM	Organisation météorologique mondiale	UK Met	United Kingdom Meteorological Office
ONERA	Office national d'études et de recherches aérospatiales, French aerospace lab	Td	Température du point de rosée, Dew point temperature
PCRD	Programme cadre de recherche et développement européen	TAF	Terminal Aerodrome Forecasts
PIB	Produit intérieur brut	TBS	Time Based Spacing
QNH	Pression atmosphérique convertie au niveau de la mer selon les conditions de l'atmosphère standard, Barometric pressure adjusted to sea level	TFDM	Tower Flight Data Manager
R&D	Recherche et développement, Research and Development	TKE	Turbulent Kinetic Energy
RAPT	Route Availability Planning Tool	TMA	Time Metering Advisory
RECAT	Revising wake turbulence categories to gain capacity	UAV	Unmanned Aerial Vehicle
RUC	Rapid Update Cycle	WINTEMP	Vent et température, Wind and temperature
SAFIRE	Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement, French office of aircraft instrumented for environmental research	WIMS	Weather Information Meteorological System
SCAT	Scatterometer, Satellite [radar] measuring winds over the oceans	WMO	World Meteorological Organization
SES	Single European Sky	WSVBS	Wirbelschleppen Vorhersage und Beobachtungssystem, Wake vortex prediction and monitoring System
SESAR	Single European Sky ATM Research	WTR/RASS	Wind and Temperature Radar/Radio Acoustic Sounding System
SMS	Short Message Service		
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infra-Red Imager		
SSMI	Special Sensor Microwave Imager		
SWAP	Severe Weather Avoidance Plan		

## **PRESENTATION OF THE AIR AND SPACE ACADEMY**

*In 1983, thirty-five leading figures from the fields of aeronautics and space joined together to form an Academy of Air and Space, on the initiative of André Turcat.*

*The Académie nationale de l'Air et de l'Espace was officially founded in Toulouse, the uncontested capital in these areas, whose municipality has since consistently supported its actions. It was placed under the patronage of the ministers of Industry and Research, Defence, Education and Transport.*

*On 1<sup>st</sup> January 2007, it became the "Air and Space Academy", its new statutes embracing a European framework since they make no distinction between French and European members.*

### **Objectives**

*Its main mission is:*

*"To encourage the development of high quality scientific, technical, cultural and human actions in the realms of Air and Space, promote knowledge in these areas and constitute a focal point for activities".*

*In the course of its work, the Academy organises a range of events: international conferences, forums, lecture cycles, exhibitions, etc. often in collaboration with other academies, associations, institutions, political and economic bodies.*

*It also publishes proceedings, reports, annals, a newsletter and other works. The studies it carries out lead to recommendations dossiers, addressed to the relevant authorities.*

*It also lends its support to various external events.*

### **Partners**

*The Academy's partners include public or private organisations, educational establishments, companies, etc. Our partners are invited to all sessions, exhibitions, colloquia and other events and receive all our publications.*

*Over and above the financial and material support they provide, our partners constitute an essential link with the realities of the aerospace world and thus contribute to enriching our reflections. In return, the Academy has a duty to objectivity in its deliberations and uses the interface of its wide network of members and associated institutions to encourage suggestions from its partners as to future areas of study.*

### **International presence**

*Whilst continuing to develop its existing network of relationships with French organisations, our Academy is also reinforcing and enriching its international associations, exploring new links with the following:*

- *European and international institutions (European Commission and Parliament, European Defence Agency (EDA), Eurocontrol, Aerospace and Defence Industries Association of Europe (ASD), European Aviation Safety Agency (EASA), International Civil Aviation Organization (ICAO), International Air Transport Association (IATA) ...;*
- *the different space agencies: European (ESA), French (CNES), Italian (ASI), American (NASA), Japanese (JAXA) ...;*

## PRÉSENTATION DE L'ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

En 1983, trente-cinq personnalités de l'aéronautique et de l'espace ont fondé, à l'initiative d'André Turcat, "l'Académie nationale de l'Air et de l'Espace".

Installée officiellement à Toulouse, capitale sans conteste en ces domaines et soutien de son existence, l'Académie est placée sous le patronage des ministres de l'Industrie et de la Recherche, de la Défense, de l'Éducation nationale, et des Transports.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2007, elle est devenue "l'Académie de l'air et de l'espace" par la modification de ses statuts, qui s'inscrivent dans la continuité, tout en marquant une ouverture vers l'Europe puisqu'ils mettent sur le même plan les Français et les ressortissants européens.

### Sa mission

La mission essentielle demeure :

"favoriser le développement d'activités scientifiques, techniques, culturelles et humaines dans les domaines de l'Air et de l'Espace, valoriser et enrichir le patrimoine, diffuser les connaissances, constituer un pôle d'animation".

Les objectifs de l'Académie la conduisent à organiser des manifestations variées : congrès internationaux, forums, conférences, expositions, etc., souvent en collaboration avec les mondes académique, associatif, institutionnel, politique et économique.

Elle fait paraître de nombreuses publications : actes de colloques, dossiers, comptes rendus des forums, annales, lettre périodique, ouvrages de culture aéronautique... À l'issue des études qu'elle mène, elle adresse des recommandations aux autorités concernées.

Elle accorde également son patronage à des manifestations organisées en dehors d'elle.

### Ses partenaires

Les partenaires de l'Académie sont des personnes morales, organismes publics ou privés, grandes écoles, entreprises, etc. Ces partenaires, invités à toutes les séances et manifestations de l'Académie, peuvent y déléguer des représentants. Ils reçoivent les publications de l'Académie.

Au-delà des soutiens financiers et matériels apportés, ces partenaires constituent un lien essentiel et concret dans la plupart des aspects des actions et réflexions menées, lesquelles restent ainsi en prise directe avec les réalités du terrain. En retour l'Académie propose des réflexions, recommandations et synthèses en toute liberté d'esprit.

### Sa présence internationale

Tout en continuant à développer son important réseau de relations avec les académies, institutions et groupements français, l'Académie poursuit une action visant à renforcer et à enrichir ses liens internationaux. De nouvelles voies de collaboration s'ouvrent ainsi avec :

- les institutions européennes et internationales : Commission et Parlement européens, Agence européenne de défense (AED), Eurocontrol, Aerospace & Defence Association of Europe (ASD), Agence européenne de la sécurité aérienne (AESA), Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), International Air Transport Association (IATA) ... ;
- les différentes agences spatiales : européenne (ESA), française (CNES), italienne

- *the various European and international aerospace and defence organisations: Association of European Airlines (AEA), Council of European Aerospace Societies (CEAS), European Civil Aviation Conference (ECAC), European Low Fares Airline Association (ELFAA), European GNSS Supervisory Authority, European Regional Airlines (ERA), Airports Council International ACI-Europe...*

### **Members**

*The Academy is composed of 90 to 120 Fellows from European countries, and 20 Associate members (maximum) from countries outside of Europe. It also comprises Honorary members, Correspondents and Emeritus members.*

*Our members are or have been leading players from all walks of aerospace life: scientists, engineers, pilots, astronauts, doctors, manufacturers, economists, lawyers, historians and artists all work together to achieve these essential goals, thereby reinforcing the multidisciplinary nature of the Academy.*

### **Sections and Commissions**

*The Academy's work is carried out mainly within the context of its Sections, each with its particular field of study, and its Commissions, in order to examine wider issues.*

*Regular members belong to different sections according to their type of activity:*

<i>Section I</i>	<i>Scientific knowledge of Air and Space;</i>
<i>Section II</i>	<i>Applied science and technology of Air and Space;</i>
<i>Section III</i>	<i>Human presence and activity in Air and Space;</i>
<i>Section IV</i>	<i>Ethics, law, sociology and economy of Air and Space;</i>
<i>Section V</i>	<i>History, literature and arts of Air and Space.</i>

*Some commissions are permanent, others are charged with studying specific problems concerning several sections, and with putting forward solutions.*

### **Sessions**

*The Academy generally holds five sessions a year with the aim of encouraging an exchange of ideas concerning important topical issues, and taking collective decisions on possible actions. Each session is preceded by a board meeting with a view to preparing the themes to be dealt with in assembly and settle any other outstanding issues.*

*The final session of the year, the Solemn Plenary Session, which traditionally takes place in the Toulouse Town Hall, is the occasion for the Academy to present its prizes and medals to laureates for remarkable achievements in the areas of Air and Space, and to introduce its new members and board of governors.*

- (ASI), américaine (NASA), japonaise (JAXA)... ;
- les divers organismes et groupements aérospatiaux et de défense européens et internationaux : Association of European Airlines (AEA), Council of European Aerospace Societies (CEAS), Conférence européenne de l'aviation civile (CEAC), European Low Fares Airline Association (ELFAA), European GNSS Supervisory Authority, European Regional Airlines (ERA), Airports Council International ACI-Europe...

### **Ses membres**

L'Académie se compose de 90 à 120 membres titulaires, ressortissants d'États européens, et de 20 membres associés (maximum), ressortissants d'États non-européens. Elle comprend également des membres d'honneur, des correspondants et des membres honoraires.

Ses membres exercent ou ont exercé des responsabilités importantes dans leurs domaines respectifs. Scientifiques, ingénieurs, pilotes, astronautes, médecins, industriels, économistes, juristes, historiens, journalistes et artistes s'y trouvent réunis, affirmant ainsi le caractère multidisciplinaire de l'Académie.

Tous offrent leur expertise pour faire avancer la connaissance dans les divers domaines de l'Air et de l'Espace.

### **Ses sections et commissions**

Les travaux de l'Académie sont élaborés en priorité par des sections, chacune dans son activité propre, et par des commissions, en général transverses.

Les sections regroupent les membres titulaires par genre d'activité :

Section I	Connaissance scientifique de l'Air et de l'Espace ;
Section II	Science appliquée et technologie de l'Air et de l'Espace ;
Section III	Présence et activité humaines dans l'Air et l'Espace ;
Section IV	Morale, droit, sociologie et économie de l'Air et de l'Espace ;
Section V	Histoire, lettres et arts de l'Air et de l'Espace.

Quelques commissions siègent de façon permanente, d'autres commissions *ad hoc* sont chargées d'étudier des problèmes spécifiques, intéressant éventuellement plusieurs sections simultanément, et de proposer des solutions.

### **Vie de l'Académie**

L'Académie se réunit normalement cinq fois dans l'année dont, habituellement, trois fois à Toulouse, une fois à Paris et une fois en un autre haut lieu aéronautique ou spatial en France ou à l'étranger. Chaque séance est précédée d'une réunion du bureau, en vue de préparer les thèmes à traiter en assemblée, et de s'occuper de l'ensemble des problèmes liés à la vie de l'Académie.

La dernière séance de l'année est une séance solennelle, se déroulant traditionnellement à la Salle des Illustres du Capitole de Toulouse, et au cours de laquelle l'Académie remet son Grand prix, ses médailles, son Prix de droit et économie du transport aérien et spatial et d'autres prix exceptionnels.



## **PUBLICATIONS DE L'ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE**

### ***PUBLICATIONS OF THE AIR AND SPACE ACADEMY***

#### **Actes de colloques récents / *Recent conference proceedings***

En français ou anglais selon conférencier – *in English or French according to speaker*

- L'Europe et les débris spatiaux – *Europe and Space Debris*, CDRom, 2003
- Formation des ingénieurs ; aéronautique et espace, CDRom, 2004
- Les apports de l'Espace dans le progrès de la connaissance et de la gestion humaniste de la planète, CDRom, 2004
- Automatisation du système de transport aérien – *Aircraft and ATM Automation*, CDRom, 2006
- Hélicoptères : missions et perspectives, CDRom, 2006
- Le Transport aérien face au défi énergétique – *Air Transport and the Energy Challenge*, CDRom, 2007
- Accidents aériens : l'expertise judiciaire, CDRom, 2008
- *Scientific and fundamental aspects of the Galileo programme*, 2008, CDRom
- Prise de risque ; une nécessité humaine qu'il faut gérer, 2008, CDRom
- Les Aéroports face à leurs défis – *Airports and their Challenges*, 2010, CDRom
- Trafic aérien et météorologie – *Air Traffic and Meteorology*, 2011, CDRom

#### **Actes de forums récents / *Recent forum proceedings***

En français – *in French*

- n°17 Alarmes et conscience de la situation, 2003
- n°18 Compétence du pilote, 2003
- n°19 L'hélicoptère retrouve sa liberté, 2004
- n°20 De 14 heures à 18 heures de vol, et au-delà ; évolution ou révolution, 2004
- n°21 Vols très long-courriers, facteurs humains mis en jeu, 2005
- n°22 Du bloc opératoire au cockpit d'un avion de ligne, 2006
- n°23 Vision, une vue de l'esprit, 2009
- n°24 L'hélicoptère au service des urgences médicales, 2010
- n°25 Vision, une vue de l'ordinateur, 2011

## Ouvrages de culture aéronautique / *General works*

En français sauf si marqué par un astérisque – *in French except where marked with an asterisk*

- Le Nouveau Dédale, de Jean-Jacques Rousseau, 1801, réédition 1987
- Les Progrès de l'aviation par le vol plané, de F. Ferber, 1907, réédition 1987
- La Vie de l'avion commercial, sous la direction de P. Vellas, 1990
- Au temps de Clément Ader, sous la direction de P. Lissarrague, 1994
- Espace, science et médecine, 1994
- Coopération internationale entre industries aéronautiques et spatiales / *\*International cooperation between aerospace industries*, 1995
- Lettre-préface par Robert Esnault-Pelterie à l'Histoire Comique ou Voyage dans la Lune de Cyrano de Bergerac, réédition 1997
- Impact de la flotte aérienne sur l'environnement atmosphérique et le climat, rapport en collaboration avec l'Académie des sciences, 1997
- Joseph Czinczenheim tel que nous l'avons connu. Témoignages, 1998
- Ciel des Hommes, anthologie, choix et présentation des textes par Lucien Robineau, le cherche midi éditeur, 1999
- Henri Ziegler : Hommages et témoignages, 1999
- Un système de positionnement "Galileo" ; un enjeu stratégique, scientifique, technique, 2003, mise à jour 2008 / *\*A positioning system, Galileo: strategic, scientific and technical stakes* (2004)
- Dictionnaire historique des Français du Ciel, le cherche midi éditeur, 2005
- Lexique franglais-français de termes aéronautiques courants, 2009
- Annales 2001-2007, Tome 1 – Travaux, 2009
- Annales 2001-2007, Tome 2 – Communications, 2010

## Dossiers

Pour la liste des dossiers, voir page 3.

*For our bilingual "dossiers" series, please see page 3.*

## Lettre / *Newsletter*

Lettre bimestrielle qui fournit des informations sur nos activités avec également de courts articles traitant de thèmes aérospatiaux.

*Two-monthly publication giving the latest news on our activities together with a few articles on aerospace topics.*

## Abonnement / *Subscription*

Plusieurs modalités d'abonnement sont disponibles ; pour en savoir plus veuillez consulter notre site internet : [www.academie-air-espace.org](http://www.academie-air-espace.org)

*Different kinds of subscription are available; for more information, please visit our website: [www.air-space-academy.org](http://www.air-space-academy.org)*



L'incidence des conditions météorologiques sur le transport aérien est une observation banale pour tout passager : quel usager régulier du transport aérien n'a-t-il pas été confronté à des périodes de vol turbulent ou à des retards attribués à des conditions météorologiques dégradées ? Au-delà de ce simple constat qui ne fait que traduire que l'atmosphère est le siège de phénomènes extrêmement variés et temporaires, auxquels tout avion doit s'adapter, il convient de recenser ces phénomènes météorologiques et de s'interroger sur leurs conséquences.

Le colloque "Trafic aérien et météorologie" de l'Académie de l'air et de l'espace a été conçu comme un carrefour entre des spécialistes français et étrangers de la météorologie aéronautique, du contrôle aérien et de l'exploitation des avions. Ce dossier s'efforce de faire une synthèse des informations recueillies et des conclusions qui peuvent en être déduites.

*The impact of weather conditions on air transport is obvious to any passenger: what frequent flyer has never been confronted with patches of turbulence or delays due to bad weather conditions? This simple observation merely confirms that the atmosphere is alive with extremely varied, fleeting phenomena to which aircraft must adapt. It is important to take a closer look at these meteorological phenomena, draw up a list and examine their consequences.*

*A conference on "Air Traffic and Meteorology" was organised by the Air and Space Academy with the aim of bringing together international specialists from aviation meteorology and air traffic control and operations. This dossier presents a summary of the information exchanged and the ensuing conclusions.*

**ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE  
AIR AND SPACE ACADEMY**

Ancien Observatoire de Jolimont

BP 75825 - 31505 Toulouse cedex 5 - France

Tel : +33 (0)5 34 25 03 80 - Fax : +33 (0)5 61 26 37 56

contact@academie-air-espace.com - www.academie-air-espace.com