



# Rencontres R&D - 1<sup>er</sup> décembre 2021

## AERONAUTIQUE

### Les besoins en météorologie

#### Le futur des services météorologiques dans le domaine de l'aéronautique

**Valérie Scavarda** - DSM/AERO

Dans un contexte toujours plus contraint, tant sur les plans réglementaire que technique, financier et environnemental, les besoins des usagers aéronautiques ne cessent d'évoluer. Combiner sécurité des vols et efficacité opérationnelle reste un défi de tous les jours.

#### Le RFI porté par la DSNA et Météo-France

**Olivier Jaron** - DESR/GMAP

Un "Request For Information" (RFI) sur le thème des services avancés pour la météorologie et le climat va prochainement être lancé par la DSNA et Météo-France conjointement.

Il couvre une grande partie des phénomènes météorologiques qui impactent le trafic aérien : convection, brouillard, cisaillement, turbulence, givrage, etc.

Cette démarche vise à coordonner une vision commune du futur des services météorologiques à l'aviation ainsi qu'à identifier des partenaires potentiels avec qui développer des services innovants.

Dans cette présentation, nous évoquerons l'articulation de cette démarche avec les actions de recherche en cours à Météo-France, et en particulier : le développement de produits de prévision probabiliste, l'identification des pistes de recherche futures et l'ouverture à des partenariats extérieurs.

Les propos seront illustrés par des sujets concrets.

### SESAR

**Elvis Renard** - DSM/AERO/RIO, **Florence Besson** - DSI et **Nicolas Gaussiat** - DSO

Météo France est fortement impliqué dans le volet météorologique du programme européen SESAR, en particulier dans les projets de la phase de déploiement à visée opérationnelle.

Après un rapide tour d'horizon des activités de Météo-France dans SESAR, la présentation se focalisera sur trois projets auxquels Météo-France a activement contribué, en partenariat avec les homologues européens.

Ces projets se concrétisent par le développement de produits à visée opérationnelle, comme :

- la réalisation de mosaïques radar 3D à l'échelle européenne ;
- la mise à disposition de produits de prévision immédiate de convection, de prévision de turbulence et de givrage, prévisions harmonisées conjointement avec le DWD et le UKMO - et enfin le développement du MetGate\_MF, portail d'accès aux services météorologiques au travers de Web Services SWIM (System Wide Information Management), dans le cadre de la numérisation des informations à destination des usagers aéronautiques, pilotée par SESAR Deployment Manager (SDM) et EUROCONTROL.

## Premiers résultats du projet SOFOG3D

**Frédéric Burnet** - DESR/CNRM/GMEI/MNPCA, **Salomé Antoine** - DESR/GMAP

et **Pierre Crispel** - DSM/Aéro

L'objectif principal du projet SOFOG3D, financé par Météo-France et l'ANR, est d'approfondir notre compréhension des processus mis en jeu, afin d'améliorer la prévision du brouillard. Une campagne de mesure a été menée d'octobre 2019 à mars 2020 dans le sud-ouest de la France, avec un dispositif inédit permettant une caractérisation 3D de la couche limite atmosphérique grâce à la complémentarité entre télédétection, comme les radars nuages Basta et un réseau de radiomètres micro-ondes, et mesures in situ sol, drones et ballon captif. Durant les périodes d'observation intensive, 15 épisodes de brouillard ont été documentés très finement avec le ballon captif. Le dispositif mis en place sera présenté, ainsi que les premiers résultats des analyses de données.

Dans le cadre du COP 2017-2021 un AROME hectométrique avec une résolution horizontale de 500m est développé. Les données de la campagne de mesure SoFog3D sont utilisées pour évaluer les prévisions de brouillard de AROME hectométrique et les comparer aux prévisions de brouillard de la version opérationnelle de AROME-France. Différents tests de sensibilités ont été réalisés, concernant la résolution horizontale, la prise en compte du dépôt ou encore l'utilisation d'un schéma microphysique à deux moments LIMA. Les résultats donnés ici sont une étude statistique comparant la qualité des prévisions de brouillard des différentes configurations modèle.

Nous présentons un diagnostic de visibilité aéronautique, calculé en post-traitement du modèle AROME, qui alimente de manière opérationnelle depuis début 2021 le site internet Aeroweb à destination des usagers aéronautiques. Ce diagnostic prolonge les travaux menés par GMAP/PROC et DIROP/COMPAS sur la thématique de la visibilité. Il est basé sur un modèle statistique de forêts aléatoires qui prend en compte un plus grand nombre de prédicteurs atmosphériques par rapport aux diagnostics existants (ajout de l'humidité, la température, le vent et la tke). Il a été développé par l'équipe DSM/AERO pour cibler des classes de visibilité spécifiques aux usagers aéronautiques, et corriger certains biais pessimistes du diagnostic de visibilité AROME actuel. En particulier dans les situations de brumes sous faibles précipitations (fronts chauds) les contenus en eau nuageuse excessifs du modèle, et un biais pessimiste du diagnostic AROME se conjuguent pour donner des valeurs de visibilité irréalistes. La comparaison de ce nouveau diagnostic avec le diagnostic de visibilité existant montre un apport significatif, en particulier dans les situations de secteur chaud.

## En Route & Approche. Les produits convection

**Jean-Marc Moisselin** - DirOP/PI et **Pierre Crispel** - DSM/Aéro

ASPOC3D est un produit principalement radar mais qui combine l'information de satellite (sommet du Cb, foudre) et des réseaux foudre terrestre. MF produit ASPOC3D partout où il y a un radar. Les cellules sont suivies jusqu'à une heure d'échéance mais grâce au développement de PIAF on pourra bientôt proposer à notre usager une prévision jusqu'à 3 heures.

Le RDT (Rapidly Developing Thunderstorm) est développé dans le cadre du NWCSAF. Il détecte les orages à partir des données de satellites géostationnaires. La production à MF est globale. Les fichiers sont transformés et allégés pour être transmis à des partenaires commerciaux et un EFB (Electronic Flight Bag) permet à des milliers de pilotes de visualiser l'aléa convection le long du trajet. Les retours des pilotes ont permis d'améliorer le produit.

Le produit CI (Convection Initiation) est aussi un produit NWCSAF. Il permet de définir si un pixel va devenir orage dans les 30, 60 ou 90 minutes qui viennent. Il a un potentiel pour le secteur aéronautique car par exemple pour les opérations sur aéroport ou pour étendre l'horizon tactique donné par le RDT.

Dans le cadre du développement d'outils innovants pour le contrôle aérien, DSM/AERO a mis en oeuvre un démonstrateur proposant une interface d'aide à la décision relative au risque convectif. Ce type de produit est basé sur le croisement de différentes sources d'informations : prévision expertisée, prévision d'ensemble AROME et secteurs de contrôle aérien. La calibration a été réalisée durant l'été 2021 (stage IENM1) et le démonstrateur est accessible par les centres régionaux de contrôle depuis septembre 2021. La perspective de court-terme est l'intégration de cette interface aux Extranets dédiés au contrôle aérien. Ce travail est une première étape vers la mise en oeuvre de services à haute valeur

ajoutée par le croisement de ce type de produit avec des données issues de l'ATFCM (Air Traffic Flow and Capacity Management - ex. prévision du trafic, capacité des secteurs aériens).

### Altitude - Les cristaux de glace et le givrage

**Jean Wurtz** - DESR/CNRM/GMME/TROPICS, **Christine Le Bot** - DESR/ENM, **Elvis Renard** - DSM/Aéro et **Benoit Vié** - DESR/GMME

Le phénomène de givrage représente l'une des conditions météorologiques les plus dangereuses pour les avions. Il peut survenir lors du passage d'un avion dans des nuages contenant de l'eau surfondue, c'est à dire de l'eau liquide à température négative. Bien que les avions soient équipés de systèmes anti-givrage, ceux-ci ne sont pas toujours suffisants et des accidents se produisent parfois.

Depuis quelques années, un autre type de givrage impacte les avions de grandes lignes, à haute altitude. Ils observent des incidents liés à l'accrétion de glace dans des zones non protégées du moteur et des sondes de mesures. Ce phénomène est dû à la présence de petits cristaux de glace proches des zones convectives.

L'identification et la prévision de ces conditions météorologiques (présence d'eau surfondue ou de petits cristaux) reste un challenge. Les outils de diagnostic disponibles, fusionnant données d'observation (satellitaire notamment) et de modélisation, seront présentés, ainsi que les travaux en cours visant à améliorer la représentation des nuages, et plus spécifiquement la prévision des conditions givrantes, dans les modèles numériques de Météo-France.

### Altitude - Les cristaux de glace et le givrage

**Olivier Jaron** - DESR/GMAP et **Léo Rogel** - DESR/GMME

La turbulence aéronautique provient de plusieurs sources : ondes de Kelvin-Helmoltz, déferlement d'ondes de gravité, rugosité près du sol, etc.. Si la turbulence en basses couches est bien prévue par les schémas de turbulence des modèles numériques, sa prévision en altitude requiert l'utilisation de diagnostics élaborés pour identifier les différentes sources de turbulence. Une méthode développée au NCAR consiste à calculer différents indices à l'échelle de la maille des modèles (cisaillement, instabilité,..) et d'en faire la meilleure combinaison possible par apprentissage à partir de données d'EDR observées. Il en résulte un diagnostic d'EDR montrant de meilleurs scores que les traditionnels indices de CAT (Dutton, Ellrod). Cet indice est opérationnel dans le modèle global ARPEGE depuis juillet 2019, et va être enrichi par sa prévision probabiliste au travers de son calcul dans le modèle ensembliste PEARP. Un travail de recherche vise également l'amélioration de la représentation de la turbulence en altitude en amont des diagnostics opérationnels.

Ainsi, un cas de turbulence de jet, choisi grâce à des données in-situ EDR est simulé dans le modèle régional AROME et dans le modèle de recherche MesoNH à la résolution opérationnelle (1,3km). A cette résolution, les modèles génèrent tous deux de la turbulence liée à ce jet d'altitude, en accord avec les observations. D'autres simulations avec MesoNH utilisé en mode LES (résolution de 260m) permettent de résoudre des ondes de gravité internes du jet, absentes des simulations à résolution opérationnelle. Ces simulations à haute résolution permettront de diagnostiquer des quantités turbulentes d'intérêt (notamment l'EDR) avec en perspective l'amélioration du schéma de turbulence pour la CAT.

### Le Mode-S : des données aéronautiques pour la météorologie

**Bruno Piguet** - DSO/DOA

Le Mode-S est un protocole de communication entre les radars de surveillance du trafic aérien et les avions. Sous réserve d'une interrogation adéquate, et moyennant un traitement élaboré, les informations de navigation fournies par les avions permettent de calculer le vent et la température, à haute résolution temporelle (4 à 5 secondes). Nous présenterons les caractéristiques techniques de ce système, les différents usages possibles des observations déduites de ces données, et les actions menées à la DSO pour mettre en place un flux opérationnel d'alimentation de ces données et une filière de traitement adaptée.

## **Altitude - Progrès et enjeux pour l'aéronautique de la modélisation du transport des cendres volcaniques - Application au VAAC de Toulouse**

**Philippe Héreil** - DSM/Aéro et **Vincent Guidard** - DESR/GMGEC/PLASMA

Depuis 1990, Météo-France s'est vu confier par l'OACI la mission de centre d'alerte pour les cendres volcaniques, phénomène très impactant pour l'aéronautique. Ainsi le VAAC de Toulouse hébergé au CNP assure une veille H24 des cendres volcaniques sur un vaste domaine de responsabilité couvrant l'Afrique et une partie de l'Europe. En cas d'éruption, les prévisionnistes ont à leur disposition des outils combinant champs météorologiques et dispersion de particules leur permettant de fournir avec une réactivité accrue des prévisions de transport de cendres volcaniques sur les 24 heures à venir. Dans cet exercice, la difficulté majeure réside dans la description correcte du terme source. Les outils disponibles en opérationnel et les travaux de recherche en cours seront passés en revue dans le contexte d'une demande internationale tournée vers la fourniture de produits quantitatifs.

## Prospectives

### Le MetGate, la réponse de Météo France pour couvrir les exigences de digitalisation SWIM de diffusion de l'information du Ciel unique 2

**Florence Besson** - DSI

Présentation des capacités de l'outil pour la fourniture des données météorologiques sous forme de Web Services

### AROME-500m

**Yann Seity** - DESR/GMAP

Météo-France a pris l'engagement de mettre en service opérationnel des versions d'AROME-500m d'ici 2024. Quelles seront les caractéristiques de ces nouvelles instances du modèle AROME et que pouvons nous en attendre pour la prévision aéronautique ? L'exposé fera le point sur l'état des développements en cours et des perspectives concernant AROME-500m (domaines, paramétrisations physiques, noyau dynamique, diagnostics...)

### L'avenir de l'inspection des réseaux électriques : le projet Diridrone

**Benoît Calmet** - RTE et **Julien Galliot** - CNIM

Le réseau de transport d'électricité nécessite d'être inspecté régulièrement pour détecter les anomalies sur les lignes électriques avant qu'elles ne deviennent dommageables et ainsi prévenir les coupures d'électricité.

Cette inspection des 100 000 km de réseau est assurée aujourd'hui par hélicoptère, nous allons découvrir dans quelle mesure les nouvelles technologies vont nous permettre d'accroître la performance des inspections tout en diminuant leur impact carbone.

### Vers une aviation durable

**Laurent Joly** - ISAE

La prégnance des constats et prévisions de changement climatique, la stigmatisation de l'impact dû à l'aviation et la perspective de modification des usages de l'aérien post-pandémie poussent les acteurs du secteur à se mobiliser pour une transition sectorielle vers la durabilité, qui prend notamment la forme d'un objectif de neutralité carbone à horizon 2050. Le caractère systémique de la question posée par la durabilité de l'aviation, et par la conduite du processus de transition, sera illustré par une introduction à la cartographie des acteurs. On posera ensuite les principes d'une recherche académique interdisciplinaire à visée analytique, méthodologique et prospective - objet de l'Institute for Sustainable Aviation - qui aura vocation à fonder des métriques de durabilité pour l'aviation et à sonder la viabilité socio-économique des transitions technologiques en vue (énergie et carburants, opérations, architectures et infrastructures). On illustrera l'ambition scientifique de l'Institute for Sustainable Aviation sur quelques cas d'usage.

### Optimisation des opérations aériennes : nouveaux défis

**Daniel Delahaye** - ENAC

Dans un premier temps, cette présentation abordera les challenges actuels de la gestion des opérations aériennes avec quelques références historiques. Dans un second temps, nous aborderons les nouveaux challenges environnementaux qui vont contraindre le trafic aérien dans un futur assez proche (CO2, NOx, traînées de condensation, bruit, etc...). Enfin, nous présenterons les apports possibles de l'automatisation permettant de concilier les challenges abordés dans les deux premières parties (réduction des coûts, respect de la capacité, environnement, etc...)

## Impact du changement climatique sur l'aviation

**Emilia Sanchez Gomez** - CERFACS

Il a été montré que l'aviation affecte le climat par le forçage radiatif des gaz à effet de serre (GES) et des traînées de condensation. A l'inverse, le changement climatique pourrait avoir des effets importants sur l'aviation, qu'il s'agisse des infrastructures terrestres d'aéroports, des capacités et de la sécurité des flottes actuelles, de la durabilité des aéronefs ou de la définition des programmes futurs. Les impacts du climat et son évolution sur l'aviation peuvent être très nombreux : l'augmentation de température au sol et des vagues de chaleur sur les performances des aéronefs (jusqu'à l'impossibilité de décoller) ; des modifications de la circulation atmosphérique en altitude (position moyenne et fluctuations du courant jet en altitude) et des conditions de cisaillement et de turbulence en air clair impactant le temps de trajet et la consommation de carburant et donc les rejets ; l'évolution de la fréquence des zones de givrage et de turbulence ... Tous ces paramètres climatiques impactent directement le trafic aérien au sol et en altitude, et peuvent avoir des conséquences majeures sur la sécurité, le développement, la gestion opérationnelle et l'économie du transport aérien. Mais il y a d'autres impacts indirects, comme par exemple, la modification des demandes du secteur touristique vers des destinations moins impactées par les vagues de chaleur, ou le mouvement flygskam ("honte de prendre l'avion") qui vise à réduire les déplacements aériens des personnes pour réduire leur bilan carbone. L'évaluation, la compréhension et la quantification des impacts du climat et de son changement sur le transport aérien nécessitent une approche pluridisciplinaire, englobant les chercheurs de différentes disciplines, services météorologiques, industriels et opérateurs de l'économie du transport aérien. C'est un sujet relativement récent. Les premiers résultats sont encore partiels et très, et de nombreuses questions demeurent. Dans cet exposé je réaliserai un bref état de l'art de la recherche actuelle sur la thématique, en particulier des travaux menés au sein du chantier ICCA (Impact du changement climatique sur l'Aviation) en partenariat avec CERFACS, Météo-France, ENAC, ISAE, ONERA et AIRBUS.

## Contrails : Que savons-nous faire ?

**Elvis Renard** - DSM/AERO

Les traînées de condensation résultent de la condensation de vapeur d'eau à haute altitude, par le mélange entre les émissions des réacteurs de l'avion et l'air atmosphérique ambiant.

Ce processus semblable à la formation de buée lors de l'expiration dépend des conditions de l'air ambiant et des caractéristiques de l'aéronef.

Suivant ces différents paramètres, les traînées peuvent ou non se former. Si elle se forment, les conditions ambiantes influent sur leur durée de vie : elles peuvent disparaître au bout de quelques secondes à minutes, ou au contraire se propager en cirrus de durée de vie de quelques heures, s'étalant sur une surface pouvant être de plusieurs ordres de grandeur supérieure à la surface de la traînée initialement formée.

Les besoins en terme de prévision vont désormais au-delà de l'aspect de détectabilité (domaine militaire). Des études ayant montré que les contrails constituaient une composante non nulle de l'impact de l'aviation sur le changement climatique, les acteurs de l'aéronautique cherchent à la réduire par l'évitement des zones favorables à la persistance de ces traînées.

Météo-France dispose en opérationnel d'un diagnostic de prévision des zones favorables à la formation des traînées de condensation, basé sur l'évaluation de l'état de l'atmosphère (température, humidité) suivant le critère de Schmidt-Appleman.

Une évolution en cours d'investigation consiste à ajouter une information de persistance. Des travaux de recherche sont en projet pour traiter de la sursaturation par rapport à la glace, critère nécessaire à la discrimination des zones favorables à la persistance des contrails.

Cet aspect persistance impliquera de mener des études et des évaluations, afin d'en appréhender la fiabilité et les limites. En effet, des prévisions erronées menant à des évitements de zones de contrails pourraient se traduire par une double peine en terme d'impact radiatif avec d'une part une augmentation systématique de la consommation en carburant, et d'autre part, d'éventuelles formations de traînée à un endroit non prévu.