

SOMMAIRE**P.2 EDITO**

Par Gilles MARCOIN

P.3 EN DIRECT DE 3AF

- OPTRO 2014
- SIGMA 2

P.9 DOSSIER

- CLEAN SKY

P.10 TECHNOLOGIES

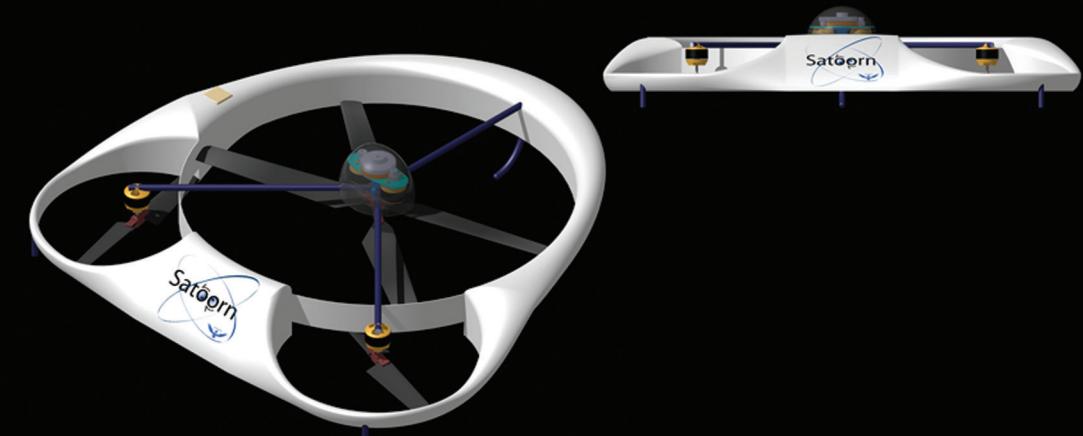
- L'aérodynamique des micro-drones : défis techniques et problèmes scientifiques - Partie 2
- Une revue du processus de certification des avions en conditions givrantes

P.20 AGENDA**DOSSIER : Clean Sky**

AFIN DE SE DOTER DES MOYENS DE SES AMBITIONS ENVIRONNEMENTALES, L'UNION EUROPÉENNE ET L'INDUSTRIE DÉCIDÈRENT DE LANCER, DÉBUT 2008, LE PROGRAMME CLEAN SKY.

**TECHNOLOGIES**

L'AÉRODYNAMIQUE DES MICRO-DRONES : DÉFIS TECHNIQUES ET PROBLÈMES SCIENTIFIQUES - PARTIE 2



PAR GILLES MARCOIN



Chères lectrices, chers lecteurs,

La plupart des grands colloques 3AF de 2014 se sont concentrés au premier semestre. Nous avons ainsi organisé la sixième édition du colloque international sur l'optronique de Défense et de Sécurité, à Paris du 26 au 28 janvier, le colloque ERTS (Embedded Real Time Software and Systems) organisé par le Groupe Régional Midi-Pyrénées en partenariat avec la SEE et qui s'est déroulé à Toulouse du 2 au 5 février, le colloque AERO2014 et le colloque « Greener Aviation » dont nous avons parlé dans les lettres précédentes. Le colloque « Space Propulsion » 2014 s'est déroulé à Cologne du 19 au 22 mai et la 10ième conférence internationale sur la Défense antimissile, MD 2014, a eu lieu à Mayence (Allemagne) du 17 au 20 juin.

Sous la Présidence d'honneur de M. Jean-Yves Le Gall, Président du CNES, la sixième édition du colloque international 3AF OPTRO a rassemblé plus de 280 spécialistes des laboratoires, de l'industrie, des universités et des représentants de 16 pays différents. OPTRO 2014 a été un très grand succès. Il a présenté des avancées récentes et des perspectives à court terme en Optronique ainsi que des perspectives à plus long terme impliquant des technologies émergentes. Il faut voir loin : le chantier d'OPTRO 2016 vient de démarrer et nous vous proposons de réserver dès à présent le début du mois de Février 2016. Vous trouverez dans cette Lettre, à la rubrique « en direct de la 3AF » un compte-rendu du colloque 3AF OPTRO 2014. La Commission Technique SIGMA, dédiée à l'étude de PAN (Phénomènes Aériens Non identifiés) a, comme vous le savez, évolué avec un nouveau mandat. Il s'agit maintenant de SIGMA2 qui est à même maintenant de préciser son rôle exact et de se positionner vis-à-vis des organisations existantes dont le GEIPAN. Équipe pluridisciplinaire, elle vient d'élaborer un plan de travail et d'action très intéressant. Tout ceci est développé dans l'article « SIGMA2 : un mandat, une structure, un plan de travail et d'action ».

Le colloque « Greener Aviation » en partenariat avec la Joint Technology Initiative « CLEANSKY » a eu lieu du 12 au 14 mars 2014 à Bruxelles. Ce fut un très grand

succès, par le nombre de participants, et par le nombre et la qualité des intervenants. Un dossier concernant CLEANSKY vous est présenté ici par M. Eric Dautriat, Directeur Exécutif de CLEANSKY. L'intérêt et le succès de « Greener Aviation 2014 » donne envie de recommencer bientôt. Une prochaine édition, d'ici deux ans, verrait alors se côtoyer des vidéos des démonstrations en vol des projets, telle l'aile laminaire sur un banc volant A340, et au moins, pour commencer, de plus modestes Powerpoint sur un concept de propulsion hybride ou l'avant-projet d'un tilt-rotor de 25 places.

Nous vous proposons un article de fond sur le processus de certification des avions en conditions givrantes par M. François Caminade de DASSAULT AVIATION. Afin de se conformer aux spécifications de certification pour le vol dans des conditions givrantes et aussi parce que le givrage est toujours un phénomène dangereux pour l'aéronautique, les constructeurs d'avion doivent démontrer la capacité de leurs appareils à voler et opérer en toute sécurité dans cet environnement. Pour ce faire, une combinaison de moyens faisant intervenir des essais et des analyses accompagnés de calculs, plus le savoir faire, est utilisée dans la démonstration jusqu'à la délivrance du certificat de type. Cet article présente une revue des méthodes, outils et essais mis en œuvre chez Dassault Aviation pour obtenir cette certification ainsi que les problèmes techniques majeurs rencontrés. Enfin vous trouverez d'autres informations dans cette Lettre, notamment l'annonce des prochains évènements importants : AERODOUR (Pau), SPACEUP (Toulouse), IES 2014 (Troyes), Mécatronique, Job d'avenir (Bezons), Présent et futur des Drones Civils (Paris) et la 2^e édition des Etoiles de 3AF.

En particulier, venez nombreux au salon AERODOUR, organisé par le Groupe Régional « Pays de l'Adour », du vendredi 19 septembre au Dimanche 21 septembre 2014 sur l'aéroport de Pau Pyrénées.

Il ne me reste plus qu'à vous souhaiter bonne lecture.

GILLES MARCOIN
Secrétaire Général 3AF

Éditeur

Association Aéronautique et
Astronautique de France - 3AF
6, rue Galilée, 75116 Paris
Tél. : 01 56 64 12 30
Fax : 01 56 64 12 31

Directeur de la Publication
Michel Scheller

Rédacteur en chef
Gilles Marcoin

Comité de rédaction
Pierre-Guy Amand, Bruno
Chanetz, Pierre Bescond, Jean
Déléry, Pierre Froment, Paul
Kuentzman, Jacques Sauvaget,
Jean Tensi, Anne Venables et
Sophie Videment.

Rédaction
Tél. : 01 56 64 12 30
sophie.videment@aaaf.asso.fr

Conception
Ici la Lune

Impression
Impression Design
Dépôt légal : 3ème trimestre
2014

ISSN 1767-0675
Droit de reproduction, textes
et illustrations réservés pour
tous pays.

EN DIRECT DE 3AF

OPTRO 2014



OPTRO, le Symposium International de l'Optronique dans les domaines de la Défense et de la Sécurité, s'est tenu du 28 au 30 Janvier dernier à Paris, sous l'égide de la 3AF (Association Aéronautique et Astronautique de France) et avec le parrainage de la SFO (Société Française d'Optique).

Pour sa 6ème édition, OPTRO 2014, sous la présidence d'honneur de Monsieur Jean-Yves Le Gall (promo 1981), Président du CNES, a rassemblé 284 spécialistes des laboratoires, de l'industrie, des universités et des représentants des états de 16 pays différents.

A l'ouverture de la session plénière, orateurs et auditeurs ont été accueillis par Monsieur Michel Scheller, Président de la 3AF, qui a réaffirmé son ambition pour l'Optronique, haute technologie associée à l'Aéronautique et à l'Astronautique.

Monsieur Jacques Lonnoy (promo 1973), co-chair d'OPTRO 2014, qui lui a succédé, a invité les participants à profiter pleinement de la tribune qui leur était offerte pendant ces trois journées pour échanger sur leurs travaux.

Monsieur Jean Dalibard, Membre de l'Académie des Sciences, a ensuite présenté une communication scientifique sur les atomes froids et les perspectives offertes pour de nouveaux sensseurs et calculateurs.

Lors de cette première journée, des représentants de premier plan des instances européennes et nationales ainsi que des organismes de recherche internationaux se sont succédé à la tribune : ESA (European Space Agency), EDA (European Defence Agency), Commission Européenne, DGA (Direction Générale de l'Armement), ANR (Agence Nationale pour la Recherche), CSOSG (Concepts, Systèmes et Outils pour la Sécurité Globale), SGDSN (Secrétariat Général pour la Défense et la Sécurité Nationale), CNES, DSTL (Defence Science Technology Laboratory), Fraunhofer IOSB et NVESD

(Night Vision and Electronic Sensors Directorate) de l'US Army.

Les orateurs ont présenté les programmes et la stratégie liés à la recherche, au développement ainsi qu'à l'industrialisation dans le domaine de l'optronique. Au niveau européen, le programme pluriannuel Horizon 2020 pour la recherche et l'innovation européenne a été lancé cette année. Le Partenariat Public Privé sur la Photonique (Photonics PPP), basé sur les travaux de Photonics 21, est doté de 700 M€, piloté par l'industrie et s'appuie sur un calendrier d'innovation pluriannuel. Les programmes de recherche et d'innovation européens purement de Défense sont eux pilotés par l'Agence Européenne de Défense alors que les développements de technologies duals sont aujourd'hui du ressort conjoint de la Commission Européenne et de l'EDA.



J. Dalibard (au pupitre), E. Armandillo, J. Lonnoy, M. Scheller, V. Rinaldi, R. Burgess, X. Dramard

Au niveau national, les orateurs ont rappelé l'importance de l'optronique dans les actions de recherche et d'innovation lancées au titre de la Défense et de la Sécurité ainsi que dans les programmes liés à l'Espace et à l'Observation de la Terre.

Au niveau national toujours, 3AF a mené récemment, avec l'ensemble des acteurs du domaine, un exercice d'analyse de la place de l'Optronique française. Il en ressort que l'Optronique nationale doit prendre toutes les mesures appropriées pour assurer un rôle de premier plan dans le futur. Les orateurs ont également présenté les axes d'efforts, de développement et d'innovation en Optronique, pour les applications militaires telles que la détermination de la menace et la protection.

L'un des points forts de la journée a été la table ronde organisée sur le thème de 'L'Optronique, clé de l'intelligence partagée'. Animée par Monsieur Jean-François Coutris (promo 1968), elle a réuni Monsieur Charles de Lauzun du

EN DIRECT DE 3AF

CNES, le Colonel Fabrice Grandclaudon de l'EMAA et Monsieur Laurent Glasgall de la DGA. Chacun des invités a fait part de son retour d'expérience de l'utilisation de l'Optronique dans le cadre militaire, notamment sur les théâtres d'opération récents. Ce retour des opérationnels vers l'industrie et la recherche s'avère être plus que jamais une composante indissociable des choix d'orientation à venir.



J.Y. Le Gall et M. Scheller

A l'issue de cette première journée, le dîner de gala qui avait lieu à la Tour Eiffel a permis à ceux qui le souhaitaient de poursuivre ces échanges fructueux.



Table Ronde : Col. F. Grandclaudon, J.F. Coutris, C. de Lauzun et L. Glasgall

Les jours suivants, trois sessions étaient organisées en parallèle autour des thèmes de l'imagerie, de l'espace, des lasers, des senseurs et des composants, des technologies émergentes, de la simulation et du traitement de l'image et du signal. Les présentations ont parfaitement illustré la grande richesse des derniers développements scientifiques et techniques ainsi que les

niveaux de maturité actuels dans les différents domaines.

Chacun a ainsi pu présenter ses travaux aux autres spécialistes de son domaine et des domaines connexes. Dans le même temps, OPTRO 2014 accueillait, dans le centre de conférences, une exposition d'une trentaine de stands qui a offert aux différents acteurs du domaine, participants et exposants des entreprises de l'Optronique, une occasion d'échanger sur leur savoir-faire technique et leurs produits.

A l'issue de la deuxième journée du Symposium, un cocktail a réuni les participants. A cette occasion, le Docteur Albert Fenner Milton, du Night Vision and electronic Sensors Directorate (US Army), s'est vu remettre le prix OPTRO 2014.



Dr A. F. Milton Prix OPTRO 2014

Cette distinction honore l'ensemble de ses travaux et sa contribution majeure au développement de l'Optronique. Lors de cette soirée, le prix du meilleur papier de thèse a été remis à Monsieur Christopher Dickson, de l'université Heriot Watt (Royaume-Uni), pour son papier sur les signatures polarimétriques pour la détection de véhicules dans l'infrarouge.

Le dernier jour, l'association EPIC (European Photonics Industry Consortium), partenaire d'OPTRO 2014, a organisé un face-à-face entre fabricants de composants et de

systèmes et intégrateurs de l'industrie sur le thème des technologies laser pour les applications de Défense et de Sécurité. Les participants ont eu l'opportunité d'échanger sur la base de technologies innovantes et prêtées à l'intégration dans un système afin d'accélérer la présence sur le marché de technologies clés compétitives. D'autres nouveautés ont enrichies l'édition 2014 du Symposium.

Ainsi la veille de l'ouverture, les participants ont eu à choisir entre la visite du Synchrotron SOLEIL, le centre de recherche du 'Plateau de Saclay' qui produit et utilise l'émission de lumière synchrotron pour explorer la matière et des cours dans le domaine de l'Optronique. Les cours ayant pour thèmes 'Tests et évaluation d'équipements', 'Conception de systèmes infrarouges' et 'Imagerie infrarouge' ont été dispensés respectivement, par Professeur Krzysztof Chrzanowski, Professeur Jean-Louis Meyzonnelle (promo 1968) et Monsieur Olivier Gravrand.

OPTRO 2014 a présenté des avancées récentes et des perspectives, dans les domaines de la Défense et de la Sécurité, à court terme en Optronique ainsi que des perspectives à plus long terme impliquant des technologies émergentes.

Nous espérons vous rencontrer nombreux lors de la prochaine édition, OPTRO 2016, dont le chantier vient de démarrer et vous proposons de réserver dès à présent le début du mois de Février 2016.

PATRICIA CYMBALISTA
co chair d'OPTRO 2014

EN DIRECT DE 3AF

SIGMA2: UN MANDAT, UNE STRUCTURE, UN PLAN DE TRAVAIL ET D'ACTION

SIGMA2 est la continuation de SIGMA mais avec un nouveau mandat et de nouveaux objectifs, fixés en avril 2013. Après 5 réunions en 2013, puis 4 en 2014, il est temps de tracer l'épure du plan de travail qui en résulte et de faire le point sur les actions concrètes entreprises depuis. Façonné collectivement, ce plan fixe les objectifs, établit la démarche à suivre sur la période 2014-2016 et positionne SIGMA2 vis-à-vis des organisations existantes, dont le GEIPAN.

QUEL EST LE RÔLE DE SIGMA2

SIGMA 2, qui se veut plus technique et scientifique que SIGMA, se référera à des témoignages et des observations assortis de données physiques, issues de base de données , à des analyses physiques, y compris à de nouvelles théories, en privilégiant les observations des PANs susceptibles d'être exploitables scientifiquement . Tel est l'objectif fixé tout en continuant les recherches documentaires, tant pour identifier les bases de données et les références documentaires pertinentes que pour mieux comprendre l'environnement international de ce sujet complexe, tout en ombres et lumières. Il est en effet nécessaire de bien comprendre les acteurs de ce sujet, en France et à l'étranger, pour identifier les cas d'études assortis de données dignes d'intérêt, tant sont nombreuses les observations citées mais rares les références assorties de mesures physiques. Rare ne veut pas dire inexistant, au contraire : quelques cas précis seront cités, notamment français (cas de l'Airbus d'Air France de janvier 1994) issus des échanges entrepris avec le GEIPAN depuis septembre 2013.

Mais avant d'évoquer ce plan de travail, il faut clarifier le rôle de la Commission

SIGMA2 vis-à-vis de son environnement (voir visuel N°1).



Visuel 1

Dans le paysage complexe des organisations qui étudient les PANs, SIGMA2 se situe d'abord en France, dans le prolongement des travaux du GEIPAN, service du CNES en charge des enquêtes officielles et de l'information sur les cas de PANs, qui font suite aux témoignages apportés soit directement à la gendarmerie, soit au GEIPAN. Le GEIPAN dispose d'un site officiel, accessible à tous pour apporter des témoignages mais aussi pour prendre connaissance des informations résultant des enquêtes menées.

La mission de SIGMA2 n'est donc pas de mener des enquêtes de terrain parallèles ni de se substituer aux témoins, mais au mieux de leur conseiller de faire connaître un cas intéressant, en témoignant auprès du GEIPAN ou de la gendarmerie, qui ont seuls les compétences et les moyens pour diligenter les enquêtes. SIGMA2 se situe donc en aval du processus précité, pour se concentrer sur les cas les plus « étranges » non élucidés classés « type D » selon la dénomination du GEIPAN (cf § relatif aux contacts).

Ces cas nécessitent une analyse technique et scientifique plus approfondie des phénomènes physiques constatés ou bien encore pour faire des préconisations afin d'améliorer l'observabilité (optique, radar, magnétique,...) des PANs.

SIGMA2 doit aussi construire un réseau technique et scientifique en France et à l'étranger, pour la collecte des observables et l'analyse des causes

possibles, ce qui n'entre pas dans les missions du GEIPAN. Enfin la Commission peut aussi rechercher à l'étranger de nouveaux cas, à la fois dans les bases de données (comme celles du CEFAA chilien) ou dans des publications référencées. Dans cette démarche, SIGMA2 envisage aussi d'accompagner le GEIPAN en amont de ses enquêtes pour favoriser l'émergence de cas nouveaux en France, basés systématiquement sur des enregistrements de données physiques. Nous réfléchissons notamment à la mise en œuvre de réseaux d'observations amateurs existants, permettant ainsi d'améliorer la réactivité de la boucle d'observation et de recueil de cas au profit du GEIPAN.

LE PLAN DE TRAVAIL

Le plan de travail de SIGMA2 est donc construit autour de plusieurs tâches en interactions, mises en œuvre par des groupes de travail au sein de la Commission SIGMA2. Le plan de travail est construit sur une période de 3ans (voir visuel N°2).



Visuel 2

SIGMA2, c'est aussi une équipe pluridisciplinaire animée d'un esprit de curiosité scientifique et technique sans a priori, portée par des femmes et des hommes de 3AF, qui rejoignent la Commission afin de la compléter de leurs talents : anciens des services officiels, ingénieurs, spécialistes de l'aéronautique et de l'espace, pilotes, experts de la défense aérienne et de

EN DIRECT DE 3AF

missiles, d'électromagnétisme et d'imagerie optique, d'astrophysique mais aussi de recherche documentaire et de base de données... Tous constatent l'étrangeté et le mystère de certains cas et sont prêts à mener des études pour les élucider, tout en laissant le soin aux organismes dont c'est la charge, d'éliminer en amont les cas explicables par des enquêtes classiques. En cela, notre démarche s'apparente davantage, toutes proportions gardées, à celle du panel de Pocantico réuni par Peter Sturrock en 1998 et dont l'un des membres de SIGMA2 faisait partie.

AU DELA DES MOTS, DE L'ACTION

RECHERCHE DOCUMENTAIRE ET BASE DE DONNEES

Il s'agit, en fonction des documents disponibles, de sélectionner ceux qui proposent une analyse à caractère scientifique de faits avérés, sans propension à une interprétation spéculative de leur origine (par exemple les livres de P.A. Sturrock et de P. Hill, les publications d'A. Meessen, les rapports britanniques et COBEPS,...). Un deuxième volet documentaire portera sur la compréhension de l'environnement international des PANs ; il visera à clarifier l'environnement historique et contemporain afin de nouer des contacts susceptibles d'identifier de nouvelles données ou études comme par exemple les travaux britanniques et russes sur les PANs.

Un bref aperçu de la démarche entreprise sur la base de données vous est donné ci-après, dans l'attente d'un article à paraître dans le revue 3AF et d'une intervention dans le cadre du séminaire CAIPAN organisé par le CNES/ GEIPAN auquel certains spécialistes de SIGMA2 contribuent.

BASE DE DONNÉES OPÉRATIONNELLE POUR LES PHÉNOMÈNES PAN

La qualité des recherches menées sur les phénomènes PAN dépend directement d'un travail préalable de classement des documents quelle que soit leur nature. Ils se présentent en effet sous des formes très diverses, d'origine écrite ou orale, sous forme d'enregistrements de données physiques ou autres.

Cette grande variété pose plusieurs questions : pour chacune des catégories de données considérées, il est important de mesurer le niveau de qualité donc de fiabilité du document. Ainsi un document dont l'origine est avérée (et correspond de fait avec celle dont il se réclame) trouvera dans l'analyse une place plus élevée qu'un document à l'origine plus incertaine. Cette vérification impose donc une garantie de traçabilité et d'intégrité du document tout au long du processus d'analyse, et ce depuis la collecte de l'information brute (témoignage, signal physique, document officiel attesté).

Cette procédure implique la mise en place d'une base de données opérationnelle pour les phénomènes PAN dont la structure doit prendre en compte l'ensemble des caractéristiques mesurables des documents à traiter. Cette base de données permettra à la fois de mesurer la qualité des documents étudiés, d'analyser de la pertinence des informations transmises et donc de construire un ensemble cohérent. Dans le cadre du soutien aux travaux menés par le groupe SIGMA 2 de la 3AF, l'objectif est de produire des critères de jugements opérationnels suffisamment affinés qui pourront à la fois à établir les principes d'une réflexion rigoureuse et garder l'ouverture et la flexibilité nécessaire à l'analyse des phénomènes PAN.

CONTACT – ENVIRONNEMENT- COMMUNICATION

SIGMA2 a créé un Groupe de Contact dont la mission principale est d'établir

les liens indispensables avec les organisations susceptibles de lui fournir des cas d'études intéressant. Au premier chef, en ce qui concerne la France, les contacts ont été pris dès septembre 2013 avec le CNES/GEIPAN, afin d'évoquer les cas les plus intéressants, dont certains ont été établis en liaison avec l'Armée de l'air, le CNOA (Centre National des Opérations Aériennes) étant en charge de la relation avec le CNES sur ce sujet.

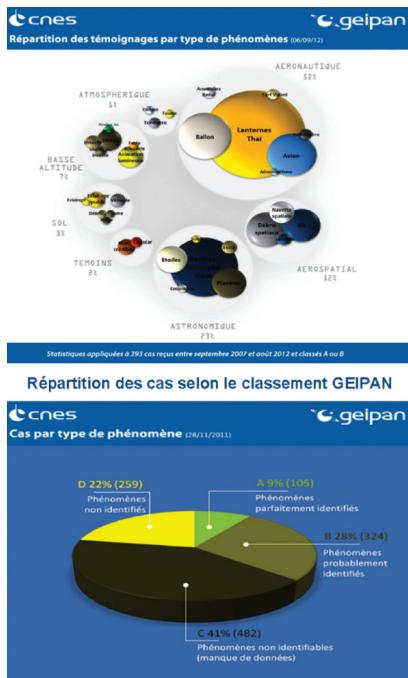
En effet, le GEIPAN dispose d'une base de données de cas, répertoriés et classés (voir visuel 3 ci-dessous) suivant leur niveau d'étrangeté mais aussi suivant la fiabilité des témoignages. Sur plus de 6000 témoignages (2200 cas) étudiés depuis 30 ans par le GEIPAN, environ 22% d'entre eux restent sans explication avec un cas d'étrangeté marqué (classe D). Nous nous intéresserons à ces cas.

Par ailleurs, SIGMA2 a signé un accord de coopération avec le CEFAA Chilien (similaire au GEIPAN et dépendant de la DGAC Chilienne) en octobre 2013. Cet accord, initialisé par la Commission Sigma précédente, devrait permettre l'étude en commun de cas également étranges. D'autres contacts ont été noués par exemple avec la SOBEPS belge, organisation en charge des études des cas belges dont la fameuse « vague belge » des années 90. Cette démarche doit se poursuivre avec d'autres organismes, notamment français comme l'Armée de l'Air ou la DGAC, en concertation avec le GEIPAN. Nous prévoyons également d'autres contacts par exemple avec les réseaux d'astronomes et d'observation de météores...

CAS D'ETUDES

SIGMA2 focalise donc ses ressources sur les cas non expliqués de type D, s'ils sont renseignés par des mesures physiques.

EN DIRECT DE 3AF



Visuel 3

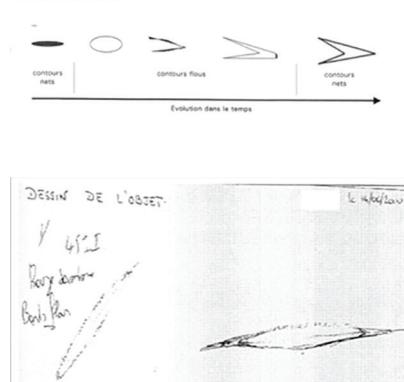
Parmi les 232 cas inventoriés dans la base du GEIPAN/ classe D, nous n'en avons retenu que quelques-uns, parmi lesquels celui du vol AF 3532 du 28 janvier 1994 (<http://www.cnes-geipan.fr/index.php?id=202&cas=1994-01-01345>).

Ce cas est emblématique car il comporte à la fois le déroulement d'une observation d'un PAN par les pilotes d'un Airbus et l'enregistrement simultané d'une trace radar par l'Armée de l'Air. Cependant, l'enquête sérieuse menée par le GEIPAN n'a pu aboutir à une explication du phénomène, car même 20 ans après, le cas demeure une énigme. Le Commandant de Bord Duboc a d'ailleurs été longuement entendu par les enquêteurs du GEIPAN. Son témoignage est tout à fait remarquable par la précision de ses observations, complétées d'ailleurs par celles du copilote.

La Commission SIGMA2 a d'ailleurs eu un entretien détaillé avec le Commandant de bord Duboc en mai 2014, pour compléter sa compréhension du rapport du GEIPAN, tant sur

le phénomène lui-même que sur le déroulement des opérations.

Ci-dessous (visuel 4), un échantillon des informations extraites du rapport d'enquête du GEIPAN issu des témoignages et du rapport de l'armée de l'air vers le GEIPAN.



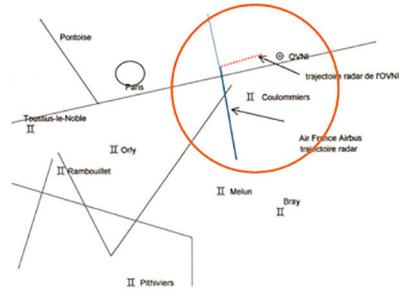
Visuel 4

« Le 28 janvier 1994 à 13h14, l'équipage d'un Airbus A320-11 d'Air France assurant la liaison Nice-Londres observe un phénomène qu'il ne s'explique pas. Survolant la région de Coulommiers en Seine-et-Marne, le chef steward alors présent dans le poste de pilotage, signale au commandant de bord un phénomène sur la gauche de l'appareil qui lui fait penser à un ballon météorologique.

Le commandant de bord (dessin de droite) et la co-pilote (dessin de gauche) décrivent pour leur part l'observation d'un disque brun ou rouge sombre changeant de forme avant de disparaître subitement.

Le commandant rend compte au contrôle aérien de Reims qui lui précise qu'il n'a aucun trafic aérien dans le secteur. Au même moment une piste radar non identifiée est enregistrée par le radar de Cinq-Mars-la-Pile. Cette trace, enregistrée pendant 50 secondes croise bien la trajectoire du vol AF3532 mais ne correspond à aucun plan de vol déposé et disparaît simultanément à la vue de l'équipage et des écrans radar. »

Ci-dessous (visuel 5), l'observation du PAN, en secteur gauche de l'avion, suivant la restitution de l'observation visuelle du Commandant de Bord et du copilote, et en secteur droit si l'on en croit la reconstitution faite par le GEIPAN avec le rapport du Centre des Opérations aériennes de l'Armée de l'Air : la chronologie de la piste radar est parfaitement synchrone de l'observation visuelle..



Visuel 5

En dehors de la base de données du GEIPAN, SIGMA2 s'intéresse aussi à d'autres cas extérieurs à l'hexagone, dont celui d'Aurigny. Il s'agit d'une observation de deux PANs entre Jersey et Guernesey en avril 2007, réalisée par plusieurs équipages d'avions de transport régional, dont le Capitaine Bowyer et le contrôle ATC local (cf extraits du rapport « Report on Aerial Phenomena Observed near the Channel Islands », UK, April 23 2007,). Nous verrons par la suite comment approfondir de tels cas si cela est possible.

ELEMENTS PHYSIQUES

L'objectif est de mener, d'une part, l'identification des observables recensés dans les différentes bases de données (signature radar, optique, rayonnements divers, comportement aérodynamique, influence éventuelle sur le champ de gravitation ou magnétique), d'autre part de travailler sur les hypothèses physiques pouvant rendre compte des comportements étranges observés (propulsion,

EN DIRECT DE 3AF

mécanique du vol sans effet aérodynamique, effets de plasmas ou de flou,...).

Le recensement des phénomènes et de leurs physiques doit permettre d'envisager une logique expérimentale, soit en liaison avec des laboratoires spécialisés, soit parallèlement du point de vue du recueil des informations à l'échelle 1 (observabilité des PANs).

En particulier certaines pistes d'intérêt telles que le contrôle de gravitation nous semblent devoir être suivies dans le cas de certaines observations. Par exemple dans le cas "Mansfield Ohio" cité au chap. 29 du livre THE UFO ENIGMA de Peter Sturrock où est évoqué le cas d'un hélicoptère de la réserve de l'US Army, qui, lors de la rencontre avec un PAN, a vu son mouvement en descente rapide, inversé en mouvement ascendant.

LE CONTRÔLE LOCAL DE LA GRAVITATION : MYTHE OU PERSPECTIVE?

L'approche scientifique du phénomène OVNI suppose un examen sans concessions d'observables significatives, autant que possible quantifiables et vérifiables. Certaines d'entre eux, notamment cinématiques et dynamiques, semblent en contradiction radicale avec les lois connues, ce qui les rend inexplicables.

On proposera une interprétation basée sur une généralisation de l'électromagnétisme de Maxwell qui pourrait permettre de modifier localement la gravitation et rendre compte ainsi de ces observations inédites. Par ailleurs, elle peut également expliquer une partie des effets secondaires observés. Cela étant, cette théorie n'est, pour l'instant, aucunement validée tant il apparaît très difficile de créer les conditions permettant de l'expérimenter. Mais il arrive que la théorie précède l'expérience ou bien, plus prosaïquement, qu'elle soulève un coin du tapis...

OBSERVABILITÉ

Objectif: identifier les moyens disponibles pour réaliser un recueil de données physiques. Favoriser l'émergence de cas. Faire des recommandations sur la démarche de la boucle d'observation :

Sur d'éventuels moyens d'observation complémentaires de ceux existants dont :

- la surveillance aérienne militaire avec les radars de défense aérienne (visuels 6 et 7), civile (visuel 8 représentant une image de radar primaire ATC (Guernesey, Rapport UAP Channel Island, April 2007) ou les radars passifs (visuel 9).



Visuel 6



Visuel 7



Visuel 8



Visuel 9

- la surveillance de l'espace : radars US (voir visuel 10), radar bistatique Gravès français (Emetteur, visuel 11 et récepteur, visuel 12), radars russes VHF d'alerte et de surveillance (visuel 13) et de surveillance par imagerie interférométrique (visuel 14).



Visuel 10

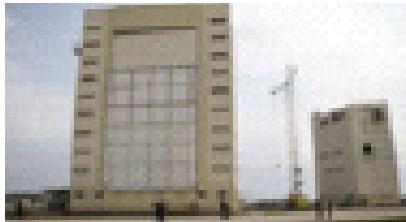


Visuel 11



Visuel 12

EN DIRECT DE 3AF



Visuel 13

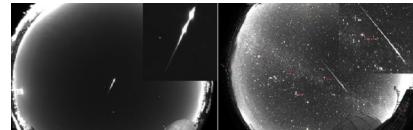


Visuel 14

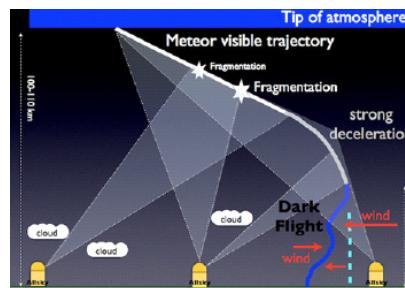
Sur des réseaux d'observation scientifiques d'observation de météores comme le réseau FRIPON :

- Observation de météores dans la tranche 30-100 km d'altitude par un réseau de caméras « Fish Eye » (visuel 15) et un réseau de récepteurs HF multistatique utilisant les émissions VHF d'opportunité du radar Graves (visuel 16).
- Une centaine de caméras « Fish Eye » (visuel 17) permettent de capter la trainée lumineuse ionisée du météore (visuel 18) pour restituer la trajectoire grâce à une couverture de l'hexagone (visuel 19).

- Les récepteurs HF permettent de faire des mesures doppler (visuel 20) de l'onde radar rétrodiffusée par le sillage ionisé du météore et de restituer la vitesse avec précision.



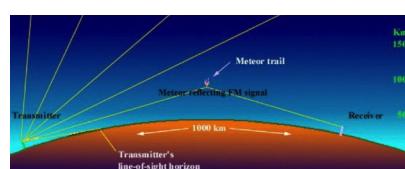
Visuel 18



Visuel 15



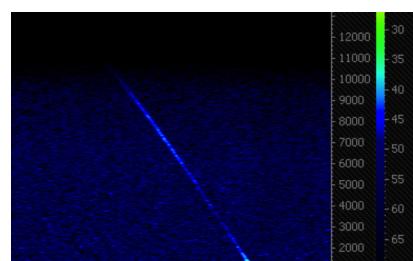
Visuel 19



Visuel 16



Visuel 17



Visuel 20

LUC DINI

Président de la Commission SIGMA

DOSSIER

CLEAN SKY

L'Europe, forte de l'industrie aéronautique que nous connaissons et d'un relatif volontarisme environnemental, s'est assigné des objectifs ambitieux en matière d'émissions de CO₂ et de bruit des aéronefs, à travers le Conseil consultatif européen de la Recherche aéronautique (ACARE), structure

qui rassemble depuis plus de dix ans autorités publiques, industriels, compagnies aériennes, aéroports et organismes de recherche.

Celui-ci a fixé à 50% de réduction des émissions de CO₂, et autant pour le bruit, l'objectif à atteindre par des technologies matures à l'échéance 2020, par rapport à celles de l'an 2000.



En outre, dès 2012, un nouvel agenda stratégique a établi des objectifs encore bien plus bas pour 2050.

Afin de se doter des moyens de ses ambitions, l'Union Européenne et l'industrie décidèrent de lancer, début 2008, le programme Clean Sky. Mené en partenariat public-privé, ce programme est doté d'un financement total de 1,6 milliard d'euros, assuré à 50% par l'Union européenne et à 50% par l'industrie. Conduit par une « Entreprise commune » (« Joint Undertaking » ou JU) dédiée et autonome, il réunit les grands donneurs d'ordre européens, avionneurs, motoristes et équipementiers, qui en partagent la gouvernance avec la Commission européenne. C'est un programme global, construit sur la base de six plateformes technologiques interfacées les unes avec les autres : avions commerciaux, avions régionaux, hélicoptères, moteurs, systèmes et éco-conception. L'industrie identifie les contenus techniques, avec un accent mis sur la réalisation de grands démonstrateurs, fédérateurs de technologies.

Autour de ces donneurs d'ordre, ce sont plus de 600 participants (PME, Centres de Recherches et Universités) qui se sont joints au programme à travers 24 pays européens. La France en est le premier participant, notamment à travers ses grands leaders industriels.

Aujourd'hui, Clean Sky 1 est à peu près aux trois quarts de son parcours. L'essentiel des démonstrateurs arrive au banc ou en vol en 2015 : il reste donc beaucoup de travail mais, ce modèle de coopération donnant satisfaction, une suite vient d'être lancée : « Clean Sky 2 », qui fait plus que doubler la mise. Dans le cadre du nouveau programme-cadre « Horizon 2020 », c'est un budget total de près de 4 milliards d'euros qui va prolonger l'effort jusqu'en 2024, faisant désormais de Clean Sky le coordinateur de près de 85%, en valeur, de la recherche aéronautique de l'UE.

Dans ce contexte, la JU Clean Sky ne pouvait qu'accueillir avec enthousiasme la proposition de la 3AF d'organiser une conférence technique à Bruxelles sur l'aviation et l'environnement. C'est ainsi que « Greener Aviation 2014 : Clean Sky breakthroughs and worldwide status » a pris place du 12 au 14 mars à Bruxelles.

129 papiers retenus, en provenance de 17 pays, pour 242 « abstracts » proposés ; près de 300 participants, plusieurs tables rondes en session plénière, des sessions parallèles thématiques abordant tous les aspects de la R&T aéronautique: sans nul doute, cette conférence remarquablement préparée a été un véritable succès.

Architectures, structures, matériaux, aérodynamique, propulsion, avionique, énergie de bord, toutes ces disciplines, aussi bien dans Clean Sky que dans d'autres programmes, en Europe et hors d'Europe, sont mises à contribution dès l'instant qu'on parle de réduction de la consommation de carburant (et donc des émissions de CO₂) ou du bruit. Une approche inter-disciplinaire s'impose, surtout au stade de l'intégration dans des démonstrateurs en grandeur réelle et en situation représentative. Une telle conférence renforce indiscutablement l'information réciproque – c'est son but premier – et donne, sans nul doute, envie d'aller plus loin. On notera au passage que l'énergie de bord (l'avion plus électrique) a recueilli la meilleure audience.

Le prix du pétrole et le réchauffement climatique conduisent souvent, à juste titre, à mettre la consommation de carburant sous les feux de la rampe. Afin de compléter les présentations en sessions parallèles qui ciblaient les technologies proprement aéronautiques, une table ronde en session plénière portait sur les carburants alternatifs, considérés comme un complément indispensable pour atteindre les objectifs à long terme, et qui suscitent un intérêt marqué de

la part du monde du transport aérien, pour des raisons, du reste, certainement plus économiques à moyen terme qu'écologiques à long terme. Le débat a montré que la route était encore longue.

Mais il est tout à fait remarquable que les aspects acoustiques aient également constitué, de fait, l'un des points forts de ces trois journées, certainement plus qu'attendu initialement ; aussi bien en ce qui concerne les techniques de modélisation et de prévision, que les technologies de réduction du bruit. Les organisateurs avaient décidé de décerner un prix « Greener Aviation 2014 » au meilleur papier présenté ; ce prix est allé au CIRA, le centre de recherches italien, et à ses co-auteurs, pour une présentation intitulée 'Airframe noise reduction technologies applied to high-lift devices of future Green Regional Aircraft'.

Il faut aussi citer OpenAir, projet européen portant sur une réduction du bruit de 2,5 dB en agissant à la fois au niveau du moteur et de la cellule, qui a fait l'objet de présentations variées et disposait d'un stand apprécié pendant les pauses. OpenAir ne fait pas partie de Clean Sky, mais une suite pourrait être envisagée dans Clean Sky 2 : à suivre...



Open Rotor

L'Open Rotor, qu'on ne présente plus, est capable, si tout va bien, de réduire les émissions de CO₂ de l'ordre de 30% par rapport à une référence 2000 : un essai au banc complet est prévu pour la fin 2015, avant des essais en vol dans le

DOSSIER

cadre de Clean Sky 2. Pour lui, le bruit était jusqu'à présent un obstacle. Les présentations de « Greener Aviation » ont convaincu que tel n'était plus le cas ; grâce aux progrès réalisés au niveau des pales et de l'installation avion (prévue à l'arrière du fuselage sur un futur court-moyen courrier), l'Open Rotor ne sera pas plus bruyant que les turbofans actuellement en développement et respectera le futur standard de l'OACI, dit « chapitre 14 ». C'est là une des grandes avancées de Clean Sky et des programmes nationaux engagés en parallèle.



A propos des programmes nationaux, une autre table ronde a permis d'en

faire un rapide tour d'horizon : France, Allemagne, Royaume-Uni, Italie, Russie et Canada ont répondu à l'appel. Au sein de l'Europe, la nécessité d'une meilleure coordination de ces programmes avec Clean Sky, tout en respectant la liberté de choix de chacun, se fraie un chemin dans les esprits. En attendant quelque mécanisme de concertation, une telle conférence, avec ses papiers, en principe, de toutes provenances, en est le meilleur vecteur informel qui soit.

La plupart des membres du Governing Board de Clean Sky, qui sont en général les Directeurs Techniques ou les Directeurs de la Recherche des leaders industriels, ont assisté en tout ou partie à la conférence. Parmi les points de passage obligés que constituent les keynote speeches, plusieurs dirigeants de la Commission européenne ou du transport aérien ont délivré leurs messages politiques, tous très favorables, on s'en doute, à l'innovation, à l'aéronautique européenne et à Clean Sky. Mais c'est bien au long des présentations techniques que l'on

pouvait constater l'ambition technologique du monde aéronautique.

L'intérêt et le succès de « Greener Aviation 2014 » donne envie de recommencer bientôt. Une prochaine édition, d'ici deux ans, verrait alors se côtoyer des vidéos des démonstrations en vol des projets de Clean Sky 1, telle l'aile laminaire sur un banc volant A340, et au moins, pour commencer, de plus modestes Powerpoint sur un concept de propulsion hybride ou l'avant-projet d'un tilt-rotor de 25 places, l'un comme l'autre inclus dans Clean Sky 2.

A nouveau, Universités, PME, organisations de Recherche et grande industrie se partageront les mérites des résultats obtenus et des efforts en cours. C'est dans de telles conférences que l'on voit la notion d'« Entreprise Commune » prendre tout son sens symbolique.

ERIC DAUTRIAT
Directeur Exécutif Clean Sky

TECHNOLOGIES

L'AÉRODYNAMIQUE DES MICRO-DRONES : DÉFIS TECHNIQUES ET PROBLÈMES SCIENTIFIQUES - PARTIE 2

DEUXIÈME PARTIE DE L'ARTICLE DONT LA PREMIÈRE PARTIE EST PARUE DANS NOTRE ÉDITION DE MAI 2014

3. MICRO-DRONES BIPLAN

En raison de contraintes de dimension sévères, la traînée induite des ailes volantes monoplan représente jusqu'à 70 à 80% de la traînée totale en vol de croisière. Les configurations biplans permettent de réduire la traînée induite en exploitant la dimension verticale à l'intérieur de la sphère maximale dans laquelle le véhicule doit tenir. L'effet

majeur d'une aile biplan est de diviser la traînée induite par deux au prix d'une traînée parasité accrue. Dans le cas des micro-drones, où la traînée induite joue un rôle majeur dans la traînée totale, la pénalité de traînée due à l'interférence additionnelles et la traînée parasite sont compensées par la diminution de la traînée induite si le coefficient de portance est supérieur à une certaine valeur minimale. Comme le montre la

table 1, la configuration biplan fournit une augmentation substantielle à la fois de la finesse maximale et de la finesse en vol de croisière.

En outre, la configuration biplan peut pratiquement récupérer le coefficient de portance maximal produit par une aile type monoplan d'allongement 1. Afin de comparer deux configurations de micro-drones à dimension maximale donnée, un micro-drone biplan et

TECHNOLOGIES

bimoteur, appelé Avilent, a été conçu et essayé dans la soufflerie basse vitesse S4 de l'ISAE (voir figure 11).

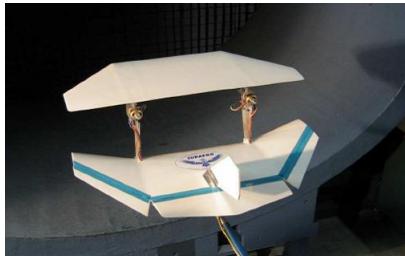


Figure 11 – Le micro-drone biplan-bimoteur « Avilent »

L'Avilent est constitué de deux ailes en tandem avec deux hélices contrarotatives implantées au bord d'attaque de l'aile haute et trois surfaces de contrôle réparties le long du bord de fuite de l'aile basse pour assurer le contrôle en tangage et roulis. L'emploi d'hélices contrarotatives annule le couple de renversement et permet un effet de soufflage plus important le long de l'envergure de l'aile.

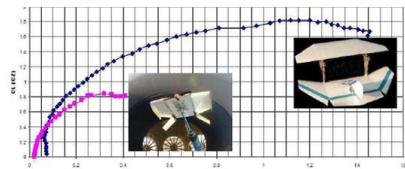


Figure 12 - Polaires aérodynamiques de micro-drones.

Comme le montre la figure 12, la configuration biplan conduit à un coefficient de portance maximal et à une finesse bien plus élevés quand le coefficient de portance en croisière est supérieur à 0,5.

Le coefficient de portance maximal de l'Avilent étant deux fois plus élevé que celui de la configuration monoplan Kiool, le véhicule peut voler à basse vitesse ce qui est inhabituel pour les configurations à aile fixe. Cependant, le sillage de l'hélice interagissant seulement avec le côté sous le vent de l'aile basse, le vol vertical reste difficile à réaliser. Une autre confi-

guration biplan et bimoteur a donc été conçue afin de maintenir l'efficacité de la surface de contrôle même à faible vitesse en plaçant un troisième empennage horizontal dans le sillage de l'hélice (voir figure 13).

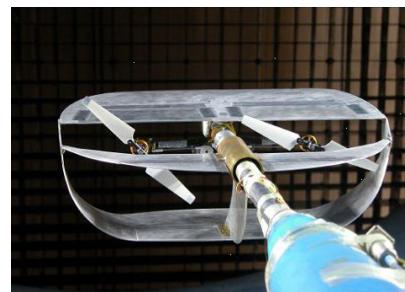


Figure 13 - maquette motorisée du micro-drone TYTO

Dans le concept TYTO, les ailes haute et basse sont connectées par des winglets verticales de forme arrondie entourant les hélices qui protègent la structure et augmentent la rigidité globale du véhicule. Un prototype volant contrôlé par l'autopilote Paparazzi développé à l'ENAC a volé avec succès en 2007.

Le micro-drone, appelé TYPO30, a une envergure de 30 cm et est équipé d'une vidéo caméra à deux axes fixée sur un dispositif balle de Ping-Pong (voir figure 14).



Figure 14 – Le micro-drone « TYTO30 » avant lancement manuel.

Bien que la capacité du véhicule à effectuer un vol stationnaire n'ait pas été testée, le micro-drone TYPO30 peut voler à très basse vitesse au-dessus d'un objectif. A l'opposé de l'aile monoplan qui exige un profil à double cambrure pour avoir un moment de tangage

positif au foyer aérodynamique, la configuration biplan permet un dessin de l'aile haute avec un profil à cambrure positive. De tels profils peuvent réaliser un coefficient de portance maximal plus élevé, un stabilisateur horizontal assurant l'équilibre longitudinal.

La configuration d'aile en tandem avec hélices contrarotatives situées au bord d'attaque de l'aile haute a été la meilleure de plusieurs combinaisons d'ailes haute et basse, incluant différentes dispositions de la motorisation. Si les hélices sont situées le long du bord d'attaque de l'aile, l'angle d'incidence effectif est diminué et donc aussi la circulation autour de l'aile. Bien que la vitesse induite par l'hélice accroisse la portance, l'angle d'incidence effectif est diminué en conséquence. De ce fait, la portance créée par une aile placée en aval de l'hélice est plus basse que celle créée par une configuration type pusher (voir figure 15).

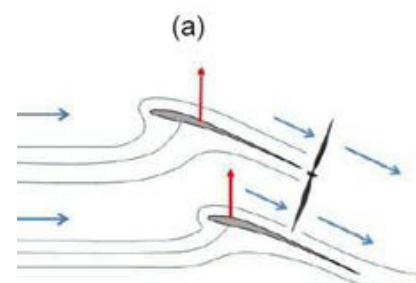


Figure 15 – Aile en tandem avec hélices en configuration « poussée » (a)

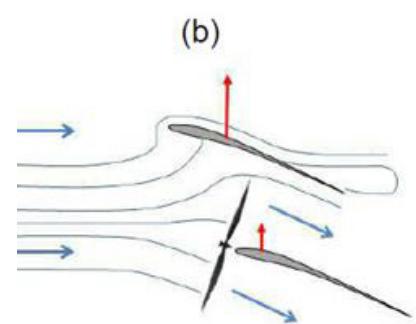


Figure 15 – Aile en tandem avec hélices en configuration « traction » (b)

TECHNOLOGIES

4. MICRO-DRONE À CONFIGURATIONS COAXIALES

Bien qu'à l'origine les concepts d'aile biplan ou en tandem n'aient pas été développés pour le vol stationnaire, ils se révèlèrent capables de réaliser des vols à faible vitesse qui pouvaient correspondre à des phases de la mission où le véhicule est en vol stationnaire au-dessus de l'objectif afin de transmettre au sol des images nettes. Pour réaliser une mission multitâche, incluant un vol horizontal rapide suivi d'un vol stationnaire au-dessus d'une cible, deux stratégies de concepts opposés sont disponibles. La première, consistant à modifier la configuration du planeur de façon à diminuer sa vitesse de vol minimale, a été suivie depuis l'aile volante monoplan jusqu'au concept TYTO.

La seconde stratégie consiste à considérer le vol vertical comme un point de départ et à modifier le concept de façon à réaliser un vol horizontal. Le résultat de cette stratégie a conduit au concept de convertible. Si l'objectif est de réaliser un vol stationnaire par la combinaison d'une voilure fixe et d'hélices, l'usage d'hélices contrarotatives apparaît comme une configuration raisonnable annulant le moment et l'effet gyroscopique associés à une seule hélice. Une option est de considérer des rotors coaxiaux avec l'avantage que le diamètre du rotor peut s'étendre jusqu'à la dimension maximale du véhicule. En utilisant le disque le plus grand possible pour le rotor coaxial, on limite l'effet négatif d'un sous dimensionnement des rotors qui résulte généralement en de faibles chiffres de mérite en raison de la réduction drastique du nombre de Reynolds.

La première idée d'un rotor coaxial, développée à l'ISAE sous le nom de configuration BR2C, était faite d'un rotor coaxial guidé dont le carénage avait une forme divergente engendrant

une portance en raison de la recompression dans sa partie basse (voir figure 16).

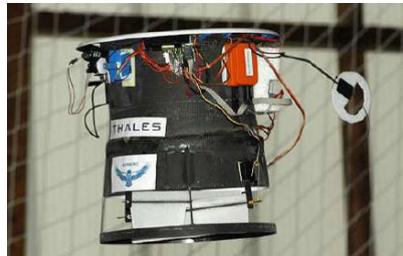


Figure 16 – Le micro-drone BR2D à soufflante coaxiale guidée.

L'idée maîtresse de la conception du micro-drone BR2C était de compenser la pénalité de masse par une portance supplémentaire si bien que le bilan de masse était maintenu inchangé. En outre, le carénage augmente de façon significative l'efficacité du birotor par réduction des pertes en extrémité de pale. La forme de l'entrée joue aussi un rôle important dans la force totale de portance, la forme arrondie de l'entrée créant une zone de dépression qui augmente encore la portance [8]. Le contrôle en tangage et roulis était réalisé par des volets situés au-dessous du birotor. Bien que les rotors guidés conviennent pour des missions en intérieur, ils sont très sensibles à des conditions de vent latéral et de ce fait imprévisibles aux vols en extérieur. Le micro-drone à carénage court Satoorn a ensuite été conçu et testé à l'ISAE, comme illustré figure 17.

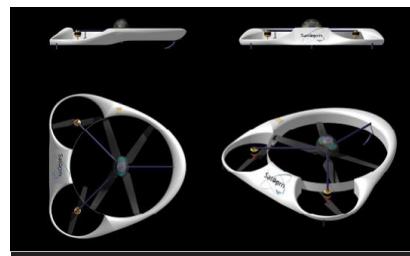


Figure 17 – Le micro-drone « Satoorn » à carène courte.

Afin de contrôler le Satoorn en tangage et roulis, deux petits rotors étaient ajoutés dans la partie arrière

du véhicule. Le Satoorn, testé avec succès en extérieur, souffrait de fortes non-linéarités en raison des interactions aérodynamiques entre le rotor coaxial principal et les rotors de contrôle, comme l'a décrit Thipyopas [9-10].

5. LE CONCEPT DE MICRO-DRONE CONVERTIBLE

Différentes options sont possibles pour réaliser à la fois le vol horizontal et le vol vertical. L'une d'elle consiste à incliner les rotors ou l'aile située dans le sillage du rotor comme sur la configuration V-22 Osprey. Dans le domaine des micro-drones, l'AVIGLE développé à l'Université d'Aix-la-Chapelle est un exemple d'un tel concept requérant un rotor additionnel placé au-dessus de l'empennage horizontal afin de contrôler le moment de tangage [11]. Cela nécessite en plus un mécanisme de basculement dans le véhicule ce qui entraîne une pénalité de masse. L'option suivie à l'ISAE était inspirée du Convair "Pogo" XFY-1 développé dans les années 1950 aux Etats-Unis (voir partie gauche de la figure 18). L'idée de base est de basculer tout l'appareil pour effectuer un vol de transition. En vol horizontal, le véhicule se comportait comme un avion classique alors qu'en position verticale il faisait du vol stationnaire tel un hélicoptère. Un premier micro-drone convertible à décollage vertical (appelé tail-sitter), appelé Vertigo, a été développé et essayé en vol à l'ISAE (voir figure 18).

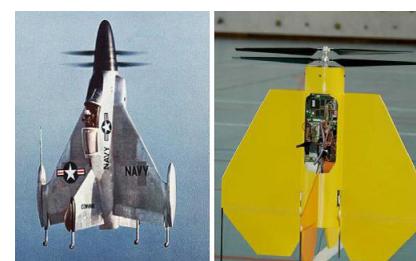


Figure 18 – Le Convair « Pogo » (à gauche) et le micro-drone « Vertigo » (à droite).

TECHNOLOGIES

Le Vertigo était propulsé par un rotor coaxial en position traction et équipé de deux ailes principales et deux ailes plus petites dans la direction perpendiculaire. Le contrôle en tangage et dérapage était obtenu par des élévons situés sur les quatre ailes.

Des hélices contrarotatives soufflant sur les surfaces de contrôle maintenaient l'équilibre durant la transition entre les vols horizontal et vertical [12]. Une miniaturisation du Vertigo conduisit à un mini-Vertigo développé à l'ISAE en collaboration avec l'Université d'Arizona (voir figure 19).

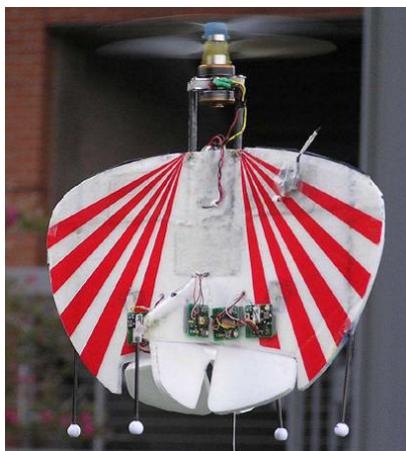


Figure 19 – Le « mini-Vertigo » à aile fixe coaxiale.

Alors que l'aile du Vertigo était faite d'une simple plaque plane, le mini-Vertigo (envergure de 30 cm) était équipé d'une aile Zimmerman et contrôlé par radio au moyen d'une stabilisation gyroscopique, pour une masse totale inférieure à 200 g. Il se révéla capable aussi bien d'un vol d'avancement rapide que d'un vol vertical [13]. En raison de son birotor exposé en position tractrice, le mini-Vertigo était très vulnérable aux collisions et au crash. La réalisation d'un appareil crashproof conduisit à l'idée d'une sphère en tiges de carbone, d'où le développement du Vision essayé en vol à l'occasion de la compétition MAV07 organisée à Toulouse en 2007 (voir figure 20).

Le Vision peut voler en intérieur et est

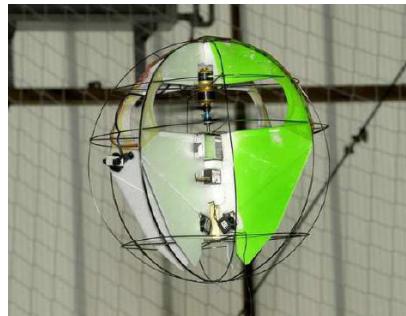


Figure 20 – Le micro-drone « Vision » à aile fixe et birotor libre coaxial.

assez robuste pour rouler sur le sol, bien que d'une manière non contrôlée. N'étant pas encore adapté pour des vols en extérieur, une version modifiée - appelée Vision'Air - a été conçue et fabriquée à l'ISAE (voir figure 21). Dans le concept Vision'Air, le mécanisme à arbre creux, utilisé sur le Vision et le Mini-Vertigo, a été remplacé par deux moteurs à rotor externe sans balais avec hélices directement fixées à la partie tournante. Placer le birotor dans le cadre protecteur a permis d'utiliser tout type de moteur et ouvert la porte à la miniaturisation.

En second lieu, une surface portante a été ajoutée devant les rotors coaxiaux, l'idée étant de défléchir l'écoulement en amont des rotors pour augmenter leur efficacité. Cela permit aussi d'accroître la portance durant la phase de transition. Enfin, un profil était ajouté sur la surface portante située en aval des rotors coaxiaux afin d'améliorer la performance aérodynamique en vol horizontal (voir figure 21).



Figure 21 – « Vision'Air »: Un micro-drone compact pour vol en transition.

Plus récemment, un prototype de micro-drone convertible a été conçu en vue de trouver un compromis entre les performances aérodynamiques pour les vols horizontal et vertical, tout en conservant le concept de structure extérieure protectrice. Le MAVion a été initialement conçu comme un bon appareil, capable de voler en extérieur et facile à fabriquer, à l'opposé des tail sitters plus compliqués [14]. Le guide de conception était simplicité et capacité au vol de transition. En vue de réaliser un allongement significatif (entre 1,5 et 2), la classique aile volante bimoteur a été retenue (voir figure 22).



Figure 22 – Le « MAVion » : un micro-drone bimoteur à aile fixe pour vol de transition.

Les directions de rotation pour les hélices contrarotatives furent choisies de façon à accroître artificiellement l'allongement en tournant dans le sens contraire des tourbillons de l'aile, choix qui s'est révélé bénéfique pour engager le virage. Ainsi, dans un virage à droite, une vitesse de rotation plus grande appliquée au rotor gauche produit à la fois un moment de dérapage vers la droite et un moment de roulis à droite. En 2011, une version intérieure a été développée et brevetée avec emploi de roues sans carbone jouant à la fois une protection pour le fuselage et un moyen de roulage. Le MAVion « Roll & Fly » est ainsi capable d'atterrir, d'attendre un instant, de rouler sur le sol puis de décoller sans intervention humaine. Le concept « Roll & Fly » montra aussi une aptitude à rouler et voler le long de murs ou de plafonds (voir figure 23).

Une version véritablement autonome développée à l'ISAE inclut soit une

TECHNOLOGIES



Figure 23 – Le « MAVion - Roll & Fly » grimpe le long d'un mur vertical.

micro-caméra vidéo, soit une micro-camera thermique de 24 g pour la reconnaissance de nuit [15]. Les hélices ont été choisies de façon à assurer un vol d'avancement jusqu'à 24 m/s ou un vol stationnaire avec une autonomie

typique de 15 minutes. Il subsiste toutefois des problèmes aérodynamiques non résolus tels que : 1 - se maintenir en vol stationnaire avec un fort vent de travers ou 2 - rouler sur un plafond. Dans la situation 1, le véhicule va avoir tendance à s'incliner horizontalement si le vent de travers devient trop fort, réduisant ainsi la zone observée. Les développements en cours incluent la capacité de basculer sur un mode vent fort dans lequel le MAVion peut conserver son attitude en dépit du vent latéral. Afin d'adapter l'inclinaison des pales au mode avion ou au mode hélicoptère, un mécanisme de calage collectif de pales est aussi une option en

cours d'étude.

La situation 2 peut devenir difficile quand les rotors sont très proches du plafond, l'écoulement étant fortement influencé par la condition limite de paroi. Augmenter le diamètre de la roue peut améliorer des comportements instables dans les phases de roulement mais ajouterait aussi de la masse au véhicule.

JEAN-MARC MOSCHETTA

Professeur d'aérodynamique à l'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE)

UNE REVUE DU PROCESSUS DE CERTIFICATION DES AVIONS EN CONDITIONS GIVRANTES

Afin de se conformer aux spécifications de certification pour le vol dans des conditions givrantes et aussi parce que le givrage est toujours un phénomène dangereux pour l'aéronautique, les constructeurs d'avion doivent démontrer la capacité de leurs appareils à voler et opérer en toute sécurité dans cet environnement.

Pour ce faire, une combinaison de moyens faisant intervenir des essais et des analyses accompagnés de calculs, plus le savoir faire, est utilisée dans la démonstration jusqu'à la délivrance du certificat de type. Cet article présente une revue des méthodes, outils et essais mis en œuvre chez Dassault Aviation pour obtenir cette certification ainsi que les problèmes techniques majeurs rencontrés.

La délivrance d'un certificat implique que l'appareil doit être capable de voler en toute sécurité dans des conditions d'environnement hostiles.

Il faut en conséquence :

- que les systèmes de protection anti-givrage fonctionnent efficacement,
- que l'accumulation de glace sur les

parties non protégées de l'avion et son impact sur l'aptitude au vol de l'appareil soient analysés et identifiés. Par exemple, une accumulation de glace pourrait conduire à des pénalités aérodynamiques importantes, à des dommages pour les moteurs pouvant entraîner une perte de poussée, à des dégâts sur la structure causés par l'impact sur des parties de l'avion de blocs de glace qui se détachent des zones d'accrétion ou bien encore à un mauvais fonctionnement des sondes de pression (tubes Pitot).

par calcul, essais au sol et/ou en vol) sont couramment utilisés pour veiller au respect de chacun des objectifs ci-dessus. La figure 1 montre les régions d'un avion exposées au givrage ainsi que les parties protégées.

2. SYSTÈME DE PROTECTION POUR L'AILLE

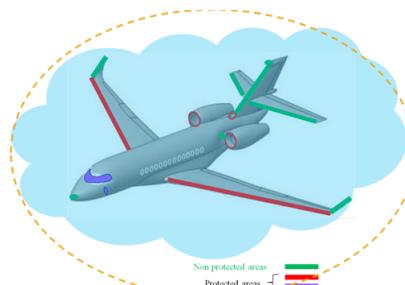


Figure 1. Zones de givrage et parties protégées.

Pour être conforme aux Spécifications de Certification (CS-25[1]), les différents moyens de mise en conformité disponibles (analyses

Sur la famille des avions d'affaire Falcon de Dassault Aviation, différentes parties de l'avion font l'objet d'attention vis-à-vis de la protection contre le givre. Toutefois, cet article va se concentrer sur la protection du bord d'attaque de l'aile, c'est-à-dire des becs. Comme de nombreux avions à réaction, les bords d'attaque de l'aile des Falcon sont protégés contre le givrage par un système de soufflage d'air chaud prélevé sur les moteur et acheminé via des conduits vers les différents becs de l'aile. Afin de chauffer la peau externe du bec, l'air chaud circule à travers un piccolo et est distribué sur toute la corde du bec au moyen d'une circulation interne à travers différents caissons avant éjection finale dans l'air ambiant (voir figure 2).

TECHNOLOGIES



Figure 2. Distribution de l'air chaud à l'intérieur d'un bec.

La conception et la certification d'un tel système fait appel à des calculs numériques requérant une simulation de toutes les conditions environnantes (flux d'air, trajectoires et impacts des gouttelettes d'eau, accrétion de la glace et bilan thermique, circulation interne d'air chaud et répartition du flux de chaleur) comme le montre la figure 3.

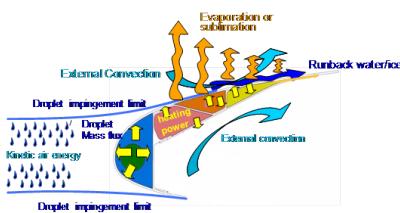


Figure 3. Schéma pour le bilan thermique de l'air chaud pour une aile.

2.1. CODE DE CALCUL

L'outil utilisé pour la certification du système de protection antigivre de l'aile est un modèle bidimensionnel reposant sur deux composants majeurs :

- 1 - Des modules mis au point à l'Onera pour calculer :
 - le champ aérodynamique,
 - la trajectoire des gouttelettes et l'efficacité de capture,
 - les propriétés de la couche limite.
- 2 - Un code de calcul développé chez Dassault Aviation pour le bilan thermique incluant un modèle de l'intérieur du bec pour déterminer la température de peau ainsi que le débit d'air chaud requis. Ce modèle se compose d'un solveur pour la conduction de chaleur dans le solide (paroi du bec) et d'un solveur avec modèle monodimensionnel simplifié pour la circulation interne de l'air chaud.

L'architecture du code avec les fonctions des modules principaux est représentée figure 4.

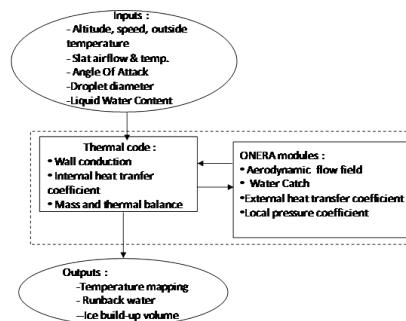


Figure 4. Architecture d'un outil numérique simulant le système anti-givrage.



Figure 5. Banc d'essai de bec de bord d'attaque pour la caractérisation du débit d'air.

phénomènes physiques complexes mis en jeu. A cette fin, un ensemble d'essais en laboratoire sont réalisés, allant de la distribution d'air chaud entre tous les becs jusqu'à l'identification des échanges de chaleur internes par utilisation d'une méthode dite de flux inverse (voir figure 5).

Le banc d'essais thermiques utilise des tapis électrothermiques implantés du côté externe de la peau (voir figure 6), de l'air froid (dans l'intervalle [-20°C, +20°C] étant soufflé par le tube piccolo. L'ensemble du dispositif d'essai est enveloppé dans une couverture isolante comme le montre la figure 7.



Figure 6. Tapis chauffants installés sur la peau d'un bec.



Figure 7. Montage d'essai pour l'écoulement interne avec enveloppe isolante

Suite à cette étape, l'outil numérique est confronté aux résultats d'essai et éventuellement corrigé afin de coïncider avec l'expérience. L'étape suivante consiste en un contrôle et une validation dans une soufflerie givrante. Comme il n'est pas possible d'installer un bec de bord d'attaque complet dans les souffleries existantes, seule une section est testée (en général la partie près de l'extrémité, voir figure 8).

2.2. ESSAIS AU SOL

L'analyse ci-dessus doit être évaluée et validée en raison du grand nombre de

TECHNOLOGIES



Figure 8. Extrémité d'aile dans une soufflerie de givrage.

Les objectifs de ces essais sont les suivants :

- démontrer l'efficacité du système de protection contre le givre dans les conditions de givrage les plus sévères telles que définies dans la CS-25,
- valider l'outil numérique dans des conditions givrantes réelles.

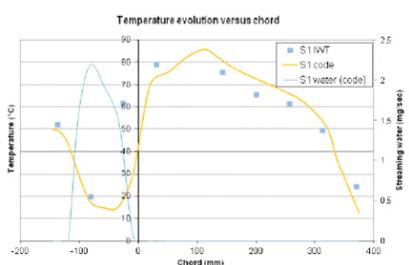


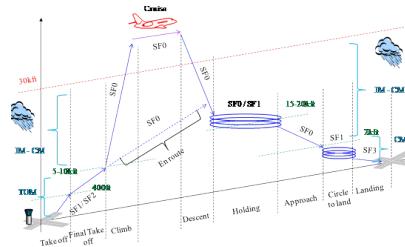
Figure 9. Comparaison calcul-essais pour la température de peau.

La figure 9 présente un exemple de comparaison calcul-essais. A ce stade, la précision de l'outil d'analyse est évaluée et la capacité du système d'anti-givrage à fonctionner dans des conditions sévères est démontrée. Un contrôle final sera réalisé lors de vols en air sec puis dans des conditions de givrage naturelles.

3. ACCRÉTION DE GLACE SUR LES PARTIES NON PROTÉGÉES

Sur les parties non protégées, les épaisseurs d'accrétion de glace et leurs formes doivent être définies afin

d'étudier leur impact potentiel sur le comportement de l'avion. Des outils de simulation bidimensionnels sont couramment utilisés pour définir la forme des dépôts de glace sur la dérive ou bien sur l'empennage horizontal, ainsi que sur le bord d'attaque de l'aile en cas de panne du système anti-givrage ou d'une activation retardée., Selon la CS-25, différentes phases de vol doivent être étudiées pour définir les conditions de givrage du décollage à l'atterrissement (voir figure 10).



TECHNOLOGIES

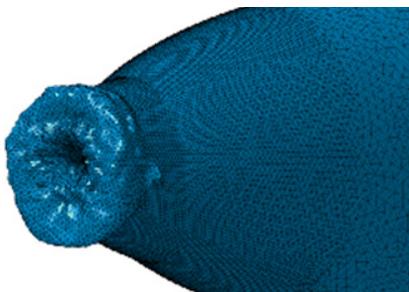


Figure 14. Accrétion de glace sur un capotage d'antenne au bout de 45 minutes. Calcul tridimensionnel.

Une fois toutes ces formes déterminées pour toutes les conditions de givrage listées dans la CS-25, la phase suivante sera consacrée à une classification des formes en fonction des dégradations aérodynamiques vues de l'avion. Ces formes sont aussi utilisées pour des démonstrations dans le domaine des structures (flottement) en accord avec le processus général de certification de l'appareil.

3.2. ESSAIS EN SOUFFLERIE

Toutes les formes de givre définies par calculs sont testées en soufflerie classique afin de sélectionner les plus sévères. Les différentes formes sont fabriquées et montées sur une maquette

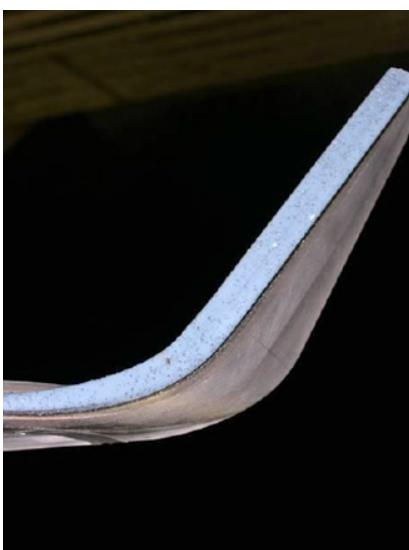


Figure 15. Forme simulée de dépôt de glace sur une winglet pour essai en soufflerie avec air sec.

de l'avion (voir figure 15) dans le but de déterminer les pénalités aérodynamiques (augmentation de traînée, perte de portance, réduction de la stabilité longitudinale et transversale, perte d'efficacité des surfaces de contrôle) pour chacune des conditions de givrage.

Après cette étape, une sélection finale de formes est effectuée pour utilisation dans les essais en vol afin de contrôler les performances et les qualités de manœuvrabilité de l'avion en présence d'accrétion de glace sur ses parties non protégées.

4. ESSAIS EN VOL

L'essai en vol constitue la phase finale de la procédure de certification. Les objectifs principaux sont :

- le contrôle de la distribution et de la gestion de l'air injecté dans le système de protection des becs durant des vols en air sec,
- la confirmation en air sec des performances et des qualités de manœuvrabilité en présence de dépôts glace artificiels montés sur les parties non protégées,
- le contrôle en conditions de givrage naturelles de l'efficacité des systèmes de protection ainsi que des capacités à voler en toute sécurité en conditions hostile.

4.1. VOL DANS DES CONDITIONS D'AIR SEC

Les essais des systèmes d'anti-givrage sont réalisés en air sec avec les becs instrumentés de thermocouples permettant de contrôler le circuit de prélèvement d'air chaud ainsi que la répartition adéquate du flux de chaleur sur tout le bec. Ils permettent également le réglage du régime moteur minimal afin d'assurer le bon fonctionnement de l'anti givrage et le contrôle de la surchauffe potentielle sur l'aile.

Les essais en vol avec des formes de dépôt représentent la démonstration finale de la capacité à voler en toute sécurité avec des accrétions de glace sur les parties non protégées. Les formes de dépôt, fabriquées à partir d'une sélection faite après les essais en soufflerie, sont installées sur toutes les parties non protégées de l'avion.



Figure 17. Forme de dépôt de glace artificielle sur une winglet pour essais en vol.

La figure 17 montre des formes de givre artificielles, correspondant à un vol d'attente de 45 minutes, installées sur certaines parties du bord d'attaque de l'avion.

En dehors de la géométrie elle-même, ces formes de glace simulées doivent reproduire la rugosité naturelle des dépôts réels en utilisant des dispositifs particuliers. Les formes essayées durant ces essais en vol devant couvrir toutes les configurations de givrage listées dans la CS-25, les épaisseurs de glace vont de quelques centaines de microns (glace au décollage) à plusieurs pouces (attente/approche/atterrissement) compte tenu d'un temps total d'exposition de 45 minutes. Toutes ces formes de glace doivent être installées en utilisant une procédure idoine et doivent satisfaire aux limitations opérationnelles en vol (vitesse maximale de l'avion, résistance, fixations, etc.).

Nous devons préciser que tous ces vols sont des vols dédiés, ce qui signifie que l'avion est entièrement consacré à ces opérations pendant un certain laps de temps. En conséquence, ces opérations doivent être programmées avec précision afin d'éviter toute perte

TECHNOLOGIES

de temps pouvant retarder la délivrance de la certification finale.

4.2. ESSAIS DANS DES CONDITIONS DE GIVRAGE NATURELLES

En raison des incertitudes sur les conditions atmosphériques, cette phase des essais en vol est la plus imprévisible en termes d'emploi du temps. L'avion est instrumenté avec des sondes spéciales pour mesurer le diamètre des gouttelettes d'eau rencontrées, le contenu du nuage en eau liquide, le taux d'accrétion de la glace.

Il emporte aussi plusieurs caméras vidéo afin de filmer la croissance du givre sur différentes parties de l'avion. Ces vols sont délicats à appréhender car voler en conditions givrantes naturelles est souvent lié à d'autres phénomènes atmosphériques dangereux comme la foudre, une turbulence sévère, des rafales de vent, etc. Au cours des campagnes d'essai passées, 85 heures de vol ont été accumulées en 17 vols, correspondant à seulement 20 heures d'activation du système de dégivrage.



Figure 19. Forme de dépôt de glace sur une winglet en conditions naturelles.

La figure 19 présente l'image d'une accrétion de glace sur un winglet au cours d'un vol. De larges zones de détachement de glace sont aussi visibles sur cette figure. Un des défis principaux durant ces vols est de trouver en même temps des conditions de givrage continu ou intermittent avec des températures assez basses (inférieures à -15°) et un

contenu satisfaisant en eau liquide, tel que tabulé dans l'Annexe C de la CS-25.

5. CONCLUSION

Pour un projet d'avion entièrement nouveau, la certification pour le vol en conditions givrantes est un processus long et complexe. De plus, cette démarche fait appel à un grand nombre de spécialistes de différents départements : charges structurales, essais en vol, givrage et aérodynamique, systèmes, certification. Au cours de ce processus, plusieurs outils sont combinés (calcul numérique, essais en laboratoire et en soufflerie, essais en vol) afin de démontrer la capacité de l'avion à voler sans dommage dans des conditions givrantes telle que définies dans la spécification de certification CS-25.

Des réglementations futures, liées à de récents accidents en vol, vont conduire à un élargissement du domaine de la certification au givrage en raison de la prise en compte de nouveaux phénomènes atmosphériques (cristaux de glace, grosses gouttes). Pour satisfaire à ces nouvelles exigences, de nombreuses améliorations des codes numériques de prévision du givrage et des souffleries givrantes seront nécessaires.

Elles nécessiteront également une amélioration de l'instrumentation et de la méthodologie pour les essais en vol. Ces exigences vont aussi conduire à une nécessaire adaptation de la stratégie de certification en raison d'une augmentation prévisible de la charge liée à ces nouvelles requêtes.

[1] La CS-25 expose l'ensemble des règles, moyens de conformités et démonstrations à réaliser dans le but d'obtenir la délivrance de la certification pour le vol en conditions givrantes. C'est également dans cette base documentaire que sont définies les types de nuages rencontrés ainsi que les paramètres givrants associés (taille des nuages, diamètre des gouttes, teneur

en eau, domaine givrant fonction de l'altitude et de la température)

FRANÇOIS CAMINADE

Dassault Aviation

AGENDA

19 SEPTEMBRE AÉROADOUR

Aéroport de Pau Pyrénées - 5^e RHC
Du vendredi 19 septembre au dimanche 21 septembre 2014

20 SEPTEMBRE SPACEUP TOULOUSE

Toulouse
Du samedi 20 septembre au dimanche 21 septembre 2014

24 SEPTEMBRE 12ÈME FORUM EUROPÉEN IES 2014

Troyes
Du mercredi 24 septembre au vendredi 26 septembre 2014

9 OCTOBRE MÉCATRONIQUE, JOB D'AVENIR

Bezons, France
Le jeudi 9 octobre 2014

13 NOVEMBRE PRÉSENT ET FUTUR DES DRONES CIVIL

DGAC Direction générale de l'aviation civile, Paris
Du jeudi 13 novembre au vendredi 14 novembre 2014

25 NOVEMBRE LES ETOILES DE 3AF

Pavillon Dauphine, Paris
Le mardi 25 novembre 2014



La Société Savante
de l'Aéronautique et de l'Espace

Retrouvez nos articles sur le site
www.3af.fr