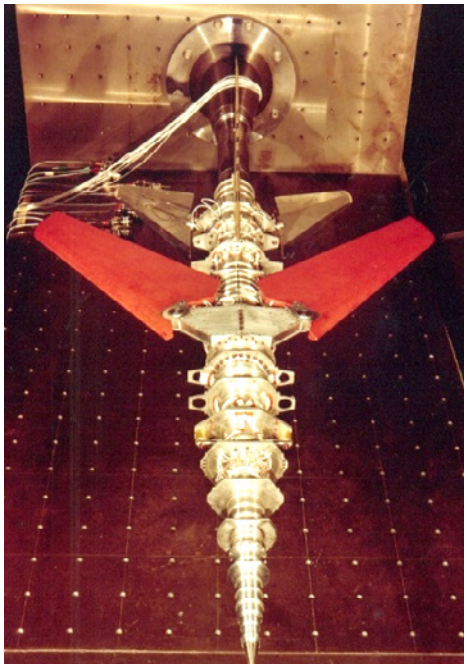
NUMÉRO 48
MAI - JUIN 2021

Association Aéronautique
et Astronautique de France

LETTRE 3AF

La revue de la société savante
de l'Aéronautique et de l'Espace

NUMÉRO SPÉCIAL HAUTS-DE-FRANCE



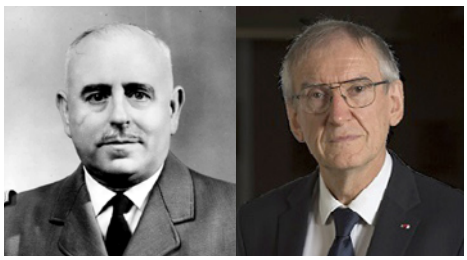
ATELIER DE MAQUETTES ONERA

90 ANS DU CENTRE ONERA DE LILLE

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

60 ANS DE LA DGA

DGA



LA TOUR DE CRASH DU CENTRE ONERA DE LILLE

Société d'Encouragement pour l'industrie nationale FONDÉE EN 1801

220 ANS DE LA SEIN

cnes

60 ANS DU CNES

LE SITE STELIA AEROSPACE DE MÉAULTE

IL Y A 60 ANS, NAPOLÉON EN SOUFFLERIE

NUMÉRO 48
MAI - JUIN 2021

TABLE DES MATIÈRES

3 **ÉDITORIAL**

4 **PRÉFACES**

INTERVIEW

9 **ERICK MAILLET**
par Jean-Yves Guedou

11 **ALINE DOYEN, PRÉSIDENTE D'ALTYTUD**
par Eric Deletombe

POINT DE VUE

13 **CAP'INDUSTRIE**
par Sophie Perret-Ducray

15 **AÉR'HAUTS-DE-FRANCE, UNE MARQUE POUR FAIRE CONNAÎTRE ET RECONNAÎTRE LA FILIÈRE AÉRONAUTIQUE DES HAUTS-DE-FRANCE**
par Ludivine Deloux

17 **LE SITE STELIA AEROSPACE DE MÉAULTE, RÉSOLUMENT TOURNÉ VERS L'AVENIR**
par François Fournier

AÉRONAUTIQUE

19 **DRONES @ONERA : VERS UNE MAÎTRISE DU RISQUE ET DES NUISANCES SONORES**
par Laurent Planckaert et Quentin Gallas

28 **LA TOUR DE CRASH DU CENTRE ONERA DE LILLE**
par Jacky Fabis, Julien Berthe et Gérald Portemont

32 **LA PLATE-FORME CONTRAERO**
par Bruno Mialon

36 **UNE EXPERTISE DU CENTRE ONERA DE LILLE : CONCEVOIR ET RÉALISER DES MAQUETTES AÉRODYNAMIQUES DE HAUTE TECHNICITÉ**
par Frédéric Ternoy, Gilles Outtier et Emmanuel Eglinger

44 **CONTRÔLE D'ÉCOULEMENTS EN AÉRODYNAMIQUE**
par Bruno Mialon

52 **LA 55E CONFÉRENCE INTERNATIONALE D'AÉRODYNAMIQUE APPLIQUÉE**
par Jean Délery

ESPACE

59 **THOMAS PESQUET DANS L'ESPACE**
par Pierre Cordesse

FORMATION

60 **ELISA AEROSPACE : UNE EXPERTISE TECHNIQUE ET PLURIDICIPLINAIRE DANS UN MONDE EN PROFONDS BOULEVERSEMENTS**
par Chantal de Turckheim

64 **LE LABORATOIRE DE MÉCANIQUE DES FLUIDES DE L'IUT DE VILLE-D'AVRAY**
par Ali Hocine

69 **LE GROUPE DE TRAVAIL MÉCADYMAT DE L'ASSOCIATION MECAMAT**
par Eric Deletombe et Patrice Longere

70 **LE SUMMER SPACE FESTIVAL : LE PROJET PHARE DE L'ANTENNE JEUNES HAUTS-DE-FRANCE**
par Antoine Bocquier et Anthyme Durlin

VIE 3AF

73 **LE GROUPE HDF ET SON COMITÉ JEUNE**
par Gérard Laruelle et Anthyme Durlin

HISTOIRE

76 **LE CENTRE DE LILLE DE L'ONERA - INSTITUT DE MÉCANIQUE DES FLUIDES DE LILLE. 90 ANS AU SERVICE DE L'AÉRONAUTIQUE**
par Eric Deletombe et Jean-Luc Charles

83 **LOUIS SUSANE, PIONNIER DE LA FUSÉE DU 19E SIÈCLE À METZ**
par Philippe Jung

95 **IL Y A 60 ANS, NAPOLÉON EN SOUFFLERIE**
par Marie-Claire Coët et Bruno Chanetz

NOTES DE LECTURE

102 **PLANEURS ET AVIONS MAURICE BROCHET**
par Patrick Gilliéron

ÉVÉNEMENTS 3AF

103 **LES PROCHAINS ÉVÉNEMENTS**

Légende de la couverture

ONERA - IMFL	*DGA*	*SEIN*	*CNES*
Joseph Kampé de Fériet	*Gaston Lavaud*	*Jean-Antoine Chaptal*	*Pierre Auger*
Bruno Sainjon	*Joël Barre*	*Olivier Mousson*	*Philippe Baptiste*

ÉDITEUR
Association Aéronautique et Astronautique de France
6, rue Galilée, 75116 Paris
Tél. : 01 56 64 12 30
secr.exec@aaaf.asso.fr

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
Louis Le Portz

RÉDACTEUR EN CHEF
Bruno Chanetz

COMITÉ DE RÉDACTION
Pierre Bescond
Jean Délery
Jean-Yves Guédou
Bertrand de Montluc
Jean-Pierre Sanfourche
Jean Tensi
Pierre Tréfouret
Bernard Vivier

CONCEPTION GRAPHIQUE
ICI LA LUNE
www.icilalune.com

Droit de reproduction, textes et illustrations réservés pour tous pays.

Les opinions émises dans les articles n'engagent que leurs auteurs et ne sauraient être considérées comme une prise de position officielle de la 3AF

ÉDITORIAL

Cette Lettre est consacrée à la région Hauts-de-France. Grâce au colloque, organisé à Méaulte le 18 septembre 2020, à l'initiative d'Eric Deletombe, également maître d'œuvre de ce numéro, certains de nos membres avaient déjà pu découvrir la richesse aéronautique de cette région sur le site même où Henri Potez avait installé ses usines.

Ce numéro s'enorgueillit de préfaces prestigieuses célébrant les anniversaires de quatre institutions : Joël Barre, Délégué général de l'armement, pour les 60 ans de la DGA, Bruno Sainjon, Président de l'Office national d'études et recherches aérospatiales pour les 90 ans du centre ONERA de Lille, Philippe Baptiste, Président du Centre national d'études spatial, pour les 60 ans du CNES et Olivier Mousson, Président de la société d'encouragement pour l'industrie nationale pour les 220 ans de la SEIN.

La rubrique aéronautique présente les diverses études et recherches effectuées au centre ONERA de Lille. Les activités sur les drones sont décrites sous l'angle de la maîtrise du risque et des nuisances sonores. La tour de crash, inaugurée en 2002, fait partie des installations phares de l'ONERA à Lille. Son histoire, de sa conception à son utilisation la plus récente, est racontée dans ces pages. Le centre de Lille héberge également l'atelier des maquettes de l'ONERA, lesquelles sont essayées dans toutes ses souffleries. Concevoir et réaliser des maquettes de haute technicité ne s'improvise pas, comme en témoigne l'article très complet figurant dans cette Lettre. Depuis sa création, le centre ONERA de Lille possède des souffleries aérodynamiques. Certaines font partie de la plate-forme CONTRAERO qui rassemble des installations appartenant à quatre laboratoires implantés à Lille et à Valenciennes, en vue d'apporter une réponse globale aux problèmes du contrôle des écoulements aérodynamique, thème abordé ensuite par Bruno Mialon.

Dans cet article, Bruno Mialon rapporte le cas emblématique de la balle de golf, dont les alvéoles déclenchent la transition de la couche limite vers le régime turbulent, ce qui diffère son décollement, réduisant ainsi la traînée de la balle. Cet épisode a rappelé à Pierre Bescond une erreur de jeunesse d'Ariane, que je ne résiste pas à vous conter. En effet, le passage d'un polissage manuel à un polissage automatique très peaufiné des injecteurs LOX/LH2 du 3e étage avait conduit au non-allumage du moteur car le mélange hydrogène liquide et oxygène liquide s'en trouvait mal brassé. Une fois la cause de l'anomalie détectée, on est revenu au polissage manuel des injecteurs qui grâce aux aspérités résiduelles créait des turbulences salutaires pour l'allumage du mélange.

Dans la rubrique *Formations*, Chantal de Turckheim, directrice générale, décrit l'école d'ingénieur *Elisa Aerospace*, établie à la fois à Saint-Quentin et à Saint-Jean-d'Illac près de Bordeaux. Dans l'article suivant Ali Hocine décrit le laboratoire de mécanique des fluides de l'IUT de Ville d'Avray, cette incursion en Ile-de-France restant en lien avec la thématique du numéro puisque les trois souffleries S45 de ce laboratoire ont été conçues et fabriquées à l'Institut de Mécanique des fluides de Lille. Pendant la reconstruction de l'IUT, Michel Barry, l'ancien responsable avait confié ces souffleries à l'ONERA, qui les avait hébergées à Meudon. Trois ans plus tard, les S45 furent réinstallées dans le nouveau bâtiment. Etant alors professeur associé à l'université Paris-Nanterre, grâce à l'expertise de collègues de l'ONERA, nous avons conseillé l'acquisition de dispositifs métrologiques modernes pour équiper ces souffleries. Ironie de l'histoire, une soufflerie du type S45 identique, qui subsistait au centre ONERA de Toulouse, est en cours de cession à l'école Bordelaise d'*Elisa Aerospace*.

En cette année 2021 qui a vu la commémoration du bicentenaire de la mort de Napoléon, ce numéro s'achève par une page histoire relatant le passage en soufflerie d'une maquette de la statue de l'empereur, en vue de son érection à Wimille au lieu-dit du camp de Boulogne.

Le lecteur averti aura remarqué sur la couverture le portrait de Jean-Antoine Chaptal, premier président de la société d'encouragement pour l'industrie nationale et ministre de l'intérieur de Bonaparte sous le consulat, ce voisinage avec Napoléon conférant à ce numéro une dimension très impériale ... ■

Bruno Chanetz
rédacteur en chef et président du Haut conseil scientifique

PRÉFACE

LES 60 ANS DE LA DGA

par **Joël Barre**, Délégué général pour l'armement

Créée il y a 60 ans, la Direction générale de l'armement est un des piliers du ministère des Armées et un rouage essentiel de la défense française.

La Délégation ministérielle pour l'armement, devenue depuis la Direction générale de l'armement (DGA), a été créée le 5 avril 1961 par le général Charles de Gaulle, Président de la République, pour doter la France de la force de dissuasion nucléaire, et garantir ainsi son indépendance et son autonomie d'action et de décision.

Depuis 60 ans, la DGA contribue à assurer la souveraineté et l'autonomie stratégique de la France, par la réalisation de ses missions : équiper les armées de façon souveraine, concevoir les systèmes de défense du futur, promouvoir la coopération européenne et soutenir les exportations de notre base industrielle et technologique de défense.

La DGA conduit en moyenne plus d'une centaine d'opérations d'armement par an, permettant de couvrir toute la gamme des équipements nécessaires aux armées françaises pour accomplir leurs missions. Pour relever ces défis, la DGA soutient le développement d'une industrie de défense souveraine et performante - les grands maîtres d'œuvre comme les PME, ETI et TPE - indispensable à la supériorité technologique donc opérationnelle de nos forces armées. Elle s'appuie également sur des moyens d'essais et d'expertise souvent uniques en Europe au sein des 10 centres techniques répartis sur tout le territoire, mais surtout sur les 10 000 femmes et hommes qui la composent et qui constituent une force d'ingénierie indépendante de premier plan, indispensable au ministère des Armées et à l'État pour leur permettre de disposer des matériels les plus performants tout en maîtrisant leurs coûts et leurs délais de réalisation.

La DGA s'est transformée au cours des décennies, de la production d'armements vers la maîtrise d'ouvrage de programmes de plus en plus complexes. Elle s'est adaptée en permanence à l'évolution des technologies et des menaces dans tous les milieux (terre, air, mer, espace, systèmes d'information et de communication, cyber). Elle a également fait évoluer ses outils et méthodes d'ingénierie et de conduite des programmes : l'ingénierie système, la simulation numérique, la conception d'architectures capacitaires et les approches incrémentales ont permis d'accélérer les programmes et d'y intégrer rapidement les innovations.

La DGA occupe un rôle central dans la construction de l'Europe de l'armement, au travers des programmes menés en coopération avec de nombreux pays en Europe et par son dialogue avec ses partenaires dans le cadre du fonds européen de défense. Elle anime également tout un écosystème d'innovation, via ses 7 pôles d'innovation autour de ses centres d'essais en régions, de l'Agence de l'innovation de défense mais aussi via ses relations privilégiées avec des partenaires tels que l'ONERA et le CNES.

À l'occasion de nos anniversaires respectifs, je tiens à souligner la qualité de ces relations anciennes, récemment ravivées au travers de la signature de partenariats pour la période à venir.

L'ONERA viendra ainsi renforcer l'activité étatique de maîtrise d'ouvrage de la DGA dans le domaine aérospatial, capacité essentielle pour notre défense et au-delà, pour l'industrie aérospatiale française et européenne. Les compétences uniques de l'ONERA, en termes d'essais et de recherche, seront ainsi mises à profit par la DGA dans le contexte de la nouvelle ambition spatiale et du projet de système de combat aérien futur.

Le CNES, quant à lui, apporte ses compétences pour le lancement, la maîtrise d'ouvrage des satellites et la préparation de l'avenir dans le domaine spatial. L'accord de gouvernance récemment signé entre le ministère des Armées et le CNES renforce durablement notre collaboration pour répondre aux ambitions de la stratégie spatiale de défense de la France, en exploitant ensemble la dualité de l'espace ainsi que les ruptures technologiques et les innovations avec l'émergence de nouveaux acteurs économiques, comme les start-up et les géants du numérique.

Ce 60ème anniversaire de la DGA que nous célébrons cette année se veut le témoin d'une grande aventure technologique et humaine, qui se poursuit grâce au travail et à la passion des personnels civils et militaires, femmes et hommes, ingénieurs, techniciens, ouvriers, qui constituent la DGA. Cet anniversaire témoigne de la richesse de notre histoire, de nos compétences et de nos expériences. Lesquelles s'appuient sur un socle

de valeurs partagées : l'engagement au service de la nation, la passion pour la technique, l'efficacité et la qualité, l'esprit d'équipe et la coopération, l'anticipation et l'innovation. Ces valeurs ont construit notre passé et sont le ciment de notre avenir.

PRÉFACE

LES 75 ANS DE L'ONERA

par **Bruno Sainjon**, président de l'ONERA, Vice-président de la 3AF

C'est un plaisir pour moi de préfacer cette Lettre 3AF n°48, consacrée à l'aéronautique dans la région Hauts-de-France à l'occasion des 75 ans de l'ONERA et des 90 ans de présence à Lille, un paradoxe sur lequel je reviendrai. Fidèles à notre mission historique, nous avons préparé l'aéronautique, le spatial et la défense pendant toutes ces années, et nous comptons bien le faire pendant encore de longues années. Cette conviction vient de la qualité des recherches menées dans nos murs, elle est confortée par les très nombreuses marques de reconnaissance que nous recevons.

Nos implantations dans les territoires participent de la diffusion du savoir et de l'innovation dès le départ de cette belle aventure. L'Institut de Mécanique des Fluides de Lille (IMFL) a débuté ses recherches en 1931 afin de constituer un centre d'enseignement supérieur et de recherches scientifiques dans les domaines de l'aérodynamique et l'hydrodynamique. Les principales installations du Centre étaient à sa création, une soufflerie horizontale basse vitesse et un bassin hydrodynamique. En 1938 une soufflerie verticale sera édifiée. La nomination de Joseph Kampé de Fériet [1] à la direction de l'Institut de Mécanique des Fluides de Lille [2] fut le point de départ de recherches fructueuses théoriques et expérimentales dans le domaine de la théorie statistique de la turbulence et de la turbulence atmosphérique.

Cette Lettre 3AF donne un panorama des activités et des recherches qui y sont menées de nos jours. C'est à Lille que sont fabriquées toutes les maquettes utilisées dans les souffleries de l'ONERA. Le centre de Lille s'est enrichi de nouvelles installations avec une tour de crash. On trouvera également dans ce numéro une présentation des souffleries et des recherches qui y sont menées, ainsi que l'activité sur les drones très présente à Lille.

L'ONERA est fier de compter un centre de recherche à Lille dans cette région des Hauts-de-France, si riche de son tissu industriel et académique, présenté dans ces pages. Cette activité aéronautique s'inscrit dans une tradition historique qui a été évoquée l'année dernière au cours du congrès 3AF organisé à Méaulte en l'honneur d'Henry Potez par la 3AF, Alumni-ONERA et Altytud. Ce colloque, à l'initiative d'Eric Deletombe, directeur du rayonnement ONERA dans les Hauts-de-France, également président du Groupe régional 3AF Hauts-de-France, a permis de réunir les acteurs industriels des Hauts-de-France et les passionnés locaux dans le domaine de l'aéronautique.

Alumni-ONERA fut également partie prenante dans cette organisation. Cette jeune association fête en 2021 ses cinq années d'existence. C'est en 2016 que j'ai demandé à Bruno Chanetz de créer cette association des docteurs et doctorants de l'ONERA, afin de conserver des liens avec tous les docteurs diplômés après avoir réalisé leur thèse à l'ONERA. Chaque année il y a environ une centaine de nouveaux docteurs diplômés. L'ONERA compte sur eux, via Alumni-ONERA, pour rester ses ambassadeurs dans les sociétés qu'ils rejoignent à l'issue des trois ans passés avec nous.

Enfin en tant que vice-président de la 3AF, je voudrais remercier Monsieur le Délégué général de l'Armement Joël Barre, Monsieur le Président du CNES Philippe

1. *Joseph Kampé de Fériet et les débuts de l'institut de mécanique des fluides de Lille (1930-1940)* par Bruno Chanetz, Lettre 3AF n° 33 (septembre-octobre 2018)

2. *Le centre de Lille de l'ONERA – Institut de mécanique des fluides de Lille : 90 ans au service de l'aeronautique* par Eric Deletombe et Jean-Luc Charles dans la présente Lettre n°48

Baptiste et Monsieur le Président de la société d'encouragement pour l'industrie nationale Olivier Mousson, de s'associer à nos anniversaires, à l'occasion des propres anniversaires des institutions qu'ils président. ■

PRÉFACE

LES 60 ANS DU CNES

par **Philippe Baptiste**, président directeur général du CNES

Le CNES va avoir 60 ans à la fin de cette année. Nous allons fêter l'anniversaire d'un établissement qui a construit avec ses partenaires un écosystème innovant, reconnu et robuste qui mêle recherche, technologie et industrie. Grâce à la volonté politique et continue des gouvernements qui se sont succédés, grâce à la vision, à l'énergie et la grande compétence de mes 11 prédécesseurs, le CNES a permis à la France d'être parmi les grands du spatial. L'Occitanie, la Guyane, l'Ile-de-France et la Normandie sont aujourd'hui le fer de lance de l'Europe spatiale du 21ème siècle.

Venant d'être nommé à la tête du CNES, je mesure l'honneur qui m'a été fait et la confiance que me témoignent le Président de la République et le Gouvernement. Je veux porter haut et fort notre histoire et faire vivre l'esprit de conquête de notre établissement.

Tout au long de son existence, le CNES s'est engagé avec ses partenaires pour développer les télécommunications, la navigation, l'observation de la Terre et l'exploration de l'Univers. Le CNES a ainsi été à l'origine de filières industrielles qui représentent de l'ordre de 25 000 emplois en France, près de la moitié des effectifs européens, et une très forte valeur ajoutée pour notre pays. Je ne citerai que quelques exemples : Ariane et sa famille de lanceurs, Spot et l'observation optique, les altimètres et la filière Jason, Argos et l'internet des objets par satellite. Grâce à la miniaturisation des satellites, à la réduction des coûts des lanceurs et à une agilité accrue de nouveaux acteurs, notre secteur connaît actuellement un bouleversement et une accélération inédits. Informaticien et mathématicien appliqué, je suis convaincu que le numérique et le spatial seront au cœur des bouleversement scientifiques, technologiques et industriels que nous allons connaître ces prochaines années. Les grands acteurs mondiaux du numérique l'ont bien compris et investissent massivement dans notre secteur en appliquant des méthodes agiles qui ont fait leurs preuves dans le monde du numérique et dans l'industrie. Il est à ce titre nécessaire de faire émerger une constellation européenne qui fournira de l'internet haut débit partout et garantira notre autonomie stratégique.

La chaîne de valeur du spatial est bouleversée et nous devons tenir compte de ces grands changements dans tous nos programmes.

En premier lieu, l'innovation et les relations avec les industriels doivent être revisitées car, si les programmes de R&D associant public et privé restent absolument essentiels, des ruptures technologiques ou commerciales peuvent aussi venir de startups qui, par leurs capacités à prendre de très grands risques, savent parfois s'aventurer là où nous ne serions pas allés naturellement. Le mouvement a été initié et nous travaillons déjà efficacement avec de jeunes entreprises. Travailler avec les startups c'est accepter un risque mais c'est aussi faire la pari d'une forme d'innovation dont nous serons les premiers bénéficiaires. Décuplons nos efforts !

Un second enjeu est celui des lanceurs avec Ariane 6, le futur lanceur lourd européen, développé sous la responsabilité d'ArianeGroup qui devrait faire son premier vol en 2022. Il nous garantira un accès autonome et pérenne à l'Espace. Nous le savons, Ariane 6 devra faire face à une concurrence internationale féroce, notamment de SpaceX, mais aussi à des opportunités nouvelles avec l'augmentation sans précédent du nombre de satellites à lancer dans la décennie à venir avec le développement des constellations. Ariane 6 doit devenir le lanceur naturel du marché institutionnel européen dans la gamme des missions lourdes et moyennes, comme Vega-C le sera pour les petites missions. Au-delà d'Ariane 6, il est essentiel de préparer, dès aujourd'hui, la génération suivante des lanceurs dont la première brique sera le moteur réutilisable à bas coût Prometheus. Avec nos partenaires, nous devons nous réinventer pour préparer

le futur des lanceurs, c'est l'une des très grandes priorités des prochaines années.

La militarisation croissante de l'Espace doit faire l'objet d'une attention constante de notre établissement. La France doit être en mesure de conserver sa liberté d'accès et sa liberté d'action dans l'espace en assurant une protection et une résilience des moyens spatiaux critiques, en décourageant et en mettant en échec tout acteur tiers hostile. La ministre des Armées a défini une stratégie spatiale de défense en 2019 à la demande du Président de la République. La mise en œuvre de cette stratégie sera une priorité claire du CNES.

Le renforcement du rayonnement scientifique doit rester au cœur des objectifs du CNES, car les programmes scientifiques spatiaux permettent d'observer la Terre, de recueillir et d'analyser des données, et de nourrir ainsi les modèles pour comprendre des phénomènes physiques complexes. Ils nourrissent directement les travaux sur le climat, la biodiversité, les risques naturels, les ressources agricoles et hydriques, etc. Sur les 50 variables essentielles retenues par l'ONU pour mesurer l'évolution du climat, 26 sont directement issues d'observations satellitaires ! Le spatial est donc un moyen décisif pour contrôler le respect des accords internationaux et de notamment celui de Paris. Les « One Planet Summit » initiés par le Président de la République sont des points de rendez-vous réguliers auxquels le CNES contribue intensément. En matière d'exploration, nous sommes à la croisée des chemins avec la fin annoncée de l'exploitation scientifique de la station spatiale internationale et de nouvelles opportunités de coopérations dans un contexte où malheureusement les dissensions géopolitiques deviennent plus marquées. L'Europe et la France ont, à mon sens, un rôle à jouer pour faire prendre conscience que les objectifs universels de l'exploration spatiale dépassent les frontières des Etats.

Après 60 ans d'une magnifique histoire remplie de succès au service de notre pays, de l'Europe et de la science, le CNES est donc rempli d'énergie et de volonté pour affronter les défis et les ruptures des prochaines décennies. ■

PRÉFACE

LES 220 ANS DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

par **Olivier Mousson**, président de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale

Pour une Renaissance Industrielle de la France

La France fête cette année le bicentenaire de la mort de Napoléon Bonaparte. Si cette commémoration a fait polémique, le bilan de son règne n'en est pas moins important, notamment dans le domaine économique, puisqu'il a permis à notre pays de rentrer dans l'âge moderne. Dans son héritage, il y a la création de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, première association française, qui a eu une influence notable dans le développement industriel de la France au XIXe siècle.

Il y a 220 ans, après la décennie révolutionnaire, l'administration, les finances, l'enseignement et l'économie en France sont à bout de souffle. L'Angleterre notre grand concurrent a commencé sa révolution industrielle.

Soucieux de relancer l'économie française et passionné par les sciences, Bonaparte orchestre une stratégie de reconquête du savoir technique français. C'est tout naturellement qu'il apporte un large soutien en 1801 à la création de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, par un groupe de savants, de hauts fonctionnaires, d'experts techniques, d'industriels et d'hommes d'affaires, avec pour premier président, le grand chimiste et industriel, Jean-Antoine Chaptal, alors ministre de l'Intérieur sous le Consulat.

L'association s'est donnée pour missions originelles de créer un dispositif d'intelligence économique par l'observation des découvertes scientifiques et de l'organisation industrielle de nos concurrents, et de diffuser les nouvelles techniques et leurs applications. Son Bulletin,

paru dès 1802, a été un instrument majeur d'information technique et industrielle au XIXe siècle en France et dans le monde.

Depuis cette époque, sous la présidence de grands savants comme Louis-Jacques Thénard, Jean-Baptiste Dumas ou Edmond Becquerel, d'ingénieurs éminents comme Henry Le Châtelier, Louis Pineau ou Albert Caquot, la Société d'encouragement a toujours eu l'ambition de soutenir le développement économique national, en valorisant les procédés et les produits les plus innovants de leur temps, ainsi que les hommes qui en sont les promoteurs.

Incontestable acteur du financement et de la promotion de l'innovation, reconnue d'utilité publique en 1824, elle a contribué au développement du métier à tisser (Jacquart), du moteur à explosion (Beau de Rochas), de la photographie (Niepce et Daguerre), de l'ampoule à incandescence (Claude), du cinématographe (les frères Lumière) Etc. Elle a soutenu financièrement les travaux de Tellier et Appert, Pasteur, Christofle, Pierre et Marie Curie, etc.

Elle a également pris part au fil des ans aux décisions concernant les chemins de fer, la construction navale, l'organisation des brevets d'invention, la conception de la normalisation. Elle a posé ainsi les premiers jalons de la propriété industrielle. Elle peut ainsi être considérée comme l'ancêtre de la Banque publique d'investissement, du Laboratoire national d'essai et de l'Institut national de la propriété industrielle.

Proche des écoles des Arts et Métiers et de l'École centrale, la société a stimulé le développement des formations d'ingénieurs.

Elle s'est efforcée d'honorer et de faire reconnaître ceux qui entreprennent, innovent et font progresser l'industrie et l'économie, rendent les services les plus éminents dans ces domaines, et qui se distinguent par leur dynamisme, leur audace, et leur créativité pour le bénéfice du plus grand nombre : De Lesseps, Gramme, D'Arsonval, Solvay, Lalique, Curie, Breguet, De Broglie, etc. Elle continue de le faire aujourd'hui à travers les Prix Chaptal et Montgolfier. Michelin, Dassault, Bellon, Fabre, Bouygues, Bolloré, etc. sont honorés de sa plus haute distinction.

Aujourd'hui, la Société d'encouragement s'inscrit toujours dans une démarche de réflexion, d'échanges et de transmission. Elle organise des rencontres et des colloques pour mettre en valeur les pratiques émergentes et les technologies prometteuses et resserrer les liens entre scientifiques et entrepreneurs.

Elle développe des partenariats autour de réflexions et de manifestations correspondant à sa mission et ses valeurs. C'est ainsi que la 3AF et Alumni-ONERA ont organisé en partenariat avec la Société d'encouragement plusieurs conférences : Table ronde Espace, Les enjeux dans le secteur aéronautique spatial et défense, Mystères et énigmes de l'aéronautique en 2020, et également des colloques historico-industriels : Henri Potez en 2020, Le futur de l'aérostation et des dirigeables en l'honneur d'Albert Caquot, en 2021.

Elle marque en 2021 son 220ème anniversaire en inscrivant sa stratégie dans la valorisation d'une renaissance industrielle durable, avec l'appui de la Banque des territoires et souhaite jouer un rôle actif dans la valorisation et le partage des initiatives industrielles en faveur du développement économique, social et environnemental des territoires dans les Régions.

Elle réaffirme son soutien à l'artisanat, partie prenante de la réindustrialisation et du rayonnement de la France, notamment auprès des entreprises du Patrimoine vivant et des Maîtres d'art et leurs élèves.

Enfin, elle continue d'œuvrer pour la valorisation et la promotion du patrimoine technique et industriel en mettant à disposition des chercheurs ses fonds historiques et en organisant des conférences et des expositions, notamment dans le cadre des journées européennes du Patrimoine.

www.industrienationale.fr
www.renaissanceindustrielle.fr ■

INTERVIEW

ERICK MAILLET, VICE-PRÉSIDENT DE L'UIMM HAUTS-DE-FRANCE

par **Jean-Yves Guedou** (avec l'appui d'**Eric Deletombe**)

Erick Maillet, Ingénieur Arts et Métiers, spécialité mécanique des fluides (a participé au CNRS à la modélisation des flux d'air dans les éoliennes). A démarré sa carrière chez TAT Express, plateforme d'Orly. Fondateur de la Société AQL Electronique, spécialisée dans la fabrication d'équipements électroniques de commande et de sécurité pour aéronefs, membre du Gifas, 150 salariés. Vice-Président de l'UIMM Hauts de France (120 000 salariés), chargé de promouvoir les métiers de la métallurgie.

Photo EMA © Teddy Henin-2063

Jean-Yves Guedou : Quelle est l'origine, quelles sont les raisons de la genèse du projet de filière aéronautique, Aér'Hauts-de-France, dont l'Union des industries et métiers de la métallurgie (UIMM) Hauts-de-France est un acteur important?

Erick Maillet : Les raisons en sont simples et pragmatiques. Cette genèse fait suite au constat par les services de l'État (la Direccte devenue Dreets), et ce dès 2015, qu'il existait de nombreux pionniers de l'aéronautique dans les Hauts-de-France (frères Caudron, Potez, etc.), et pas uniquement en Picardie où existait déjà une multitude d'entreprises du secteur aéronautique, rassemblées au sein du Pôle hydraulique et mécanique d'Albert (PHMA). Ces entreprises des Hauts-de-France étaient peu identifiées et mal connues. Xavier Bertrand, alors président de la région Hauts-de-France, friand de haute technicité et de modernité économique, était naturellement sensible à ce secteur technologique de pointe. Cet intérêt rencontrait également celui des services de l'état en région.

Le président de la nouvelle région Hauts-de-France et la Direccte sollicitèrent rapidement les principaux acteurs, dont l'UIMM Hauts-de-France, pour fédérer cette filière. Il n'y avait là rien de vraiment nouveau (le comité de filière se réunissant régulièrement à l'initiative de la Direccte), mais l'objectif étant d'étendre le périmètre de ce dernier à l'ensemble de la nouvelle région, d'organiser la filière d'en augmenter la visibilité nationale et internationale et de coordonner les acteurs en soutien à la filière. Il fut soutenu dans ce projet par des personnalités régionales du secteur, en particulier Olivier Dassault (député de l'Oise). La marque Aér'Hauts-de-France fut donc créée et dévoilée à l'occasion du Salon international de l'aéronautique et de l'espace du Bourget 2019. Comme toute marque, son objectif est de porter l'effort de communication, et de servir de relais aux diverses entreprises constituant la filière.

Vous êtes le référent Industriel du comité de filière Aér'Hauts de France : quelle est la tâche de ce comité et quel est le rôle du référent ?

Erick Maillet : L'action première du référent du Comité est de porter la voix des industriels dans les différents réseaux organisés de la région (industries métallurgiques et mécaniques, chambres de commerce, etc), ceci afin de faire progresser la filière sur différents volets participant de sa structuration : formation, performance économique, recherche, et agrégation/intégration des différentes visions. Cette action s'inscrit dans le temps long de l'économie, dépassant bien évidemment celui du politique. Un chiffre : en région Hauts-de-France le secteur de l'industrie manufacturière représente 18% des emplois salariés, et un emploi industriel génère 3 emplois hors-industries.

Quels sont les points forts de l'industrie aéronautique des Hauts-de-France ? En quoi ces entreprises sont-elles stratégiques pour l'avenir de l'aéronautique nationale et européenne ?

Erick Maillet : L'UIMM Hauts-de-France considère que le secteur aéronautique doit jouer en région un rôle pilote, ou du moins moteur pour les industries métallurgiques et mécaniques, en raison de sa stratégie d'avenir tournée vers l'excellence, déclinée à partir des lignes très claires du GIFAS. L'aéronautique peut ainsi clairement tirer vers le haut l'ensemble des industries de ces différents secteurs, et doit donc, à l'image de ce qui se fait au niveau national, être absolument protégée en attendant la sortie de crise, pour tout ce qu'il représente : attractivité pour les jeunes envers les métiers de la métallurgie et de la

mécanique, volume d'exportation de biens manufacturés, et développement de compétences et de savoir-faire d'avenir, non seulement individuels, mais aussi et surtout collectifs. Aujourd'hui, grâce au soutien important de l'État (surtout via les investissements d'avenir) l'effort de sauvegarde a porté ses fruits : les structures industrielles aéronautiques de base sont intactes et prêtes à redémarrer, quand bien même la relance – plus précoce que prévue - devra encore attendre un peu (1er signe : Airbus a annoncé vouloir augmenter ses cadences dès la fin 2021).

Comment cela se conjugue-t-il avec les industries mécaniques des Hauts-de-France (automobile et ferroviaire) ? Quelles synergies peut-on mettre en mouvement avec ces autres branches de l'UIMM ?

Erick Maillet : Le secteur ferroviaire est en bonne santé en Hauts-de-France, mais les synergies avec l'aéronautique ne sont pas simples à trouver pour autant : les possibilités de transfert de postes ont été étudiées (sur quelques niches métiers, comme la maintenance), mais se sont soldées par peu de résultats. De même avec les autres industries de la métallurgie et de la mécanique bien installées en région (automobile, nucléaire, etc.). En effet, les questions d'excellence et de maîtrise des processus, seules, ne peuvent gommer d'autres contraintes fortes, en termes d'exigences ou de normes, propres à chacun de ces secteurs.

Les synergies à rechercher sont donc moins directes, d'une autre nature, mais surtout plus profondes. Elles relèvent selon moi de deux lignes directrices :

- des besoins de base identiques en termes de formation professionnelle, conduisant aux mêmes « profils » d'emplois, très recherchés,
- une nécessité impérieuse de progresser rapidement vers une industrie propre et économe en énergie.

Sur ce dernier point, il est indispensable de soutenir les opérateurs de recherches & développements pour accélérer la transition vers une industrie dé-carbonée, le recours aux sources d'énergies nouvelles (en particulier les biocarburants, bien placés en hauts-de-France, mais aussi l'hydrogène). Je suis convaincu du rôle que les chambres de commerce et d'industrie peuvent avoir en ce sens.

Quelles sont les perspectives pour le futur ? A court terme, à la sortie de la crise sanitaire et économique actuelle et à plus long terme ?

Erick Maillet : A court-terme, retrouver de l'optimisme et de la confiance dans l'avenir du secteur, avec Airbus par exemple, qui annonce vouloir augmenter ses cadences dès 2021 ! A plus long terme, se concentrer sur les perspectives fixées par le gouvernement, en particulier l'avion vert, et les ambitions techniques associées. Un autre enjeu, qui pourrait sembler moins primordial, est selon moi essentiel : celui de la digitalisation massive avec en corollaire le développement et l'application généralisée de l'intelligence artificielle à toutes les étapes et composantes du système aérien, de la conception (fabrication additive) à l'exploitation des avions, de la maintenance à la gestion des infrastructures physiques (aéroports) et immatérielles (espace aérien). Tout ceci aboutissant à l'optimisation globale des ressources de toutes natures, en tenant compte en temps réel des nombreuses contraintes (météorologiques, opérationnelles, etc), ceci étant potentiellement source d'économies d'énergie extrêmement importantes. Comme dans beaucoup d'autres domaines, l'intelligence artificielle sera probablement un accélérateur spectaculaire de la transformation de l'industrie aéronautique et plus globalement du transport aérien.

Quelques mots de conclusion ?

Erick Maillet : Les Hauts-de-France sont une terre d'histoire aéronautique, et comptent bien le rester. Les industries régionales ont su s'adapter aux transformations régulières de ce secteur, depuis l'origine. La crise sanitaire et économique a certes révélé des faiblesses, dans un secteur et une économie clairement globalisés, et elle nous a alertés sur le fait qu'il était nécessaire et urgent d'accélérer notre propre transformation, d'anticiper l'avenir. Une nouvelle page de l'aventure aéronautique, qui sera collective, est sur le point de s'écrire. Les Hauts-de-France comptent bien en être. ■

INTERVIEW

ALINE DOYEN, PRÉSIDENTE D'ALTYTUD

par **Eric Deletombe**, président du Groupe régional 3AF Hauts-de-France

Aline DOYEN dirige la société SOMEPIC, société spécialisée en mécanique de précision aux services de secteurs de pointe, tels que l'aéronautique et la défense. Depuis quelques années, elle préside le cluster Aéronautique régional ALTYTUD avec pour principal dessein, la promotion des savoir-faire des industriels et le rayonnement de la filière aéronautique Hauts-de-France, trop souvent méconnue aux échelles nationale et internationale.

Eric Deletombe : Présentez-nous en quelques mots ALTYTUD, son histoire, ses membres (principaux profils : produits/métiers, positions dans la chaîne de valeurs, des start-ups ?)

Aline Doyen : ALTYTUD nouveau nom depuis 2018, du cluster aéronautique des Hauts-de-France – connu auparavant sous le nom de Pôle Hydraulique et Mécanique d'Albert (PHMA), est en fait né en 1993, de la volonté des industriels du territoire de se rapprocher et de travailler ensemble. Le cluster a évolué au fil des ans vers le secteur aéronautique – secteur d'activité régional important (10 000 emplois concernés à ce jour) méconnu à l'échelle nationale. En une phrase : « ALTYTUD contribue au rayonnement de la filière aéronautique régionale et au renforcement des projets portés par les industriels qui la composent ». ALTYTUD regroupe plus de 70 adhérents (près de 80% d'industriels et plus précisément de chefs - et cadres dirigeants - d'entreprises, mais aussi des acteurs de la formation et de l'enseignement, des cabinets de consultation, etc.), dont les compétences offrent un panel de savoir-faire complémentaires répondant aux besoins de l'ensemble des acteurs de la filière aéronautique. En parallèle, des partenariats sont initiés avec les acteurs de la recherche et de l'enseignement (UTC – UPJV – ONERA – ELISA AEROSPACE – INDUSTRILAB – POLYTECH'LILLE) afin de permettre la captation de nouveaux marchés et d'attirer les talents auprès d'industriels dynamiques.

Quelles sont selon vous les forces et les faiblesses, les opportunités et les menaces qu'ALTYTUD se doit de considérer aujourd'hui pour définir son action auprès de ses membres ?

Aline Doyen : Notre première force est d'être toujours au plus près de nos adhérents au travers de nos rencontres proposées sur un rythme soutenu (1 fois par mois) – qui leur permettent d'exprimer et d'expliquer régulièrement les sujets opérationnels qui les préoccupent - ce qui nous permet de bien les appréhender, de définir avec eux, et de déployer les actions qui en découlent. ALTYTUD est en région le relais officiel du GIFAS, haut représentant de la filière aéronautique au niveau national et international, interlocuteur direct de Bercy. Nos autres forces reposent sur la diversité de nos membres, la proximité et la qualité des liens créés entre eux grâce à nos rencontres régulières et conviviales. L'écoute et le dialogue, la compréhension mutuelle constituent le ciment qui rend l'action collective non seulement possible, mais également efficace.

Notre principale faiblesse réside incontestablement dans la taille des entreprises qui composent la filière régionale, souvent trop modeste. Elle est également pour une grande part constituée de sous-traitants, que certains peuvent juger mal positionnés dans la chaîne de valeur au regard de la globalisation mondiale du secteur, avec un déficit de capacités en recherche et développement (R&D), et une culture de l'innovation presque uniquement tirée par la question de la performance industrielle. Enfin, la filière aéronautique des Hauts-de-France reste malgré tout trop morcelée, d'où l'impérieux besoin de se consolider, de se rapprocher et de travailler ensemble (à l'échelle nationale, avec le GIFAS).

La situation actuelle du secteur aéronautique est incontestablement porteuse de sérieuses menaces, directement liées aux faiblesses évoquées précédemment, avec le risque pour parer à l'urgence de l'entrée dans une spirale de descente dans la chaîne de valeur, entraînant perte de marge, puis progressivement de compétitivité. Mais cette situation est également source d'opportunités rarement rencontrées depuis des décennies : grâce à leur taille et à l'agilité qui en découle, les acteurs les plus menacés – dans la mesure où ils seront bien accompagnés - sont en mesure de se positionner sur de nouveaux marchés et nouveaux produits (une commission innovation a été créée en 2021 pour identifier les opportunités, et répondre à d'éventuels appels d'offre de façon collaborative), en répondant aux nouveaux besoins des donneurs d'ordre, et à leurs nouvelles et ambitieuses feuilles de route. Le plan de relance aéronautique permettra aux

membres (en particulier les PME-ETI, que nous incitons à postuler, et dont nous accompagnons étroitement le montage de dossier) lauréats, d'investir dans de nouveaux outils industriels (technologies digitales, moyens de fabrication, etc.), c'est-à-dire d'accélérer leur évolution pour certains, mais aussi l'initier pour d'autres. ALTYTUD non seulement porte la bonne parole (merci d'ailleurs de nous y aider grâce à cette lettre), mais propose également ses services à tous les membres du club.

Quelles sont vos relations avec Stelia Aerospace, ou d'autres donneurs d'ordre (à l'échelle régionale, nationale, internationale) ? Quelles sont-elles avec la Région Hauts-de France et ses diverses composantes (vos interlocuteurs privilégiés) ?

Aline Doyen : En région Hauts-de-France, ALTYTUD est naturellement connu du fait de sa longue histoire L'établissement. STELIA Aerospace de Méaulte en est adhérent depuis l'origine, et les relations avec cet important acteur régional sont excellentes. Stelia Aerospace tient un rôle majeur au sein d'ALTYTUD, notamment aux titres de son envergure internationale et de son investissement auprès des autres industriels régionaux. D'autres grands noms du secteur sont également membres du cluster : Dassault Aviation par exemple Thalès, etc. La complémentarité des savoir-faire des industriels régionaux commence à susciter l'intérêt des donneurs d'ordres aéronautiques au-delà des frontières de la région (industriels, mais aussi les autres « clusters » des régions Ile de France et Normandie et cela grâce au GIFAS (grâce à qui l'évolution de la crise actuelle a pu être gérée en temps réel, dès juin 2020). ALTYTUD a accueilli dans ce cadre une première réunion des clusters aéronautiques régionaux. Plusieurs grands-comptes sont ainsi intervenus auprès des membres pour présenter leurs enjeux : SAFRAN Aircraft Engines, MBDA, ARIANE Group, AIRBUS Interiors & AIRBUS Helicopters le dernier en date. D'autres échanges ont enfin été initiés avec nos voisins belges.

Pour ce qui concerne le Pays du Coquelicot (notre partenaire depuis plus de 25 ans), la région (avec des relations privilégiées avec HDFiD, l'agence Hauts-de-France Innovation Développement (HDFiD), son service filière et la direction d'appui aux entreprises et les services de l'état en région (Dirrecte, devenue Dreets), nous travaillons en étroite collaboration sur la définition et le montage de projets moyens-longs termes, structurants pour la filière.

Par rapport aux mesures immédiates de sortie de crise, mais aussi aux grandes manœuvres pour l'industrie aéronautique faisant suite à la crise actuelle, comment se positionne l'action d'ALTYTUD ? Quels sont les défis, les priorités ? Quelles solutions sont à l'étude pour aider les PME-ETI en difficultés ?

Aline Doyen : Les actions directes que nous menons auprès de/avec nos membres consistent principalement dans le contexte actuel, à aider les industriels à constituer leur dossier de candidatures aux aides et dispositifs de relance de la filière (régionaux, nationaux et européens), à chercher des pistes de diversification sectorielle voire de mises à disposition de personnel (programme « Mobility », avec le secteur ferroviaire régional), et bien sûr à chercher de nouveaux marchés et clients aéronautiques hors région Hauts-de-France (grâce aux nombreux contacts établis par ALTYTUD, pour faire connaitre la filière aéronautique régionale, et réciproquement). ALTYTUD propose également un accès mutualisé à certains services (plateformes d'appels d'offre, d'informations contextuelles, etc.), voire opère ces services en amont pour en faciliter l'usage. Comme brièvement évoqué précédemment, le dernier service élaboré par ALTYTUD consiste en la création d'une « Commission innovation », à géométrie et périmètre variable, en réponse à l'injonction faite au secteur d'innover pour sortir de la crise : son objectif – encore une fois grâce à des rencontres régulières, clé de voute de la « méthode » ALTYTUD - n'est pas uniquement d'identifier des consortiums de partenaires en mesure de répondre collectivement à de nouveaux besoins exprimés par des donneurs d'ordre, mais également d'accompagner collectivement et progressivement les membres les moins bien armés sur le chemin vertueux de l'innovation, chemin qui ne coule pas de source pour nombre de partenaires PME.

En conclusion, le décompte des conséquences de la crise ne peut pas encore être fait, en premier lieu parce qu'elle n'est pas encore dernière nous, et ALTYTUD se doit de poursuivre son programme opérationnel de proximité et d'accompagnement, un programme construit avec et pour ses membres. Ils sont reconnus en leur qualité de manufacturiers industriels détenant un savoir-faire de très haut niveau. Notre responsabilité est de préserver notre ADN originel, c'est-à-dire un partenariat de terrain, travaillant sur des sujets concrets et opérationnels, et parlant d'une seule voix quand cela devient nécessaire, ceci grâce aux relations interpersonnelles construites au sein de l'association sur le temps long. ■

POINT DE VUE

CAP'INDUSTRIE

par **Sophie Perret-Ducray**, chef de projet filières et développement économique, CAP'INDUSTRIE

Cap'Industrie est l'association au service du développement industriel en Hauts-de-France. Elle accompagne les entreprises de la mécanique métallurgie des Hauts-de-France dans leur développement autour d'un programme d'actions commun à la CCI Hauts-de-France, le CETIM, la FIM et l'UIMM Hauts-de-France.

Cap'Industrie est l'association au service du développement industriel en Hauts-de-France. Elle accompagne les entreprises de la mécanique métallurgie des Hauts-de-France dans leur développement autour d'un programme d'actions commun à la CCI Hauts-de-France, le CETIM, la FIM et l'UIMM Hauts-de-France.

L'industrie a entamé une profonde mutation avec l'intégration des évolutions technologiques et numériques. C'est un secteur qui se réinvente sans cesse pour rester compétitif, évoluer vers une économie décarbonée, mettre l'innovation au service des besoins fondamentaux des humains.

Avec 250 000 emplois en Hauts-de-France, dont plus de 120 000 dans le secteur de la mécanique - métallurgie, l'industrie est essentielle à la dynamique des territoires. Elle génère des emplois pérennes, stimule le pouvoir d'achat et développe des structures nouvelles. C'est le cercle vertueux de l'industrialisation des territoires : un emploi industriel génère 3 emplois dans l'économie. Cap'Industrie agit, en lien avec ses partenaires en faveur du déploiement de l'industrie en Hauts-de-France.

Avoir des projets structurants pour assurer son développement et sa pérennité, renforcer son agilité stratégique face à la complexité et l'instabilité de son environnement, anticiper et arbitrer ses scénarios de développement, adopter un management inventif pour mobiliser sur la dynamique de changement, s'ouvrir à de nouveaux marchés, faire évoluer ses équipes, moderniser son entreprise par l'innovation, faire de nouveaux choix technologiques ou encore trouver des moyens de financement... autant de défis auxquels les industriels sont confrontés !

Lancement de la marque Aer'Hauts-de-France, Salon international de l'aéronautique et de l'espace de Paris-Le Bourget – Juin 2019

L'aéronautique en Hauts-de-France a dévoilé de nouveaux atouts lors du 53ème Salon international de l'aéronautique et de l'espace du Bourget. Infrastructures en pleine mutation, lancement de la marque «Aér'Hauts-de-France», les entreprises aéronautiques de la région poursuivent leur décollage.

Cap'Industrie a contribué au déploiement du collectif Aer'Hauts-de-France destiné à promouvoir et accompagner la filière aéronautique en Hauts-de-France.

Cap'Industrie coordonne un programme complet de développement économique des entreprises de la mécanique-métallurgie défini selon 6 axes :

Stratégie, performances et innovation
Répondre aux enjeux d'évolution stratégique en donnant de la vision en dynamique, accompagnant le dirigeant et en structurant les groupements ou alliances d'entreprises.

Marchés
Permettre aux entreprises de la filière d'avoir un accès permanent, organisé, facilité, à l'information technologique (produits, process, matériaux) et économique (marchés, concurrence)

Développement
Couvrir un maximum de problématiques soulevées par les industriels afin de leur permettre de monter plus facilement en compétence et donc de gagner en compétitivité.

Innovation
Coordonner et faciliter, avec l'appui des agences à l'innovation, l'innovation en entreprise en détectant et en accompagnant les projets d'innovation ou encore en structurant des plateformes de découverte technologique.

Financement
Aider les entreprises confrontées à des problématiques de financement en mettant en place des outils permettant aux chefs d'entreprises de résoudre ces problèmes.

Emploi industriel
Accompagner les entreprises dans le développement des compétences indispensables à leur compétitivité.

http://www.cap-industrie.fr/ ■

POINT DE VUE

AÉR'HAUTS-DE-FRANCE, UNE MARQUE POUR FAIRE CONNAÎTRE ET RECONNAÎTRE LA FILIÈRE AÉRONAUTIQUE DES HAUTS-DE-FRANCE

par **Ludivine Deloux**, directrice opérationnelle chez i-Trans (Pôle de compétitivité)

UN COLLECTIF AU SERVICE D'UNE FILIÈRE STRATÉGIQUE POUR LE TERRITOIRE

Lancée en juin 2019 sur le Salon international de l'aéronautique et de l'espace de Paris-Le Bourget, la marque Aér'Hauts-de-France entend faire connaître et reconnaître la filière aéronautique régionale au travers d'un collectif d'acteurs. Ces acteurs sont multiples. Au premier rang figurent bien évidemment les industriels. Quant au second cercle, il regroupe les structures qui les accompagnent. Il s'agit notamment de Cap'industrie, du cluster Altytud, de la CCI Hauts-de-France, du CETIM, de la Direccte, HDFID, du pôle de compétitivité i-Trans, de Nord France Invest, de l'ONERA, de Transalley, de l'UIMM Hauts-de-France.

Porté et coordonné par le Conseil régional des Hauts-de-France, la CCI Hauts-de-France et Cap'Industrie, ce collectif a défini ensemble les orientations et élaboré un programme d'actions concrètes autour de quatre thématiques :

- emploi et compétences,
- performance industrielle,
- recherche & développement & innovation (R&D&I), coordonnée par le pôle de compétitivité i-Trans,
- internationalisation.

Cette démarche régionale se coordonne avec la stratégie nationale de filière aéronautique menée par le Groupement des industries françaises aéronautique et spatiales (GIFAS).

Contact : Nicolas FIEVET, chef de projets Industrie, CCI Hauts-de-France, n.fievet@hautsdefrance.cci.fr

130 ENTREPRISES EMPLOYANT PRÈS DE 10 000 PERSONNES DANS LES HAUTS-DE-FRANCE

La filière aéronautique régionale, structurée autour de la marque Aér'Hauts-de-France, est composée de 130 entreprises qui emploient près de 10 000 personnes. Parmi ces entreprises, figurent 34 sous-traitants d'envergure européenne et 6 leaders internationaux que sont Stelia Aerospace, SKF, Dassault, Thales, SAFRAN, AD Industrie.

Afin d'appréhender au mieux cette filière, le collectif régional a d'ailleurs établi une cartographie mise à jour chaque année.

Contact : Sophie PERRET DU CRAY, chef de projet filières et développement économique, Cap'industrie, sperretducray@cap-industrie.fr

LA THÉMATIQUE « RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT & INNOVATION »

Coordonnée par le pôle de compétitivité i-Trans, cette thématique R&D&I réunit le CETIM, HDFID, l'ONERA, la CCI Hauts-de-France, Cap'Industrie et le Conseil régional.

Avec ces acteurs et en cohérence avec les autres thématiques (emploi-formation, performance industrielle, international), la définition du périmètre R&D&I s'est traduite par l'élaboration d'une mise en exergue de services complémentaires couvrant 2 champs :

- La veille dont le thème est développé ci-après.
- La réflexion pour la structuration d'un accompagnement à l'innovation (management, process, produit) en s'articulant avec les thèmes majeurs déployés par l'ONERA, le CETIM et leurs partenaires académiques ; citons notamment :
  - l'amélioration des performances des aérostructures,
  - la sécurité de fonctionnement,
  - le développement d'outils et méthodes numériques,
  - l'aviation décarbonée,
  - la réduction des coûts de fabrication et maintenance,
  - l'industrie 4.0.

Contact : Ludivine DELOUX, directrice opérationnelle, i-Trans, ludivine.deloux@i-trans.org

POINT DE VUE

AÉR'HAUTS-DE-FRANCE, UNE MARQUE POUR FAIRE CONNAÎTRE ET RECONNAÎTRE LA FILIÈRE AÉRONAUTIQUE DES HAUTS-DE-FRANCE

UNE LETTRE DE VEILLE « RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT & INNOVATION » POUR RÉPONDRE AUX BESOINS DES ENTREPRISES

Au regard d'une enquête réalisée auprès des entreprises de la filière et ce, préalablement à la mise en place du collectif Aer'Hauts-de-France, sont ressortis l'intérêt et le besoin de disposer d'une veille.

Matérialisée par une lettre numérique trimestrielle adressée à 200 contacts, majoritairement industriels, parties prenantes du secteur aéronautique, nous en sommes à la 4ème diffusion (juin 2021) et les productions sont également disponibles sur le site https://www.aer-hautsdefrance.fr/ du collectif.

Les informations sont structurées par chapitre : actualités, aviation du futur, digitalisation et industrie 4.0, aviation décarbonée, aviation du futur, appels à projets-financements et partenariats.

PROCHAINS ÉVÈNEMENTS

Le 28 septembre 2021 chez MATRA en coordination avec Aér'Hauts-de-France, Cap'industrie et le ministère des armées, un événement de présentation des opportunités de business aéronautique avec le ministère des armées à destination des industries manufacturières. Au programme : rencontrez les acheteurs du ministères des armées, découvrez les achats de la maintenance en condition opérationnelle aéronautique, écoutez les témoignages de donneurs d'ordres et de PME répondant à ces marchés, visitez les ateliers de Matra électronique et échangez lors du cocktail avec les intervenants et acheteurs.

Contact : Sophie PERRET DU CRAY, Cap'Industrie, sperretducray@cap-industrie.fr ■

INDUSTRIALISATION

ACMO - *Therdonne*
ACTEMIUM - *Amiens*
ADDITEK - *Moreuil*
ADEL - *Ambleville*
APB - AFFUTAGE DE PRÉCISION DE LA BRESLE - *Beauchamps*
AQUIARESE - *Douvrin*
ASCODERO PRODUCTIQUE - *Bray-sur-Somme*
BLONDEL AÉRO LOGISTIQUE - *Méaulte*
DEMBIERMONT FORGITAL - *Hautmont*
FINOSTA - *Sars-et-Rosières*
FIVES MACHINING - *Albert*
GÉNÉRALE DE SUIVI PROCESS - *Bray-sur-Somme*
GROEBLI - *Soissons*
GTMI GROUP TOLERIE MÉCANIQUE INDUSTRIELLE - *Méaulte*
IONBOND - *Berthecourt*
ISAERT - *Anizy-le-Château*
ISOLECTRA - *Estrées-Deniécourt*
LAMORY ET WALD - *Saint-Quentin*
LAROCHES INDUSTRIES - *Méaulte*
LBS - *Villers-sur-Coudun*
MANUBOB INDUSTRIE - *Neuville-en-Ferrain*
MUSTHANE - *Willems*
N-ÉTUDES BOULEFROY - *Soissons*
PICARDIE CABLAGE - *Méaulte*
PRODESS - *Méaulte*
PRODESS - *Templemars*
SACI INDUSTRIES - *Raillencourt-Sainte-Olle*
SEALICONE - *Wambrechies*
TOUR EQUIPEMENT - *Ferrières*
VELA INDUSTRIES - *Ferrière-la-Grande*
VIP GROUPE MECA - *Tergnier, Condren*

PIÈCES AVIONNÉES

ACES - *Senlis*
AP EXTRUSION - *Montataire*
AQLE - *Saint-Just-en-Chaussée*
ARES TECHNOLOGIES - *Beauvais*
BCF-MKM - *Cuffies*
BETRANCOURT - *Albert*
BETRANCOURT AEROSPACE DIVISION MAINTENANCE - *Méaulte*
BOA FLEXIBLE SOLUTION - *Fère-en-Tardenois*
BODYCOTE - *Neuilly-en-Thelle*
BONATRE - *Courcelles-lès-Gisors*
BORFLEX (EX. CAFAC BAJOLET) - *Hermès*
BRM INDUSTRIE - *Creil*
BRONZE ALLOY - *Bomel*
CAOUTCHOUC MANUFACTURE DE L'OISE - *Villers-Saint-Paul*
CMP (CONSTRUCTION MÉCANIQUE DE PRÉCISION) - *Creil*
DASSAULT AVIATION - *Seclin*
DELTECH SARL - *Roubaix*
DESAILLY - *Bouzincourt*
DRAKA FILECA - *Sainte-Geneviève*
DUBUS - *Frivalle-Escarbotin*
DUPERRIER INDUSTRIE - *Pinon*
DUPUIS MÉCANIQUE - *Annezin*
EOLANE RONCQ - *Roncq*
ETS E.BOURGEOIS - *Dommartin*
FEDERAL MOGUL SYSTEMS PROTECTION - *Crépy-en-Valois*
FIGEAC AERO PICARDIE - *Méaulte*
FILETAGES INDUSTRIES - *Bomel*
FLOMECA - *Villers-en-Cauchies*
GROUPE LORENTZ - *Bomel*
GUARESKI - *Frivalle-Escarbotin*
HEUILLE ET FILS - *Saint-Amand-les-Eaux*
HUTCHINSON/JPR - *Amiens*
INDUXIAL - *Albert*
LAIGNEL SLFP - *Albert*
LES STRATIFIES STRATIVER - *Crépy-en-Valois*
MATRA ÉLECTRONIQUE - *Le Crois-Saint-Ouen*
MERCACHROME NORMATEC - *Bully-les-Mines*
MERSEN - *Amiens*
MS COMPOSITES - *Liévin*
NC MACHINING - *Lens*
NEOAX INDUSTRIES - *Fleurines*
NEXANS - *Paillard*
PINET - *Chaulnes*
PRECYDRO - *Albert*
PRODUCTION EVRA - *Creil*
PRONAL - *Leers*
PYROMERAL - *Barbery*
RAFAUT - *Rouvignies*
RDO SPRINGS - *Bresles*
SAFRAN (EX. ACC LA JONCHÈRE) - *Compiègne*
SAFRAN (EX. AERAZUR) - *Saint-Crépin-Ibouvillers*
SEGULA TECHNOLOGIES/SIMRA - *Albert*
SEICER - *Mouy*
SEPTEC - *Compiègne*
SF PRECISION - *Feuquières-en-Vimeu*
SGI SOCIÉTÉ DE GALVANOPLASTIE INDUSTRIELLE - *Villers-Cotterêts*
SIP (SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES PLASTIQUES) - *Mouy*
SKF AÉROENGINE - *Rouvignies*
SMOW - *Bresles*
SOCIÉTÉ D'EMBALLAGES EN CARTON ONDULÉ (GROUPE VALOIS) - *Fleurines*
SOMEPIC FINITION - *Bouzincourt*
SOMEPIC TECHNOLOGIE - *Bouzincourt*
SOVAIC - *Abbeville*
SPECITUBES - *Samer*
STELIA AEROSPACE - *Méaulte*
SUMA GROUP - *Albert*
TEC AUTOMATISMES - *Mouy*
THALES AVIONICS ELECTRICAL SYSTEM - *Méru*
USINAGE MÉCANIQUE DE L'AISNE - *Neuilly-Saint-Front*

SERVICES

ACTIV'ENGINEERING - *Valenciennes*
AD'HOC EXPERTS - *Valenciennes*
AEROLITHE GROUP - *Ermenonville*
AIRFLASH - *Glisy*
AIRFLEX INGÉNIERIE - *Beauvais*
AIRFOILS ADVANCED SOLUTIONS - *Sars-et-Rosières*
AMPCO INVESTISSEMENTS SAS - *Chauny*
APF - ASSOCIATION DES PARALYSÉS DE FRANCE - *Amiens*
ASTEELFLASH - *Mercin-et-Vaux*
BE AEROSPACE CONSUMABLE MANAGEMENT (SATAIR) - *Senlis*
BLONDEL AEROLOGISTIQUE - *Méaulte*
BOEING DISTRIBUTION SERVICES SAS - *Senlis*
CABLOG - *Beauvais*
CEFEND - *Valenciennes*
CEFF - *Compiègne*
CERIMA EQUIPEMENT - *Saint-Vaast-en-Chaussée*
CHEMETALL - *Villeneuve-Saint-Germain*
CIMES - *Valenciennes*
ERAS - *Le Meux*
ETIREX CHROMALOX - *Noyant-et-Aconin*
EUREP INDUSTRIES - *Creil*
EXPLÉO - *Valenciennes*
FERCHAU - *Valenciennes*
GERVOIS SA - *Pont-Rémy*
GRAVINDUS - *Bomel*
KATTAN AEROSERVICES - *Compiègne*
MC2 TECHNOLOGIES - *Sainghin-en-Mélantois*
MECASEM - *Valenciennes*
M&M MILITZER & MÜNCH FRANCE SA - *Hallun*
MMSI - *Valenciennes*
PARIS SAINT DENIS AERO - *Le-Plessis-Belleville*
PATI - *Hermès*
PEM POLYVALENTE D'ÉLECTRO-MÉCANIQUE - *Nogent-sur-Oise*
PICARD'AIR ESTRÉES - *EstréesMons*
RHESUS CONSULTING - *Valenciennes*
SERVICE AÉRO FRANCE - *Seclin*
SOPAVAL (SOPEMEA) - *Marly*
STTRATEN - *Valenciennes*
THYSSENKRUPP - *Méaulte*
TICN - *Villers-Saint-Paul*
UMANN - *Neuville-en-Ferrain*

CENTRE TECHNIQUE, ORGANISME DE RECHERCHE ET D'INNOVATION ET FORMATION

3AF (ASSOCIATION AÉRONAUTIQUE ET ASTRONAUTIQUE DE FRANCE), GROUPE RÉGIONAL HAUTS-DE-FRANCE - *Lille*
CETIM - *Senlis*
CODEM LE BATLAB - *Amiens*
CRITT POLYMÈRES - *Verneuil-en-Halatte*
ELISA AEROSPACE - *Saint-Quentin*
ENSIAME - *Valenciennes*
ESCOM - *Compiègne*
ESIEE - *Amiens*
IMT LILLE DOUAI - *Douai*
INDUSTRILAB - *Méaulte*
INERIS - *Verneuil-en-Halatte*
LE PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ I-TRANS (CLUSTER OF INNOVATION) - *Valenciennes*
ONERA (OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES AÉROSPATIALES) - *Lille*
PFT INNOVALTECH - *Saint-Quentin*
PROMEO - *Frivalle, Amiens, Beauvais, Compiègne, Senlis, Saint-Quentin, Soissons*
STEEVE SÉCURITÉ - *Verneuil-en-Halatte*
TRANSALLEY - *Valenciennes*
UNIVERSITÉ POLYTECHNIQUE HAUTS-DE-FRANCE - *Valenciennes*
UPJV - *Amiens*
UTC - *Compiègne*
VALUTEC - *Valenciennes*

POINT DE VUE

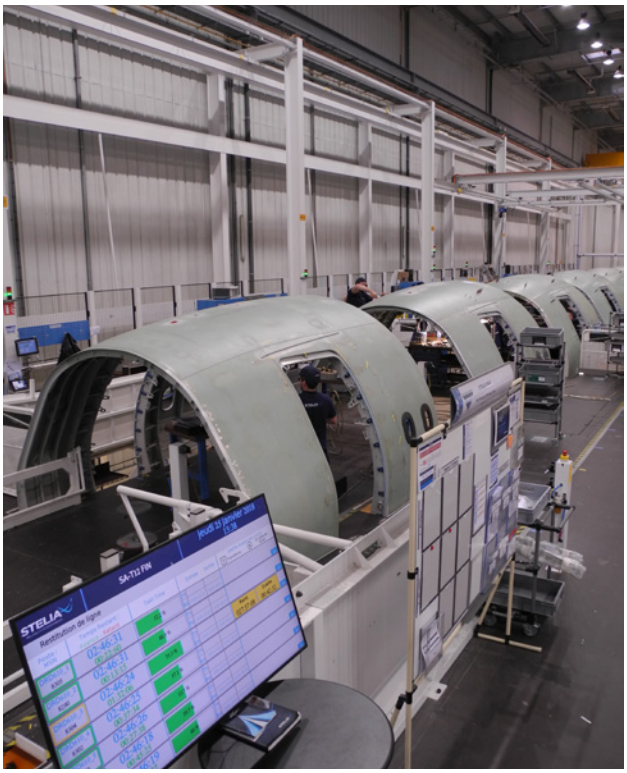
LE SITE STELIA AEROSPACE DE MÉAULTE, RÉSOLUMENT TOURNÉ VERS L'AVENIR

par **François Fournier**, direction de la communication Stelia Aerospace

STELIA Aerospace est le numéro 2 mondial dans les domaines des aérostructures, des sièges pilotes et des fauteuils Première classe et classe Affaires.

Avec 1,6 milliard d'euros de chiffre d'affaires (valeur post-Covid 2020 ; 2,4 milliard en pre-Covid 2019) et 7 000 employés dans le monde à fin 2020, dont 4 500 en France et 2 500 en Amérique du Nord, en Tunisie, au Maroc et au Portugal, STELIA Aerospace accompagne les principaux constructeurs aéronautiques tels qu'Airbus, ATR, Boeing, Bombardier, Embraer ou encore Dassault Aviation, ainsi que les plus grandes compagnies aériennes comme Air France, Singapore Airlines, Etihad Airways, China Southern Airlines, Thaï Airways, etc.

Sous l'impulsion de son président Cédric Gautier, STELIA Aerospace se positionne comme un leader dans ses secteurs de prédilection, capitalisant sur ses expertises et ses compétences, construisant sur son excellence industrielle et ses forces dans chacun de ses sites de production spécialisés.



Ligne mobile de production, programme A320

LE SITE DE MÉAULTE

Situé en Picardie, dans la région Hauts-de-France, à proximité immédiate de l'aéroport d'Albert-Picardie, le site STELIA Aerospace de Méaulte, fondé en 1924, est le plus grand et le plus ancien du Groupe. Sur 49 hectares dont 115 000 m² de surface production, plus de 1 400 salariés conçoivent et produisent les parties avant de fuselages pour les programmes Airbus A320, A330, A350, A400M et BelugaXL, des pièces composites de grandes dimensions, ainsi que des sous-ensembles spécifiques.

En 2017, à l'issue de près de deux ans de travaux et grâce à un investissement de 70 millions d'euros, Méaulte est devenue l'Usine Aéronautique du Futur, une des plus modernes d'Europe. Elle s'est dotée de nouveaux moyens à la pointe de la technologie (plus de 35 robots et riveteuses automatiques), de nouveaux processus de travail et a développé la digitalisation sur les postes de travail (pilotage de la production, fiches d'instruction en 3D sur tablettes tactiles, réalité augmentée pour les activités d'assemblage et le contrôle qualité).

Assemblage robotisé, programme A320

À chaque programme avion est dédié un bâtiment unique regroupant toutes les équipes contributrices, avec des lignes d'assemblage pulsées et/ou mobiles, afin d'optimiser les cycles de production et de s'adapter aux cadences des clients.

LE SITE STELIA AEROSPACE DE MÉAULTE, RÉSOLUMENT TOURNÉ VERS L'AVENIR

Production de panneaux composites, programme A350

PRÉPARER LE FUTUR ET ASSURER LA REPRISE

La transformation du site de Méaulte a été le point de départ du projet Industrie du Futur, lancé à l'échelle du groupe STELIA Aerospace. Avec le support de la DGAC, à travers le fond de relance de l'aéronautique porté par le CORAC (COnseil pour la Recherche Aéronautique Civile), 110 millions seront investis sur quatre ans, pour moderniser les lignes de production sur l'ensemble de ses sites et développer des outils innovants, dans des domaines aussi variés que l'engineering, la maîtrise de la chaine d'approvisionnement, la qualité, le pilotage de production ou la maintenance. Pour STELIA Aerospace, il s'agit d'accroître sa performance industrielle et celle de sa chaine d'approvisionnement, de façon à maintenir sa position d'acteur mondial incontournable sur le marché des aérostructures, pour conquérir de nouveaux marchés et pérenniser l'emploi sur ses sites historiques.

Si STELIA Aerospace a été durement frappée par la crise structurelle qui touche l'ensemble des acteurs de l'industrie aéronautique mondiale, cette dynamique de transformation et d'innovation n'a pas été remise en cause, tant est fondamentale la nécessité de préparer l'avenir. Les nécessaires mesures d'adaptation déployées pour faire face à la baisse drastique de la demande des compagnies aériennes ont été dictées par le souci permanent de préserver au maximum l'emploi et de sécuriser l'avenir de l'entreprise, tout en ménageant notre chaîne d'approvisionnement. La stratégie de STELIA Aerospace est résolument tournée vers le futur, avec la volonté de préparer la reprise et de retrouver le chemin de la croissance. ■

AÉRONAUTIQUE

DRONES @ONERA : VERS UNE MAÎTRISE DU RISQUE ET DES NUISANCES SONORES

par **Laurent Planckaert** et **Quentin Gallas**, ONERA

CONTEXTE : USAGE DES DRONES ET DOMAINES SCIENTIFIQUES ASSOCIÉS

L'utilisation de systèmes de drone (Unmanned Aerial Syste, UAS) est en croissance forte, en particulier dans le domaine professionnel civil. Les cas d'usages de ces aéronefs sont nombreux, il peut être compliqué de s'y retrouver. Dans le cadre d'un travail interne, les équipes de l'ONERA ont cherché à les classer, et ont abouti à la présentation suivante, qui couvre la plupart des domaines d'intérêt :

- observation / surveillance,
- exploration,
- drones pour l'événementiel (chorégraphie, médias, films, tourisme, etc.),
- transport,
- travail aérien,
- relais de communication,
- interception de cibles,
- lutte anti-drones,
- drone de combat.

Afin de rendre possible un développement sûr des utilisations de drones pour ces cas d'usage, des travaux doivent être menés que l'on peut classer dans les domaines scientifiques suivants :

- conception de drones ou de systèmes de drone,
- systèmes embarqués pour la navigation,
- charges utiles pour la mission et traitements associés,
- facteurs humains et interactions homme-système (IHS),
- lutte anti-drone.

Ces problématiques comportent des verrous qu'il faudra pouvoir lever si on veut mener à bien les opérations relatives aux cas d'usage mentionnés plus haut en toute sécurité. Cet aspect de sécurité du vol est un facteur commun à tous les usages et à tous les domaines scientifiques. Il est également au cœur de la préoccupation de la réglementation. Ainsi la France s'est dotée au cours des dernières années d'une réglementation drone novatrice en adéquation avec les progrès techniques réalisés. Depuis, la réglementation est devenue une compétence de l'agence européenne de sûreté aérienne (EASA), et elle se déploie progressivement.

LA STRUCTURATION DE LA RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE

En Europe, la nouvelle réglementation est entrée en vigueur en 2020 et remplacera progressivement les réglementations nationales. Cette réglementation s'appliquera à tout type de drones et opérations. Les principes généraux de cette réglementation sont :

- d'assurer la sécurité des personnes, des biens et des autres aéronefs,
- d'être pensée sur la base d'une analyse du risque que fait peser le vecteur considéré, avec son cas d'usage associé et ses mesures éventuelles de réduction du risque, et sur les pré-requis proportionnés à ce niveau de risque,
- de faciliter le respect de la loi, de la vie privée et contribuer à la sûreté,
- de contribuer à la protection de l'environnement (notamment par la réduction du bruit),
- d'intégrer le trafic basse altitude de drone via l'U-Space.

Le règlement 2020/639 du 12 mai 2020 définit trois catégories d'opérations d'UAS illustrées par la figure 1.

Figure 1. Représentation schématique de la réglementation européenne

Ces catégories correspondent aux niveaux de risques évoqués plus haut :

- la catégorie « open » lorsque le drone et son opération considérée ne représentent qu'un risque faible ; les prérequis seront alors limités ;
- à l'autre extrémité, la catégorie « certified » lorsque ce risque est élevé ; les prérequis seront alors analogues à

ce qu'est aujourd'hui une certification pour l'aéronautique traditionnelle ;
- entre deux, une zone intermédiaire, le « specific », lorsque le risque est trop élevé pour autoriser des vols avec très peu de pré-requis (open), mais pas assez pour demander une véritable certification et tout ce que cela exige (« certified »).

La réglementation européenne est désormais définie pour la catégorie open, avec une période de transition (2021 et 2022) pour permettre aux parties prenantes de s'adapter.

La méthode SORA *(Specific Operations Risk Assessment)* développée à l'origine par JARUS (un groupe informel international), et repris à son compte par l'EASA, s'applique aux opérations de la catégorie spécifique (voir Figure 2). Cette méthode analyse le risque impliqué par la mise en œuvre d'un drone donné dans une opération donnée, en recensant les types de risque (sol : chute sur personne ou infrastructure, air : rencontre avec un autre aéronef), en en évaluant la probabilité, en proposant des mesures pour en limiter l'occurrence ou en atténuer les effets. C'est-à-dire en maîtrisant le risque global associé à l'opération considérée. Pour faciliter l'approbation des opérations, l'EASA a déjà développé deux scénarios standards d'opération et développe des « études de sécurité prédéfinies » *(Pre-defined risk assessmen, PDRA)*, qui déclinent la SORA pour un type donné d'opération. Plusieurs PDRA ont déjà été ou seront prochainement publiées par l'EASA.

L'évaluation du risque basé sur la SORA concerne donc aussi bien les opérations que les drones opérés. Un des paramètres importants de l'analyse SORA est la robustesse, notion qui prend en compte à la fois le niveau d'intégrité et le niveau d'assurance (méthode de preuve) notamment en ce qui concerne l'apport des mesures de réduction du risque (définition de zones de risque tampon…) sur le niveau de risque initial. Pour ces derniers, il y a donc nécessité de développer des méthodes de preuve relatives aux phénomènes mal connus (notamment au voisinage des limites de l'enveloppe de vol) si on veut pouvoir améliorer la robustesse et permettre l'émergence d'opérations de catégories plus risquées. L'utilisation d'essais en conditions maîtrisées pour quantifier l'impact de ces phénomènes peut alors se montrer pertinente voire indispensable.

Cet effort de formalisation de la réglementation se double d'un travail concomitant pour structurer l'espace aérien de façon à accueillir ces nouveaux usagers que sont les drones, en toute sécurité. Ainsi l'initiative européenne pour la gestion de l'espace aérien intégrant les drones, U-Space, s'appuie sur un ensemble de services futurs avec un haut niveau d'automatisation conçus pour rendre possible l'accès d'un nombre grandissant de drones à l'espace aérien, d'une manière sûre, efficace et sécurisée, et notamment dans des contextes urbains (voir Figure 3).

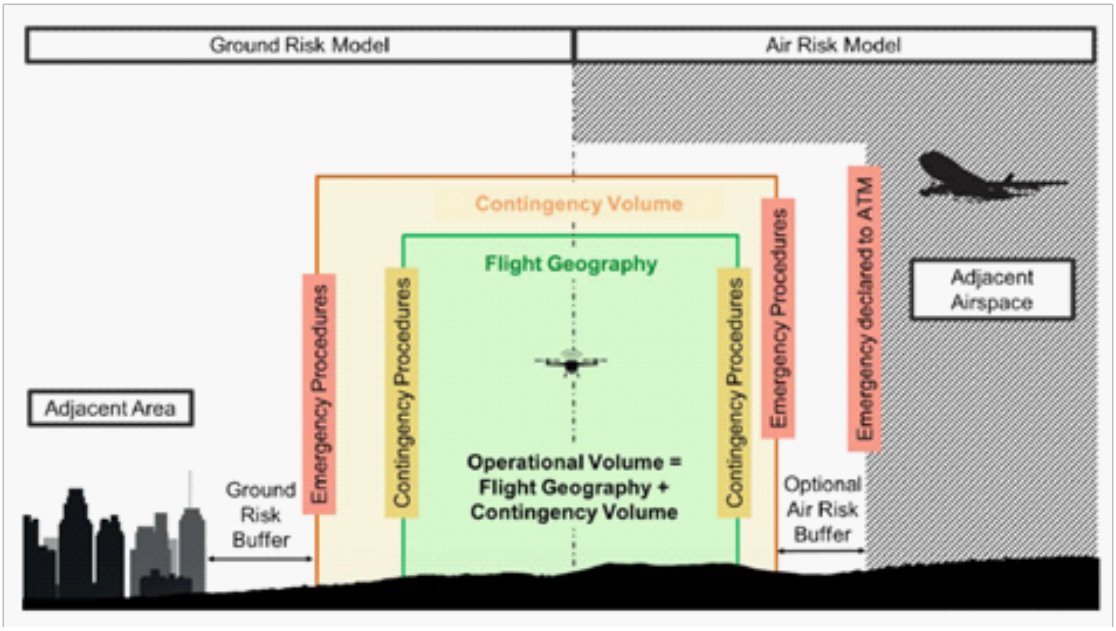


Figure 2. Diagramme sémantique de la SORA (JARUS 2019)

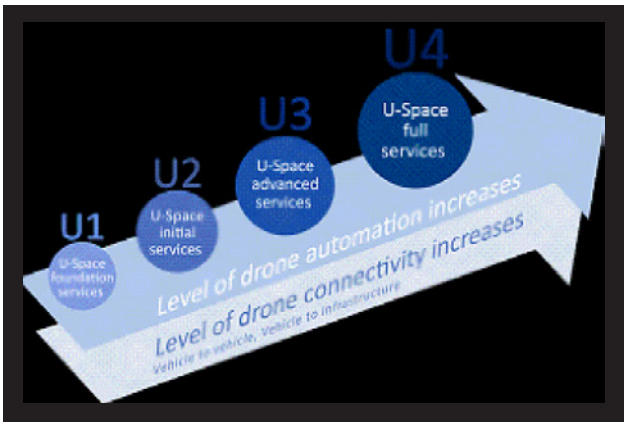


Figure 3. Logique de mise à disposition progressive des services U-space (source SESAR JU 2018)

Ces services seront des auxiliaires des drones leur permettant, grâce à une aide fournie par l'extérieur, de favoriser des trajectoires limitant l'influence d'aléas météorologiques ou réduisant fortement le bruit ressenti par la population environnante.

LE RÔLE DE L'ONERA

Dans ce contexte, comme sur ses autres domaines d'intervention, l'ONERA a une double mission : innover pour l'industrie ; apporter son expertise à l'État. Dans le domaine des drones, il répond à cette double fonction spécifiquement en vue des nouveaux usages des drones et des risques et nuisances associés.

Ainsi, l'ONERA est très présent dans le Conseil pour les drones civils, instance pilotée par la DGAC, au profit de toute la filière. La convention DGAC-ONERA PHYDIAS sur les drones lui permet de développer des travaux de recherche, et d'apporter une expertise à la DGAC. Cette recherche, disséminée à travers la filière, porte sur des thèmes tels que la gestion de l'espace aérien pour les drones et l'effet de l'aérologie, les facteurs humains, l'analyse des risques, la certificabilité des systèmes adaptatifs et des systèmes de perception. L'expertise est apportée dans le contexte des nouvelles architectures de drones, et des nouvelles applications plus risquées.

Ces apports peuvent être illustrés dans deux domaines clefs pour les drones civils :

- Sur l'une des briques essentielles pour la sécurité des drones, l'avionique, l'ONERA est présent depuis le début du programme AVOCETTES (AViOnique sûre et séCuriséE pour nouvelles mobiliTés et auTonomiE – Surveillance étendue), avec Safran, Thales et Orange. Le projet développe une avionique certifiable pour les opérations dites « de grande élongation » des drones (missions de surveillance sur plus de 100 km).
- Pour préparer l'une des applications recherchée mais risquée, la mobilité urbaine aérienne, l'ONERA, aux côtés d'Airbus Helicopters, Thales et Safran, dans le cadre du projet MOSQUITO (« MObilité et logiStiQue UrbaIne - Pré éTude vers une future règlementatiOn »), pose les bases sur les grands thèmes que sont la sécurité, l'acoustique, l'environnement, l'électromagnétisme et la cybersécurité. L'ONERA, par exemple, y travaille sur une approche d'estimation rapide pour l'environnement sonore urbain.

LES ACTIVITÉS ET MOYENS D'ESSAIS DRONES EN RÉGION HAUTS-DE-FRANCE À L'ONERA

Les activités de l'ONERA en région Hauts-de-France s'appuient sur le triptyque Expérimentation – Simulation – Modélisation. On y retrouve principalement deux grandes activités : une sur la problématique de la navigation en environnement perturbé ; l'autre sur la problématique de la sécurité des biens et des personnes en cas de crash de drone. Au niveau des moyens d'essais, le centre ONERA de Lille s'appuie principalement sur les souffleries basse vitesse L1, L2 et SV4 (le lecteur pourra se référer à l'article sur la plateforme CONTRAERO pour les caractéristiques techniques), ainsi que sur le bâtiment B20. Ce dernier est un hall d'essai indoor de 90 m×20 m×20 m, muni d'un générateur de rafale pouvant simuler des vents traversiers jusqu'à 5 m/s, ainsi que d'une catapulte pour « lancer » des drones et des maquettes d'une vingtaine de kg jusqu'à 40 m/s (voir Figure 4). Un système de trajectographie optique temps réel par multi-caméras synchronisées complète le moyen d'essai.

Concernant la problématique de la navigation en environnement perturbé, l'ONERA mène des recherches sur un principe de navigation autonome depuis plusieurs années, selon le schéma de la figure 5.

L'idée est de fournir au drone une carte de l'aérologie, que celui-ci saurait réactualiser en estimant le vent qu'il rencontre. La loi de commande aurait à prendre en charge l'incertitude de prévision des perturbations venteuses tandis que la partie navigation, en utilisant les prédictions fournies par les cartes de vent, aurait pour but d'éviter les zones où le vol serait difficilement contrôlable.

Figure 4. Vue extérieure du bâtiment B20, de la catapulte de lancement pour essais d'impact de drones et du générateur de rafale pour essais d'aérologie

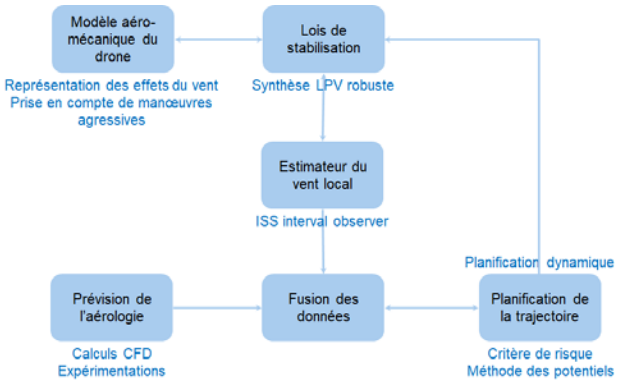


Figure 5. Schéma de principe d'une navigation autonome en environnement venté

Ce schéma repose sur les 3 briques technologiques que sont :

- la modélisation des effets du vent sur le drone,
- le contrôle du drone en présence de vent,
- la prévision de l'aérologie ou pour le moins une connaissance de l'aérologie.

Une grande partie des drones actuellement utilisés sont mus par plusieurs rotors assurant la sustentation ou la propulsion. La modélisation aérodynamique doit prendre en compte les interactions entre les rotors.

La figure 6 montre l'impact de ces interactions lors d'un vol de drone en avancement. Le graphique de gauche illustre les régimes moteur au cours du vol, tandis que sur celui de droite est présentée une restitution du moment de tangage utilisant un modèle aérodynamique sans prise en compte de l'interaction entre rotors. Des effets de tangage marqués sont ainsi visibles sur la restitution du moment dû à la contribution de portance des rotors alors que le drone est en vol équilibré (moment global mesuré quasiment nul). Ceci résulte de l'effet d'interactions entre les rotors : le rotor en amont de l'écoulement est plus efficace que celui en aval alors que dans un modèle classique cet effet est ignoré.

Ce phénomène a pu être étudié plus finement dans la soufflerie basses vitesses L2 du centre ONERA de Lille (voir Figure 7) et retrouvé à partir de simulations utilisant le code ONERA PUMA (Potential Unsteady Methods for Aerodynamics). On y voit l'impact des rotors entre eux sur le couple de traction lorsque le drone est incliné. Ces résultats mettent en évidence que les interactions rotor-rotor peuvent avoir un impact important sur le comportement en vol en environnement venté du fait des moments produits sur l'engin. Ainsi un coup de vent pourrait provoquer un fort moment de tangage ayant tendance à retourner le drone.

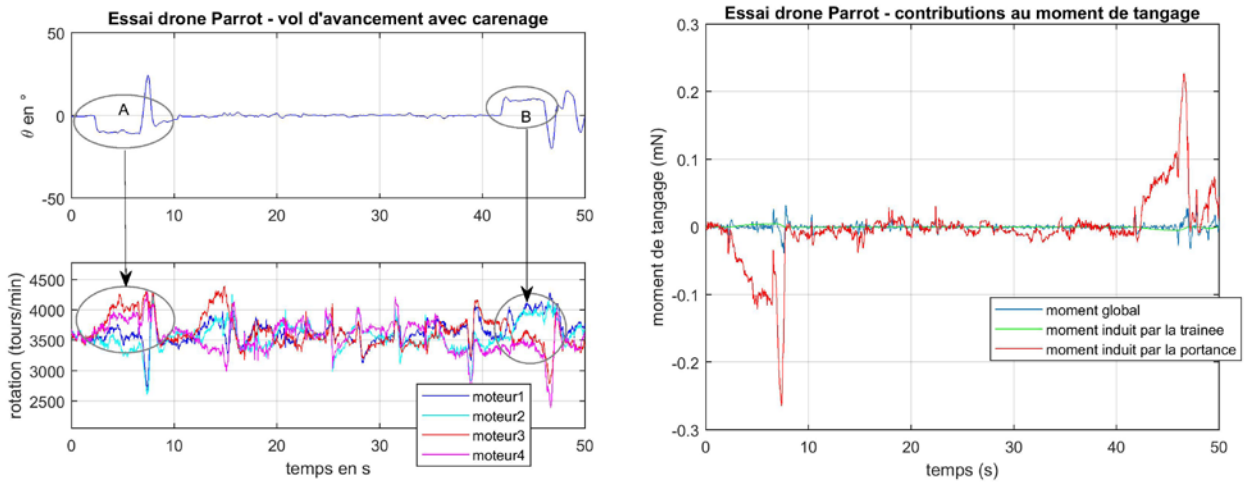


Figure 6. Essai en vol d'un drone Parrot au laboratoire B20

L'intérêt de l'approche duale expérience - simulation que l'ONERA met régulièrement en œuvre est parfaitement illustré ici : à partir d'une base de données expérimentale de validation, l'utilisation d'un code numérique est possible et pourra être utilisé pour interpoler et extrapoler des régimes de fonctionnement non couverts par l'expérience. L'approche numérique permet ensuite de valider et d'utiliser la brique « modélisation des effets du vent sur le drone » illustrée Figure 5.

En plus de permettre d'étudier les qualités de vol et la conception de lois de contrôle efficaces, une modélisation précise des effets de vents peut permettre l'estimation indirecte des composantes de vents et s'avérer être une aide précieuse à la reconnaissance de la situation aérologique dans laquelle se trouve le drone. Ainsi, on peut exploiter ce phénomène d'interaction en utilisant la mesure des puissances des différents rotors afin de permettre de remonter à la vitesse du drone par rapport au vent dans un domaine de vol assez important (voir Figure 8). Comme on pouvait s'y attendre, sur cette Figure, on remarque qu'à grande vitesse les effets d'interactions sont négligeables ; il en est de même aux grandes incidences et donc que les puissances des rotors sont identiques. Cependant aux faibles vitesses jusqu'à des incidences assez importantes de l'ordre de 40° (hors domaine de Vortex Ring State), une relation univoque existe entre niveaux de puissance rotor et paramètres de vitesse, il en est de même sur une plage plus réduite en incidence pour les vitesses par rapport au vent plus élevées (30 km/h dans ce cas).

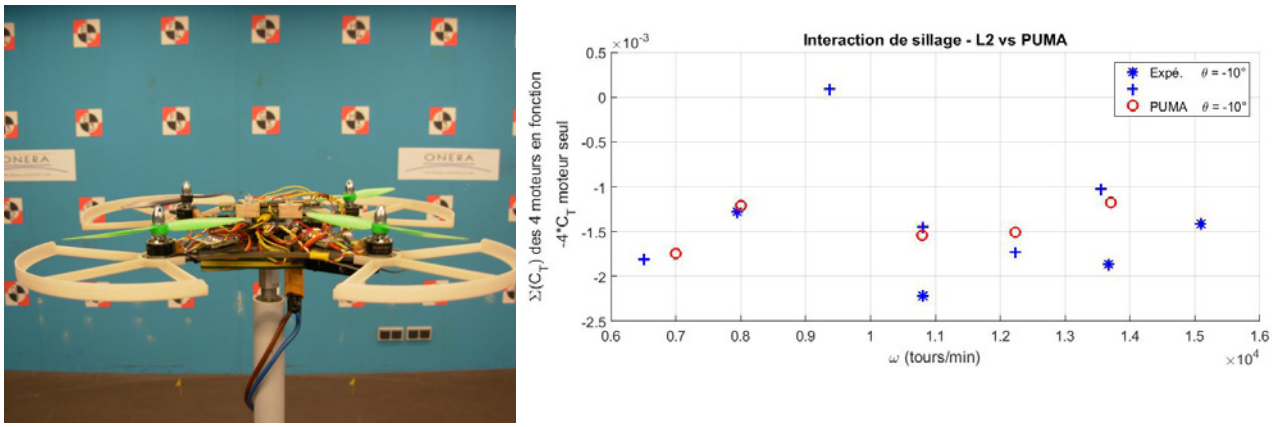


Figure 7. Essai drone dans la soufflerie L2 du centre ONERA de Lille (interaction rotors)

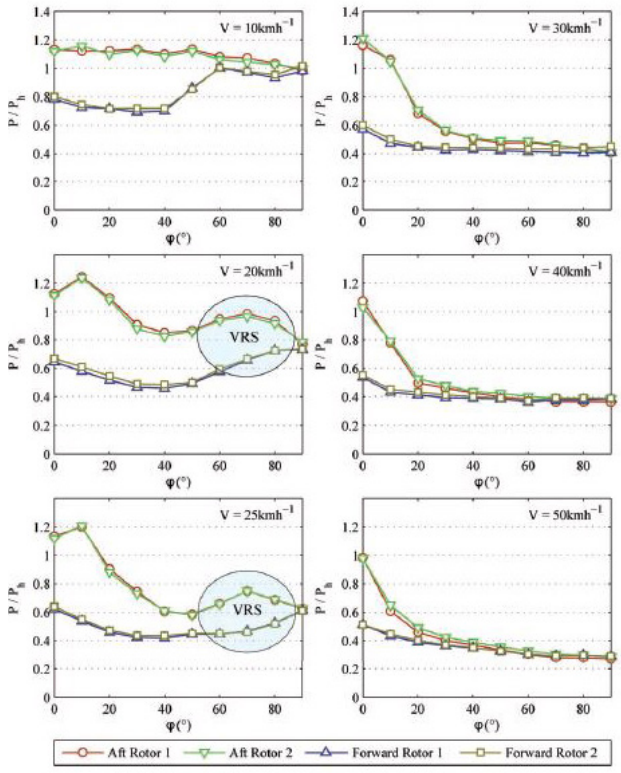


Figure 8. Puissance des rotors en vol d'avancement (travaux de la RMIT University)

Les travaux de thèse de G. Perrozi (bourse ONERA – Région Hauts-de- France), codirigée par l'INRIA et l'ONERA, ont aussi pu montrer en simulation l'intérêt de techniques de commande novatrices par modes glissants. Ces techniques de lois de commandes (voir Figure 9) permettent de prescrire un comportement dynamique désiré pour le drone, tout en assurant la robustesse de la loi par rapport à des perturbations aérologiques bornées et en réduisant significativement le phénomène de chattering (oscillation à haute fréquence de la commande) fréquent avec ce type de techniques. Ces algorithmes de contrôle vont pouvoir être mis en œuvre dans le bâtiment B20 du centre ONERA de Lille, en faisant évoluer le drone hors et à l'intérieur du générateur de rafale. Ces travaux en cours permettent de considérer la brique « contrôle du drone en présence de vent » de la figure 5.

Un autre aspect du problème est celui de la prédiction/modélisation de la scène aérologique. Des études en simulations CFD (en utilisant des méthodes de type LES ou Lattice Boltzmann) sont menées en collaboration notamment avec le LHEEA de Nantes autour d'environnements simples (tour isolée, voir Figure 10) ou plus complexe (village de combat de Caylus, voir Figure 11). L'un des intérêts de ces simulations est de fournir des bases de données pour la conception de lois de commande, la recherche de métriques de risque ou le test de stratégies de navigation.

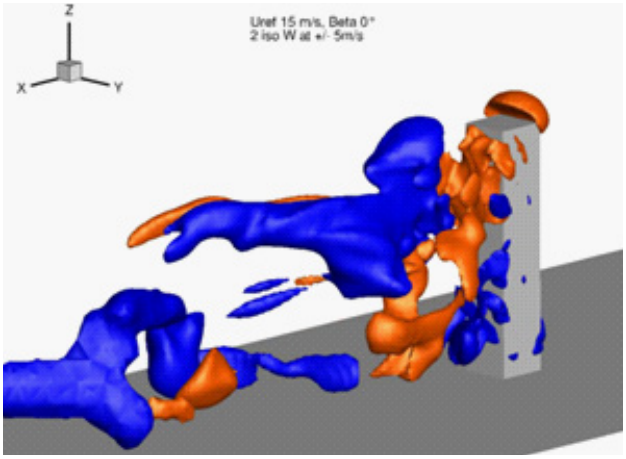
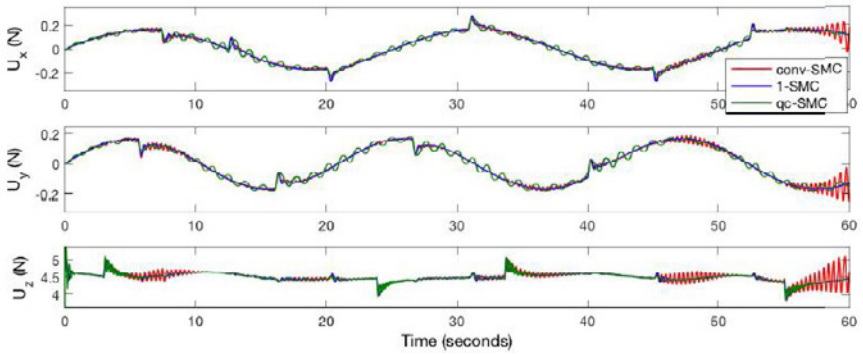


Figure 10. Simulation LES de l'écoulement derrière une tour

L'écoulement derrière la tour montre notamment l'existence de « bouffées » de tourbillons en aval des bâtiments causant des vents verticaux de vitesse importante pouvant se révéler dangereux pour le vol d'engins à voilures tournantes.



$$S_i = \dot{e}_i + \alpha_i e_i, \quad \alpha_i > 0$$

$$U_z = \frac{m}{\cos\theta\cos\phi}\left(g - \tilde{u}_z - \ddot{z}_{des} + \alpha_z \dot{e}_z\right)$$

$$\tilde{u}_z = -\beta(X)\,\mathrm{sign}(S_z)$$

Figure 9. Évolution de la commande et loi de contrôle de tenue en position en Z

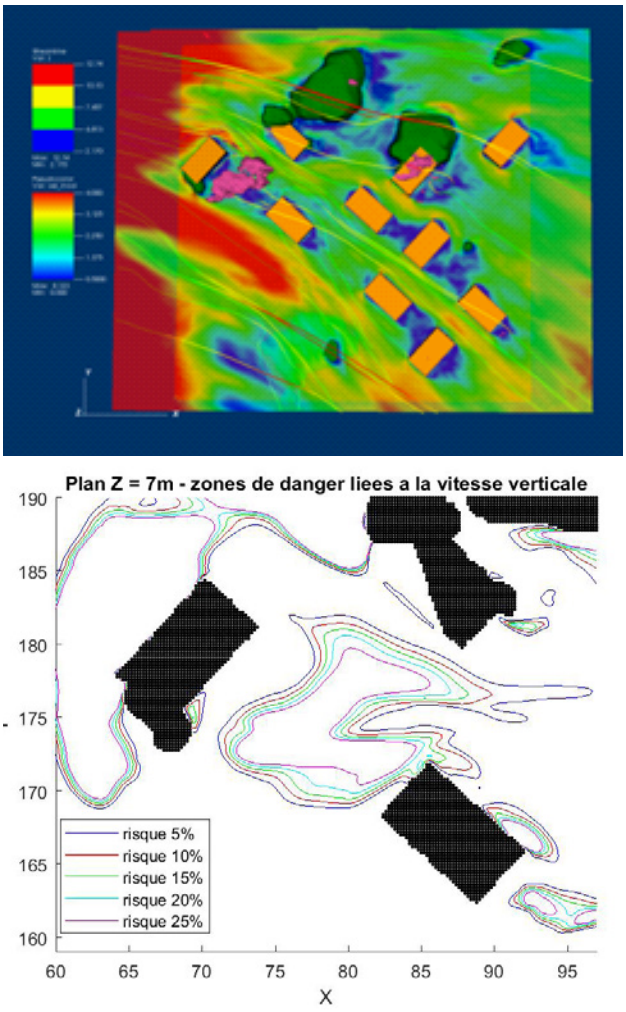


Figure 11. Simulation CFD Lattice Boltzmann de l'aérologie dans un village (en haut), évaluation des zones de danger lié aux écoulements ascendants (en bas)

Ainsi, durant un vol de descente, un drone peut traverser des zones à risque, en fonction de sa vitesse de descente par rapport à celle du vent, où il peut faire face au phénomène de Vortex Ring State bien connu dans le domaine des hélicoptères(voir Figure 12). Dans ce cas , on peut assister à une perte de contrôle de l'aéronef avec de fortes variations de la sustentation (voir Figure 13). Si on considère que la probabilité de rencontrer ce phénomène est fonction de la vitesse verticale locale rencontrée par le drone, on remarque que cela conduit à une exclusion d'une zone importante de vol (voir Figure 11).

Ces travaux participent à la brique technologique de prévision de l'aérologie, ou à minima une connaissance de celle-ci, tel que montrée sur la figure 5.

Comme l'illustre les exemples précédents, le projet global d'une navigation autonome en environnement venté est donc bien engagé, avec encore de nombreux défis techniques et scientifiques à relever.

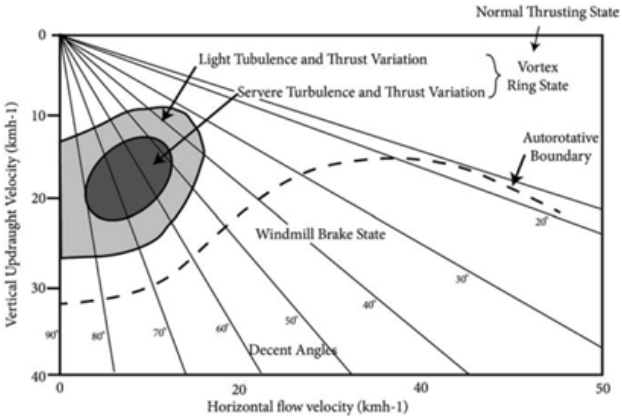


Figure 12. Zone de Vortex Ring State (vol en descente)

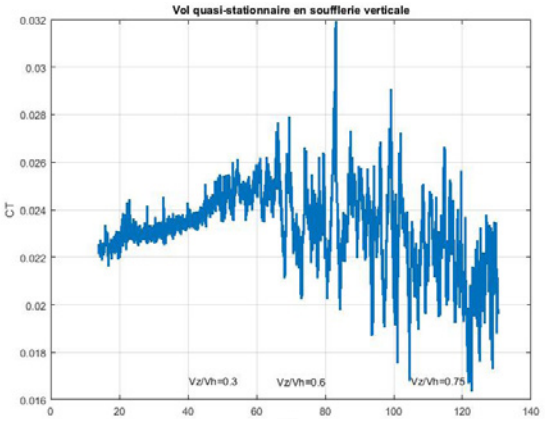


Figure 13. Vol de drone soumis à des rafales de vents verticaux, mesuré dans la soufflerie verticale SV4 du centre ONERA de Lille

En parallèle de l'axe de recherche orienté mécanique des fluides et automatique, d'autres travaux ont lieu portant sur la mécanique des structures. Ainsi des études d'effets d'impact de drone sur les personnes dans le cadre notamment des projets GIS sont aussi menés au centre ONERA de Lille (voir Figure 14). Dans le cadre de la première convention financée par la DGAC, l'ONERA et l'IFSTTAR ont étudié la chute de drones de masse inférieure à 900 g et ses conséquences : dangerosité sur les humains, selon la structure, la masse, la vitesse et la conception de ces drones. Cette étude essentiellement expérimentale a été réalisée à l'aide d'essais d'impacts sur des têtes de mannequin utilisées pour des crash-tests. La suite de ces travaux (menés dans le cadre de la seconde convention GIS II financée par la DGAC) doit maintenant permettre la mise en place de modèles numériques qui permettront une meilleure prise en compte de la variabilité inter-individus pour l'étude des conséquences de l'impact et

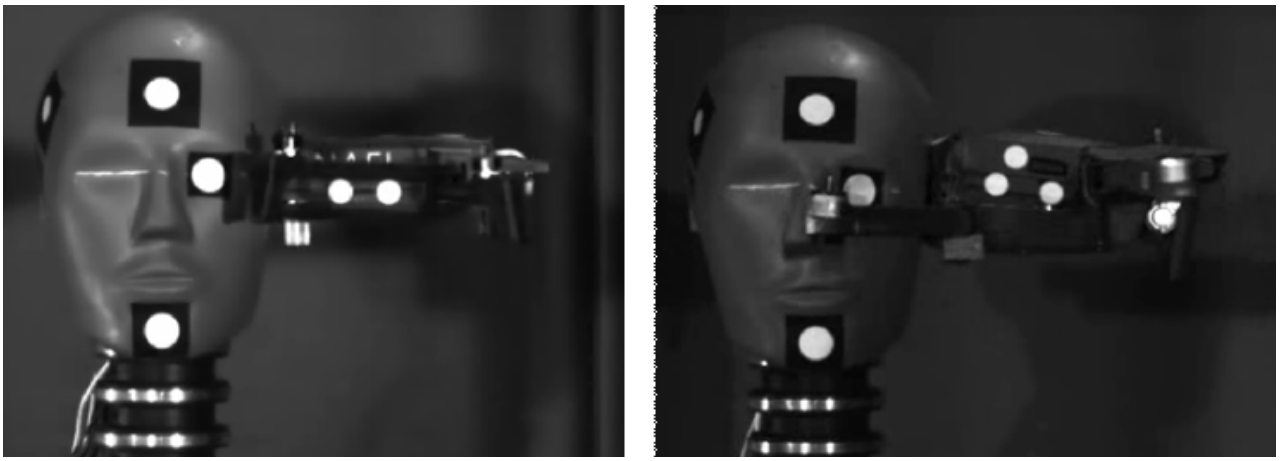


Figure 14. Mesure d'impact de drones sur un mannequin à l'ONERA (à gauche un drone Parrot Anafi de 310 g, à droite un drone DJI Mavic Pro de 730 g)

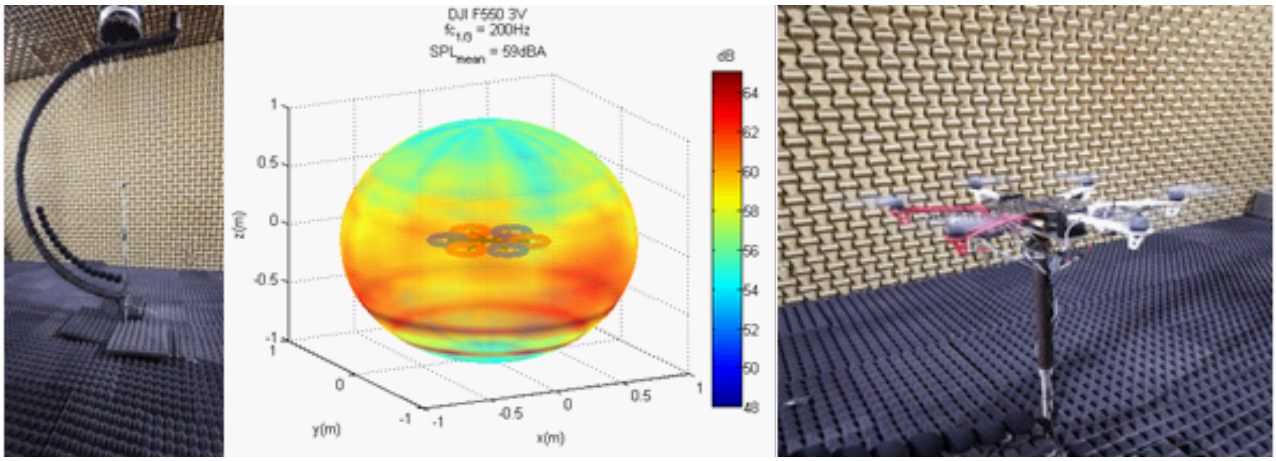


Figure 15. Mesures acoustiques sur drones en chambre anéchoïque au centre ONERA de Châtillon

une meilleure compréhension des transferts d'énergie lors de ces impacts. La gamme de drones étudiés est également plus importante, s'étendant de 250 g à 4 kg. Une nouvelle campagne d'essais sera prochainement menée en utilisant la catapulte du laboratoire B20 du centre ONERA de Lille (voir Figure 4).

A noter que parallèlement aux activités liées à la sécurité du vol de drone, l'ONERA met en œuvre dans ses souffleries du centre de Lille des moyens d'évaluer la signature acoustique des drones en utilisant les compétences acquises en chambre anéchoïque (voir Figure 15).

Pour finir, on peut souligner le lien fort avec la Région Hauts-de-France et les collaborations entre les laboratoires de la Région, qui, à travers différents leviers financiers, permet de soutenir ces activités. On peut noter les cofinancements de bourses doctorales par la Région, ainsi que le recrutement de post-doctorants par le projet ELSAT2020, cofinancé par l'Union européenne avec le Fonds européen de développement régional, par l'État et la Région Hauts de France.

EXEMPLES DE QUELQUES INITIATIVES EN RÉGION HAUTS-DE-FRANCE

La région Hauts-de-France au travers de sa plate-forme multimodale e-valley située dans le Cambrésis s'intéresse à la complémentarité qu'apporterait le transport par drone entre hubs régionaux notamment pour les produits médicaux ou des pièces pour l'industrie qui nécessitent un transport rapide. En collaboration avec Survey Copter, filiale d'Airbus, des tests de transport de colis y sont réalisés (voir Figure 16).

On peut aussi citer la plate-forme UAV de l'université de technologie de Compiègne qui s'attache à aider à la validation expérimentale des recherches en contrôle commande et en robotique.

Figure 16. Plate-forme quadrimodale du futur e-valley (à gauche), test de transport sur longue distance à e-valley (à droite)

POUR CONCLURE

Les applications de drones se multiplient, tirant profit des promesses d'efficacité, d'économies, ou encore de précision qu'ils recèlent. En parallèle, la réglementation, devenue prérogative européenne, se structure. Cependant, ce foisonnement ne pourra donner lieu à de véritables marchés que si des développements techniques sont menés pour définir et atteindre le niveau de sécurité souhaitable, et maîtriser les nuisances (acoustiques, en particulier). Dans ce contexte, l'ONERA répond à sa double mission d'innovation au profit de l'industrie et d'expertise au service de l'État. Il le fait par son rôle majeur dans les projets structurant du domaine.

Le centre ONERA de Lille apporte son expertise unique, en particulier sur trois volets fondamentaux pour permettre le développement des drones : la modélisation de l'aérologie et la maîtrise de son effet sur la trajectoire des drones, l'analyse du risque lié à la chute des drones sur des personnes, l'analyse et la réduction de l'empreinte acoustique des drones.

Remerciements

Sont ici remerciés pour leur contribution à cet article nos collègues de l'ONERA Julien Berthe, Eric Deletombe, Bruno Mialon, Henry de Plinval ■

AÉRONAUTIQUE

LA TOUR DE CRASH DU CENTRE ONERA DE LILLE

par **Jacky Fabis, Julien Berthe** et **Gérald Portemont**

Cette installation d'essais fait partie des installations emblématiques du Centre ONERA de Lille. Au travers de cet article est retracée l'histoire de cette installation depuis sa phase de développement et de conception, à ses évolutions et utilisations récentes.

LA GENÈSE DE L'INSTALLATION

L'évolution des aéronefs, les exigences de sécurité aérienne et le besoin d'aborder de futures conditions de vol conduisent les chercheurs à développer de nouveaux outils visant à reproduire et étudier des phénomènes de plus en plus complexes.

La sécurité est une composante clé des transports et un axe structurant pour la recherche aéronautique ; c'est ce qu'avait parfaitement intégré Francis Dupriez dans l'orientation des activités du centre ONERA de Lille, qu'il a dirigé de 1995 à 2001. Les premières recherches numériques menées dans sa Division de mécanique des structures » remontent aux années 80. Elles avaient rapidement mis en évidence le manque criant de données expérimentales fiables pour alimenter les simulations numériques permettant l'étude des situations d'impacts ou de crash des structures aéronautiques. C'est en commençant par développer en interne des moyens expérimentaux d'impacts structuraux et de caractérisation du comportement dynamique des matériaux et des assemblages (sur vérin rapide, barre d'Hopkinson, lanceur à gaz, etc.) que de premières données dans un domaine de vitesses de déformation intéressant le crash (couvrant six décades) purent être mises à la disposition des équipes numériques. Ces données constituent les paramètres d'entrée indispensables au fonctionnement de tous les codes de simulation.

C'est en associant intimement, au sein d'une même équipe les compétences expérimentales et numériques, que les scientifiques du centre ont pu affiner au cours des décennies leurs connaissances des mécanismes non linéaires complexes d'endommagement et de ruine de sous structures. Sous l'impulsion de Pascal Geoffroy puis d'Eric Deletombe, dès le début des années 90, des collaborations régionales furent mises en place et renforcées notamment en 2003 au travers de la création d'un laboratoire commun avec le CNRS et l'université de Valenciennes, pour s'atteler à l'ampleur de la tâche sur un sujet gagnant chaque jour de l'importance. Rapidement, des résultats de niveau international, nombreux et stimulants, furent obtenus, grâce à un soutien financier constant de la région Nord-Pas-de-Calais, à la hauteur des engagements de l'ONERA (accueil de doctorants, enseignement, collaborations avec les industriels régionaux des secteurs automobile et ferroviaire sur cette thématique).

Figure 1. Construction de l'installation avec à gauche les fondations pour l'installation de la masse sismique et à droite l'ossature qui accueillera les 4 colonnes de la Tour.

A la même époque, le développement exponentiel des puissances de calcul permit d'envisager des simulations numériques de structures entières, pour lesquelles un moyen de tests permettant la validation des modèles restait à créer. Saisissant l'opportunité de pouvoir disposer de fonds structurels européens (FEDER), en appoint des financements de la Région (Nord-Pas-de-Calais à l'époque, Hauts-de-France aujourd'hui) et de l'ONERA, que le projet de Tour de crash put voir le jour.

Figure 2. Vue en élévation de la zone d'impact de la Tour de crash

La prise en compte des limitations des moyens existants de l'époque, et l'anticipation des besoins à venir, permirent de définir les capacités de l'installation en accord avec le budget disponible. La conception s'orienta vers une tour constituée de 4 piliers en béton, de 15 m de hauteur, solidarisés par des traverses horizontales (voir Figure 1). Chaque pilier fut équipé de 4 vérins horizontaux motorisés dont le rôle était de positionner les rails de guidage situés en leurs extrémités, afin de s'adapter à la taille du chariot d'impact ou de la structure à tester. L'installation dispose donc de chariots de tailles différentes, dont la masse peut être ajustée de 200 kilos à 1 tonne, pour accorder l'énergie nécessaire à chaque essai. En partie basse, la plateforme d'essais de 2m × 2m est couverte de tables dynamométriques permettant la mesure des efforts appliqués à la structure testée. Cette plateforme d'essais est pré-chargée sur une masse sismique de 80 tonnes montée sur des amortisseurs situés en sous-sol et dont le but est de filtrer les réflexions parasites de l'impact, et autre bruit vibratoire parasite de l'environnement (la Tour de crash n'est en effet pas le seul moyen d'essai de dimension importante sur le Centre). Trois configurations d'essai sont possibles : largage libre, guidé ou écrasement par chariot lesté avec dans les deux derniers cas, possibilité de propulsion additionnelle par sandows. Dans la première phase d'exploitation les limites d'utilisation furent fixées à 15 m/s et 100 kJ.

Une fois précisées les caractéristiques principales du moyen d'essais, il est nécessaire de rappeler que l'objectif des essais de crash ou d'impact sur structures est de recueillir un maximum de mesures pertinentes et fiables, pour des conditions aux limites du chargement parfaitement maîtrisées, tout en gardant en tête les difficultés expérimentales suivantes :

- Les éprouvettes structurales sont onéreuses et les essais par définition destructifs, donc quasi-uniques ne laissant pas le droit à l'erreur ou à l'à peu près.
- Les résultats de ces essais permettent de valider ou de recaler des outils et méthodes de simulation numériques destinés à la conception des futures structures. Ils impactent donc indirectement leurs coûts de conception.
- Le fait de s'intéresser à la ruine des structures implique de traiter le comportement des matériaux au-delà de l'élasticité habituelle, en considérant leur domaine de non-linéarité : plasticité, endommagement (avec ses phases d'initiation, de propagation et de rupture), qui sont les plus gourmandes en termes de modélisation et de calcul.
- Les structures testées sont tridimensionnelles, multi matériaux (métaux, polymères, composites dont le comportement orthotrope ne simplifie pas la tâche) et aussi discontinues, avec de très nombreuses et diverses liaisons (rivetées, soudées, collées) apportant chacune ses propres problématiques et difficultés.
- Les chargements étudiés peuvent aussi être « multi-physiques » : couplage fluide/structure, notamment pour les problématiques d'amerrissage, de tenue des réservoirs au crash et aux sollicitations de type "coup de bélier hydrodynamique" consécutives aux agressions balistiques.
- Lors d'un même essai, les mesurandes sont variés : force, déplacement, déformation, pression, accélération, vitesse, température, etc. et relevés en tout point

jugé pertinent de la structure. Les étendues de mesures peuvent s'étaler sur plusieurs décades, souvent trois, ce qui impose généralement une duplication de l'instrumentation pour couvrir tout le domaine de mesure avec la précision requise.

- En fonction de la vitesse d'essai, une attention particulière doit être apportée à la maîtrise des artefacts de mesure liés aux forces d'inertie, à la résonance des capteurs et à l'équilibre des forces.
- Les réponses étudiées sont par nature furtives et complexes, de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes, imposant d'utiliser des technologies d'instrumentation présentant des bandes passantes très élevées, en complément de moyens de cinématographies rapides (voire ultra-rapide : 400,000 images/s pour la balistique, la détonique ou la fissuration), ceci afin d'être en mesure d'observer et de comprendre la phénoménologie et la physique des processus d'endommagement et de ruine.
- La nature tridimensionnelle des structures et la distribution spatiale hétérogène des déformations favorisent la généralisation du recours aux mesures de champ par stéréo-corrélation d'images à haute cadence, jusqu'à 20,000 images/s voire plus. Malgré les contraintes que cela induit sur les coûts, la synchronisation, l'éclairage, etc., cette technique permet en effet une comparaison calcul/essais plus riche, en confrontant les résultats d'essais et de simulation sur des surfaces entières.

Il n'en reste pas moins que la résolution de l'ensemble de ces spécificités expérimentales doit toujours être assujettie aux exigences prioritaires de sécurité tant pour le personnel, les équipements onéreux mis en place au plus près de la structure, que pour l'intégrité de la Tour de crash elle-même.

On comprend bien au vu de la complexité et la diversité des essais, que la faisabilité des essais sera traitée au cas par cas. Pour cela, le laboratoire a développé un modèle numérique de l'installation permettant d'identifier les points durs. Cette conception originale permet (théoriquement avec toutes les réserves liées aux limitations des capacités de calcul dynamique), lors d'un essai destructif, d'affiner préalablement par la simulation la configuration de l'essai en prenant en compte les éléments constitutifs de la Tour de crash et l'instrumentation mise en œuvre.

Cette installation inaugurée le 11 décembre 2002 dans le centre ONERA de Lille en impose par sa stature (voir Figures 1 et 2). Mais c'est essentiellement sa modularité, la qualité de ses équipements et surtout l'expérience de ses équipes qui en font un moyen de recherche d'exception, d'envergure internationale.

Les résultats numériques validés par cette installation innovante fournissent - après transfert de compétences aux bureaux d'études concernés - données et modèles, permettant d'améliorer la conception, d'augmenter la confiance et d'optimiser les performances des appareils. Très vite reconnue, dès 2004, le commissaire européen à la recherche Philippe Busquin (voir Figure 3) vint, à ses pieds, souligner l'exemplarité des travaux réalisés par le tandem ONERA-DLR sur les nouveaux moyens du centre (voir la revue Envergure du 22 février 2004).

Figure 3. En 2004, présentation avant essai des spécificités de la tour de crash par son concepteur Jacky Fabis. À gauche Philippe Busquin (commissaire européen), au centre Denis Maugars (président de l'ONERA).

Depuis, l'installation a été mise à contribution dans de nombreux programmes principalement européens ou nationaux dont les plus notables sont : CRASURV *(Crash and Survivability)*, CRAVHI *(CRashworhiness of Aircraft for High Velocity Impact)*, CISIT (Campus international sur la sécurité et l'intermodalité dans les transports), SMAES (Smart Aircraft in Emergency Situation) du seventh framework programme, ADO (AIRBUS -DLR - ONERA), etc. (voir Figure 4). Ces recherches contribuent à faire progresser les connaissances dans le domaine dynamique, du crash, de l'impact ou même de l'explosion qui restent aujourd'hui au cœur des préoccupations de la communauté scientifique internationale.

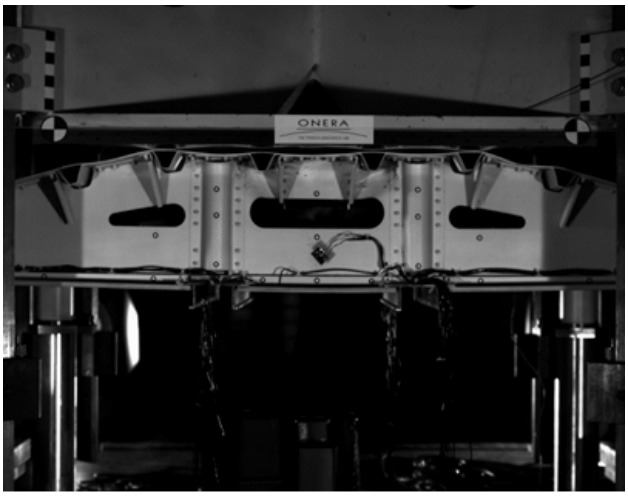
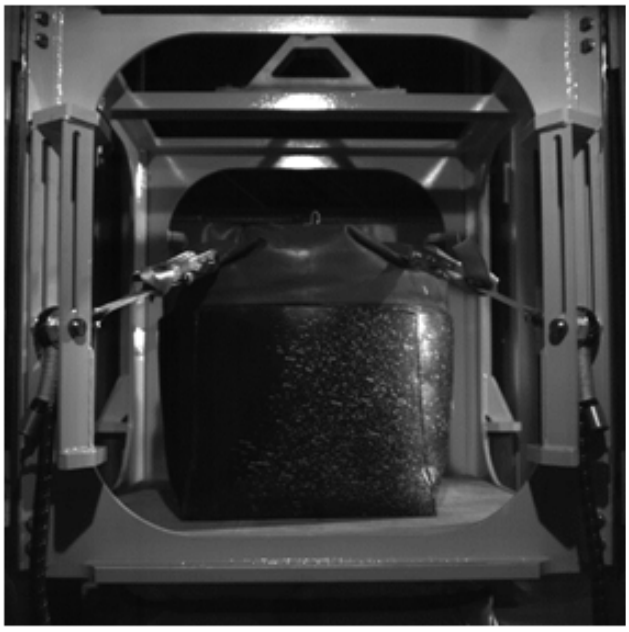


Figure 4. Essai de crash d'un tronçon de fuselage à la Tour de crash dans le cadre du projet ADO

Cette installation continue d'évoluer au cours du temps. Mentionnons ainsi les améliorations récemment réalisées dans le cadre des essais pour le projet FUI BALLOO. Pour cette étude, il était nécessaire d'accroître les capacités du moyen d'essais afin de réaliser des essais de crash de réservoirs souples d'hélicoptères avec des vitesses d'impacts plus proches des exigences de la certification (voir Figure 5). Pour cela, des sandows (élastiques) furent installés afin de pouvoir porter – en propulsant le chariot - la vitesse maximale de crash à 20 m/s. Pour la première fois aussi, les 150 kJ à l'impact furent atteints, ce qui augmente encore le potentiel de la Tour de crash de l'ONERA-Lille.

Aujourd'hui, l'installation - opérée par l'unité de Conception et Résistance Dynamique de l'ONERA/DMAS - reste une installation unique en Europe. Ses capacités et sa conception originale lui permettent aussi bien de réaliser des essais de crash sur des structures de taille importante que de permettre la réalisation d'essais de caractérisation sur des configurations de nouveaux matériaux nécessitant une énergie assez importante pour aboutir à la ruine de l'éprouvette. De plus, avec l'amélioration des caméras visibles rapides, il est maintenant possible d'instrumenter ces essais avec de la corrélation d'images numériques, ce qui permet d'obtenir des champs de déplacement sur la structure et donc d'accroître les capacités de dialogue essai-calcul. La Tour de crash continuera donc dans les années à venir à fournir des résultats permettant de valider et d'accroître les capacités de prédiction des simulations numériques pour le crash de structures, avec pour objectif de permettre à terme une réduction du cycle de développement des nouvelles structures. ■



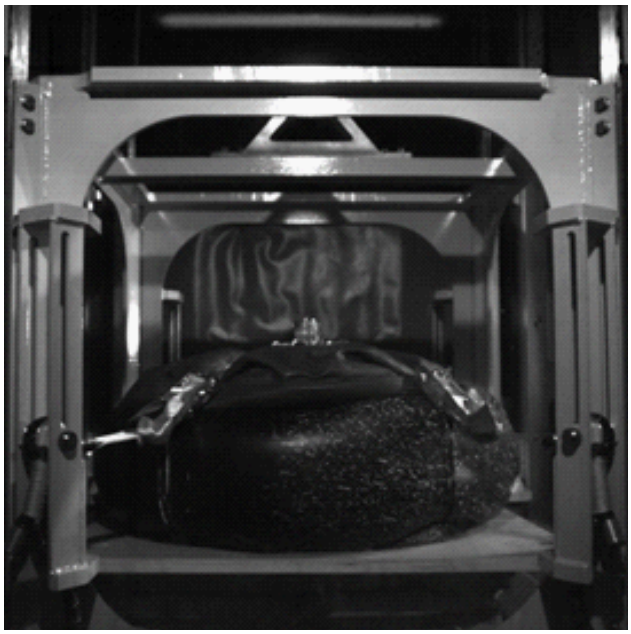


Figure 5. Essais de crash de réservoirs souples d'hélicoptères avant impact à gauche et au cours de l'impact à droite.

AÉRONAUTIQUE

LA PLATE-FORME CONTRAERO

par **Bruno Mialon**, ONERA

GENÈSE

Le transport et la mobilité sont l'une des priorités stratégiques de la région Hauts de France. C'est donc logiquement que les CPER (Contrat de projets état-région) soutiennent de grands projets régionaux structurants dans cette priorité :

- 2007-2014 : CISIT (Campus international pour la sécurité et l'intermodalité dans les transports),
- 2015-2020 : ELSAT 2020 (Écomobilité, logistique, sécurité et adaptabilité dans les transports à l'horizon 2020),
- et bientôt (2021-2027) RITMEA (Recherche et innovation en transports et mobilité eco-responsables et autonomes).

Pour fixer les idées, ce dernier projet s'appuiera sur un effectif de l'ordre de 350 chercheurs pour un total d'un peu moins de 100 équivalent-temps-plein, tous domaines confondus.

Ces projets CPER ont été l'occasion de définir une vision commune des orientations scientifiques pour chaque communauté de scientifiques concernée. Pour la mécanique des fluides, cette définition d'une perspective partagée a été orientée vers le contrôle d'écoulements dès le projet CISIT. Ce choix tenait d'une part aux antécédents des chercheurs, d'autre part à la complémentarité des sujets traités et enfin à la nature des infrastructures d'essais disponibles au sein des quatre laboratoires concernés à Valenciennes (TEMPO intégré depuis dans le LAMIH) et Lille (ONERA et LML aujourd'hui regroupés dans le LMFL, IEMN).

Après de premières collaborations fructueuses dans le cadre du CISIT, l'idée de créer une plateforme de moyens techniques autour du CONTRôle AERODynamique (CONTRAERO) s'est imposée assez naturellement vers fin 2013. CONTRAERO est un partenariat (accord signé début 2015) qui renforce les liens des établissements parties prenantes, par la mutualisation de compétences et de moyens complémentaires appliqués au secteur du transport. L'objectif poursuivi est une plus grande capacité d'impact et de valorisation des travaux et une plus grande synergie sur les sujets relatifs au contrôle d'écoulement.

MOYENS TECHNIQUES ACTUELS

Le périmètre des moyens expérimentaux est constitué de cinq composantes.

1. SOUFFLERIE DE COUCHE LIMITE « GRAND REYNOLDS » (LMFL)

Objectifs principaux

- Étude de la couche limite turbulente à grand nombre de Reynolds.
- Contrôle d'écoulement sur des maquettes 2D.

Dimensions

- Veine d'essais : 1 m×2 m, longueur 20 m transparente.
- Épaisseur de couche limite ~ 30 cm.

Configuration

- Circuit fermé.
- Circuit ouvert (visualisation par fumée).
- Mesure précise (HWA, PIV).

Vitesse d'écoulement de 0 à 10 m/s.
Température régulée à mieux que ±0,2°.
Intensité de turbulence <0,3%.

2. SOUFFLERIE L1 (LMFL)

Objectifs principaux
- Étude de l'aérodynamique 2D ou 3D.
- Contrôle d'écoulement sur des maquettes .
- Application transport aéronautique.

Dimensions
- Veine d'essais : diamètre 2,4 m, longueur 2,4 m.

Configuration
- Type Eiffel, veine ouverte ou fermée.
- Nombreux montages en mâts, dard ou parois pour maquettes 2D et 3D.

Vitesse d'écoulement de 0 à 70 m/s.
Intensité de turbulence ~ 0,3%.

3. SOUFFLERIE L2 (LMFL)

Objectifs principaux
- Caractérisation et contrôle d'écoulement sur des maquettes 3D.
- Application transport terrestre, maritime, bâtiments.

Dimensions
- Veine d'essais : 6 m×2,4 m, longueur 12,5 m.

Configuration
- Type Eiffel, veine fermée.
- Couche limite atmosphérique.
- Montages en paroi (plateau tournant de 6 m de diamètre), en mâts ou en dard.

Vitesse d'écoulement 0 à 20,m/s.
Intensité de turbulence ~ 0,6%.

4. SOUFFLERIE VEINE LONGUE (LAMIH)

Objectifs principaux
- Application transport terrestre et maritime.
- Caractérisation d'écoulement 2D et 3D.
- Contrôle d'écoulement (actif et réactif).

Dimensions
- Veine d'essais : 2 m×2 m, longueur 10 m.

Configuration
- Circuit fermé.
- Veine optique (transparente).
- Plateau tournant (+- 45°).
- Balance aérodynamique 6 composantes.

Vitesse d'écoulement de 0 à 60 m/s.
Intensité de turbulence <0,6%.

5. PLATE-FORME TECHNOLOGIQUE (IEMN)

Objectifs principaux
- Conception et élaboration de MEMS/NEMS fluidiques.

Centrale de micro/nano fabrication 1600 m²
- Ressources de lithographie, dépôts et gravures.
- Ressources de visualisations.

Centrale de micro/nano caractérisation 800 m²
- Caractérisations thermique, électrique et électro-mécanique.

Laboratoire de micro-fluidique 50 m²
- Bancs de visualisation optique ultrarapide de micro-écoulements.
- Bancs d'étalonnage et de caractérisation de micro capteurs et actionneurs.

Cet ensemble de moyens et les équipes associées sont doublement complémentaires :
- compétences : du développement multiphysique de systèmes micro-technologiques (capteurs et actionneurs) à la phénoménologie des écoulements, en passant par la mise en œuvre d'expérimentations complexes ;
- installations : de la turbulence de paroi aux écoulements autour de géométries complexes 3D.

PROJETS SCIENTIFIQUES

Adossé à la plateforme de moyens expérimentaux, un projet scientifique appelé CONTRATECH a été défini, dont l'objectif principal est de contrôler les écoulements de manière à optimiser et mieux maîtriser les forces aérodynamiques s'exerçant sur les véhicules terrestres, maritimes et aériens. Les acteurs de CONTRATECH s'appuient sur un triptyque disciplinaire :
- la mécanique des fluides pour la modélisation et l'analyse fine de la physique des écoulements, et pour le développement de moyens expérimentaux représentatifs de conditions réelles d'utilisation et la métrologie fine associée ;
- les micro/nanotechnologies pour la conception, la réalisation et la caractérisation d'actionneurs et de capteurs dédiés, capables d'être produits à grande échelle à des conditions commerciales compétitives ;
- les sciences du numérique (contrôle, information) pour concevoir des algorithmes d'identification, d'estimation et de contrôle en boucle fermée (donc en temps réel), basés sur les deux items précédents.

Ce projet scientifique s'est inscrit dans le cadre du CPER ELSAT2020 et a été mis en œuvre par des collaborations entre les laboratoires parties prenantes de la plateforme CONTRAERO, auxquelles ont été associés d'autres laboratoires (Laboratoire CRIStAL équipe « non A » d'INRIA Lille-Nord Europe et ponctuellement institut Pprime) : le caractère ouvert de la plateforme est une caractéristique importante qui contribue à en faire une entité fédératrice.

Dans le CPER RITMEA, qui démarrera en 2021, la suite de CONTRATECH a été définie avec le projet OCTAVE (Optimisation de l'aérodynamique et ConTrôle d'écoulement Appliqués aux VEhicules), qui en reprend les objectifs en les élargissant à la dynamique et au contrôle du vol. S'y ajoute une contribution au projet PROBUS-ESC (Planification et commande ROBUste et Sûre de véhicules en Environnements et Situations Complexes) pour ce qui concerne l'aérodynamique et la dynamique du vol des drones ; ce projet vise à accroître la sûreté de fonctionnement des véhicules intelligents. Ces deux projets OCTAVE et PROBUS-ESC s'appuieront massivement sur la plateforme CONTRAERO.

BILAN DE L'ACTIVITÉ

Tous les besoins en contrôle aérodynamique pour les transports sont considérés, sur des niveaux de maturité technologiques (TRL) allant de 1 à 4 voire 5 :
- analyse d'écoulement,
- conception et fabrication d'actionneurs,
- caractérisation d'actionneurs,
- intégration sur maquettes,
- essais en souffleries, métrologie avancée.

Il serait trop long de lister les nombreuses actions qui ont bénéficié de la plateforme CONTRAERO, dans une quinzaine de projets collaboratifs. Quelques exemples de réalisations mettant en œuvre les moyens de la plateforme sont détaillés dans l'article Contrôle d'écoulements en aérodynamique publié dans ce numéro de la lettre 3AF.

Au total, ce ne sont pas moins de 18 thèses de doctorat qui auront bénéficié de la plateforme CONTRAERO sur la période 2014-2020. Il convient d'y ajouter 18 post doctorats et environ 25 publications en revue à comité de lecture ou chapitres d'ouvrages. Ce bilan résulte d'actions inscrites dans le CPER, mais également de 13 projets contractuels collaboratifs, français ou européens, auxquels ont participé plusieurs PME françaises. Cette plateforme a également permis la mutualisation d'équipements, notamment en métrologie optique, offrant un effet de levier important sur la capacité des membres de la plateforme à proposer des expérimentations à forte valeur ajoutée.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La plateforme CONTRAERO adossée à un projet scientifique partagé permet de mutualiser des moyens techniques pour en faire un ensemble permettant d'étudier de manière efficace les nombreux verrous existants en contrôle des écoulements aérodynamiques. Ce partenariat de trois laboratoires est très interdisciplinaire et localisé sur un périmètre géographique concentré (Lille et Valenciennes), ce qui en fait une entité unique à l'échelle nationale. La mutualisation des moyens et compétences sous-jacente à la plateforme dynamise l'activité de recherche et l'activité collaborative, y compris avec les entreprises : cette plateforme se veut ouverte à tous les acteurs engagés dans le contrôle d'écoulements et plus largement désormais dans l'optimisation aérodynamique jusqu'à la dynamique du vol.

Après sept années d'existence qui ont permis de réaliser de nombreuses avancées et démonstrations, facilitées par le soutien des financements du CPER, la plateforme va entrer dans une nouvelle phase d'investissements et va être élargie à d'autres moyens techniques originaux, notamment la soufflerie verticale et le laboratoire de vol libre du centre ONERA de Lille, en cohérence avec deux projets scientifiques du nouveau CPER en cours de démarrage.

Remerciements

L'auteur remercie Quentin Gallas et Jean-Marc Foucaut pour leurs contributions à cet article. Sont aussi remerciés la Fédération de recherche transports terrestres et mobilité (FR3733) et les financeurs (région Hauts-de-France, DRARI Hauts-de-France, tutelles des laboratoires, parties prenantes contractuelles).

■

UNE EXPERTISE DU CENTRE ONERA DE LILLE : CONCEVOIR ET RÉALISER DES MAQUETTES AÉRODYNAMIQUES DE HAUTE TECHNICITÉ

par **Frédéric Ternoy, Gilles Outtier** et **Emmanuel Eglinger**

ORIGINE DE L'ACTIVITÉ MAQUETTE À LILLE

La simulation numérique en aérodynamique connaît depuis plusieurs décennies un progrès considérable du fait non seulement de l'augmentation de la puissance des processeurs informatiques bien sûr, mais également grâce à l'amélioration des modèles utilisés. Si ces outils permettent aujourd'hui de prédire de manière très précise le comportement d'un fluide en interaction avec un solide, nombre de phénomènes sont encore difficiles à modéliser, comme ceux rencontrés aux limites de l'enveloppe de vol (décrochage, tremblement), et nécessitent le recours à l'expérimentation pour les étudier.

Dans le domaine de l'aéronautique, compte tenu de la dimension des phénomènes à reproduire, on comprend assez aisément que la validation expérimentale passe par l'utilisation de maquettes à échelle réduite testées, dans la grande majorité des cas, dans des moyens d'essais dédiés que sont les souffleries aérodynamiques.

L'activité maquette à l'Institut de Mécanique des Fluides de Lille, qui sera rattaché à l'ONERA en 1983, a débuté à la fin de la Seconde Guerre Mondiale. La création d'un atelier sur ce site (voir Figure 1) s'est avérée indispensable pour disposer des compétences nécessaires à la réalisation de maquettes destinées à être testées dans ses installations d'essais de vol libre : soufflerie verticale, bassin d'amerrissage et catapulte.

Figure 1. L'atelier de réalisation de maquettes à ses débuts

Les maquettes ont progressivement gagné en complexité. Dans les années 1970, ce service est notamment reconnu comme étant un acteur incontournable pour les essais de flottement, dont l'objectif est d'analyser le couplage entre la structure de l'aéronef et l'écoulement, et pour lesquels la conception et la réalisation de la maquette sont particulièrement délicates. Celle-ci doit en effet respecter des règles de similitude très contraignantes telles que la conservation du rapport des masses volumiques du fluide et de la structure, la répartition des rigidités et la répartition des masses (voir Figure 2).

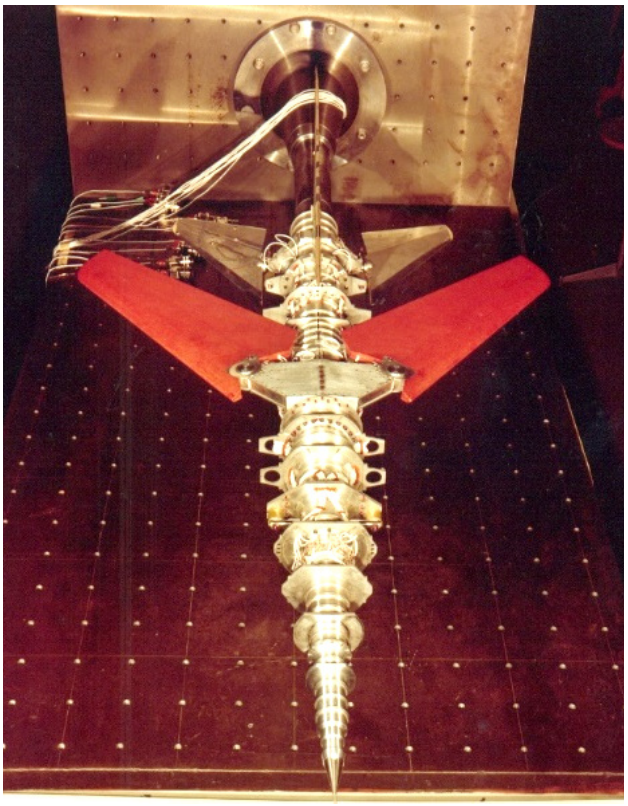


Figure 2. Structure interne d'une maquette de flottement (Mirage G8)

Suite au rattachement à l'ONERA, l'activité se diversifie encore pour répondre aux besoins des Directions de l'Aérodynamique et des Structures. On peut notamment citer durant cette période les travaux menés sur les

techniques d'aspiration de couche limite qui feront l'objet de nombreux essais dans la soufflerie F2 du Fauga-Mauzac, ou encore les études liées à la compréhension du phénomène du tremblement avec, notamment, le recours à une maquette élastiquement semblable à S1MA. C'est à la fin des années 1990, que l'entité est intégrée à la Direction des Souffleries, avec pour mission d'étudier et de réaliser, ou faire réaliser, des maquettes complexes ou exigeant une technicité particulière pour les clients internes ou externes à l'ONERA.

Aujourd'hui appelé DMS pour « Dispositifs et Maquettes Spécifiques », ce service fait partie du Département Soufflerie Ingénierie et Maquettes (DSIM). Son équipe est composée de six ingénieurs et quatorze techniciens, et comprend :

- un bureau d'études et des méthodes ;
- un atelier d'usinage (fraisage, tournage, électroérosion) ;
- un atelier de mise en œuvre des composites ;
- un atelier de finition et d'intégration ;
- un laboratoire d'électronique (instrumentation, motorisations).

LA MAQUETTE : UN INSTRUMENT DE MESURE

Une maquette est un outil permettant de simuler à une échelle donnée un phénomène physique qu'il serait trop difficile d'analyser à l'échelle 1.

Dans le domaine de l'aérodynamique, les maquettes sont notamment utilisées pour reproduire et quantifier les interactions entre un objet en mouvement et le milieu fluide dans lequel il évolue. Pour ces applications, le gain que représente le recours aux essais à l'échelle réduite, et plus particulièrement en soufflerie, est évident en comparaison aux essais en vols, non seulement en ce qui concerne les coûts, mais aussi au niveau de la gestion des risques.

Comme l'ensemble des moyens expérimentaux qui sont mis en œuvre dans ce type d'essai, qu'il s'agisse des bancs, des souffleries ou encore des chaînes de mesures, la maquette se caractérise par sa grande précision et par son instrumentation.

La précision géométrique d'une maquette est typiquement de l'ordre du dixième de millimètre par rapport à une forme de référence théorique, et du dixième de degré par rapport à un angle de calage visé de cette forme. En ce qui concerne son instrumentation, elle se compose généralement de prises de pression, permettant de déterminer le champ de pression autour de l'objet, et d'une balance destinée à mesurer les composantes du torseur des efforts aérodynamiques. À cela peuvent s'ajouter des capteurs de tous types : pression instationnaire, température, accélération, etc.

Il est facile de comprendre la nécessité de respecter de manière précise la géométrie de l'objet que l'on souhaite étudier, mais la similitude en aérodynamique fait intervenir d'autres grandeurs qu'il convient de « mettre à l'échelle » également pour garantir que les résultats de l'essai soient transposables à l'échelle 1.

Sans entrer dans le détail, on peut citer deux exemples de ces mises à l'échelle. La similitude de Froude, qui permet de conserver le rapport entre les forces d'inertie et les forces aérodynamiques, est notamment appliquée aux essais de vol libre pour lesquels elle peut être considérée comme prépondérante pour assurer la précision de la trajectoire de l'aéronef étudié. Dans ce cas, l'équipement est évidemment embarqué dans la maquette et la complexité réside dans le fait que celle-ci doit être légère tout en respectant les centrage et inerties du modèle (voir Figure 3).

Figure 3. Maquette de vol libre VELA 1 réalisée en composite, bois, mousse et aluminium, et testée sur la catapulte du laboratoire B20 du centre ONERA de Lille. On peut noter la trappe centrale d'accès au rack d'équipement embarqué.

Dans une soufflerie horizontale, c'est le fluide que l'on met en mouvement par rapport à la maquette qui, dans ce cas, est maintenue par un support. Lorsqu'il est notamment question de véhicules dont la vitesse est élevée, on applique à l'écoulement les règles des similitudes de nombre de Mach et de Reynolds, qui assurent respectivement la représentativité des

UNE EXPERTISE DU CENTRE ONERA DE LILLE : CONCEVOIR ET RÉALISER DES MAQUETTES AÉRODYNAMIQUES DE HAUTE TECHNICITÉ

Figure 4. LRMF1 - maquette de référence ONERA dans la soufflerie F1 du centre ONERA du Fauga-Mauzac

phénomènes liés à la compressibilité et à la viscosité de l'air. Pour y parvenir, certaines souffleries ont la possibilité d'augmenter la pression dans la veine d'essai, on parle de soufflerie pressurisée (soufflerie F1 du Fauga-Mauzac, soufflerie S2M du centre ONERA de Modane-Avrieux). Pour la maquette, cela se traduit alors par des efforts aérodynamiques particulièrement importants (voir Figure 4). Pour agir indépendamment sur les nombres de Mach et de Reynolds, il est possible de recourir aux souffleries cryogéniques. Dans ce cas, en plus des sollicitations mécaniques liées à ces efforts, la maquette et ses équipements doivent être conçus pour supporter des températures qui peuvent descendre jusque 150K.

Ces deux règles de similitude sont probablement les plus utilisées dans ce domaine d'activité. Cela dit, d'autres similitudes peuvent être appliquées pour des essais plus spécifiques, comme, par exemple, la conservation du rapport entre déformation et coefficient de pression pour les maquettes élastiquement semblables, ou encore la conservation du coefficient de quantité de mouvement pour l'efficacité de jets dans le domaine du contrôle des écoulements.

LES MAQUETTES COMPLEXES À L'ONERA

S'il existe en France et ailleurs de nombreux acteurs capables de concevoir et/ou de fabriquer des maquettes de soufflerie, l'ONERA fait partie des rares organismes qui ont su se spécialiser dans l'étude, la réalisation et la mise au point de maquettes complexes.

Qu'il s'agisse de modéliser un phénomène physique particulièrement difficile à simuler de manière précise, ou de proposer des solutions permettant d'accroître la productivité des essais en soufflerie, les techniques à mettre en œuvre nécessitent d'être innovant à chaque niveau de l'élaboration d'une maquette, de la conception à l'intégration, en passant par les techniques de fabrication et d'équipement.

Ces dernières années, le service DMS a démontré notamment cette capacité à innover dans les deux domaines de pointe que sont les motorisations de gouvernes et les actionneurs fluidiques.

La motorisation de gouvernes : un gain en productivité

Dans le cadre du développement d'un aéronef par exemple, l'industriel souhaite tirer un maximum d'informations des mesures réalisées en soufflerie. Cela se traduit non seulement par l'implantation d'un nombre important de capteurs dans la maquette, mais aussi, dans la grande majorité des cas, par une grande variété des configurations testées au cours de la campagne d'essai, et notamment en ce qui concerne le calage des gouvernes de la maquette.

La solution standard pour modifier l'angle de braquage de ces surfaces de contrôle consiste à intervenir directement et manuellement sur la maquette pour remplacer les éléments mécaniques concernés, typiquement des pattes de calage ou les gouvernes elles-mêmes (voir Figure 5). Les temps nécessaires à ces changements sont assez variables et dépendent non seulement de la complexité des opérations de démontage et de remontage des pièces, mais aussi de l'accessibilité de la maquette. Pour donner un ordre d'idée, ce genre d'opération peut représenter un arrêt des essais qui varie entre quelques minutes, pour une soufflerie atmosphérique à veine ouverte, jusqu'à plus d'une demi-journée pour une soufflerie pressurisée cryogénique. Dans certains cas, le recours à la motorisation de ces gouvernes présente donc un réel intérêt pour les clients.

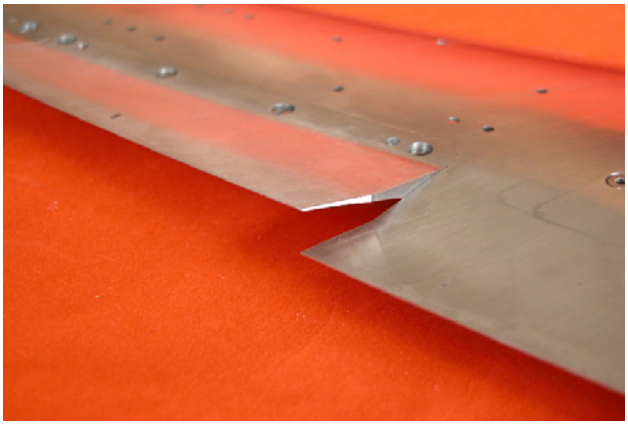


Figure 5. Exemple d'une solution standard de changement de calage : à chaque calage correspond une gouverne démontable

La complexité des solutions à mettre en œuvre ne réside pas uniquement dans l'intégration du moteur lui-même et de la chaîne cinématique qui permettra le fonctionnement du mécanisme. Elle est surtout liée à la manière dont seront agencés et utilisés ces éléments pour parvenir à un résultat équivalent, du point de vue de la précision géométrique et de la tenue aux efforts aérodynamiques, à celui obtenu grâce à des méthodes non motorisées. Cela est d'autant plus vrai, lorsque les volumes disponibles sont faibles et les efforts considérés importants.

Pour répondre à ce besoin, des solutions techniques de motorisations sont développées et mises en œuvre par DMS de manière à :

- limiter les efforts aérodynamiques auxquels les moteurs sont exposés afin de les rendre compatibles avec les faibles volumes disponibles,
- garantir la précision du calage lors du verrouillage de la position de la gouverne, c'est-à-dire via un système très rigide, avec un minimum de jeu,
- pouvoir contrôler géométriquement la position de chaque calage une fois verrouillé avec des moyens conventionnels, avant d'effectuer la livraison de la maquette, ce qui permet de fournir au client une valeur très précise des braquages qui seront testés en soufflerie (voir Figure 6).

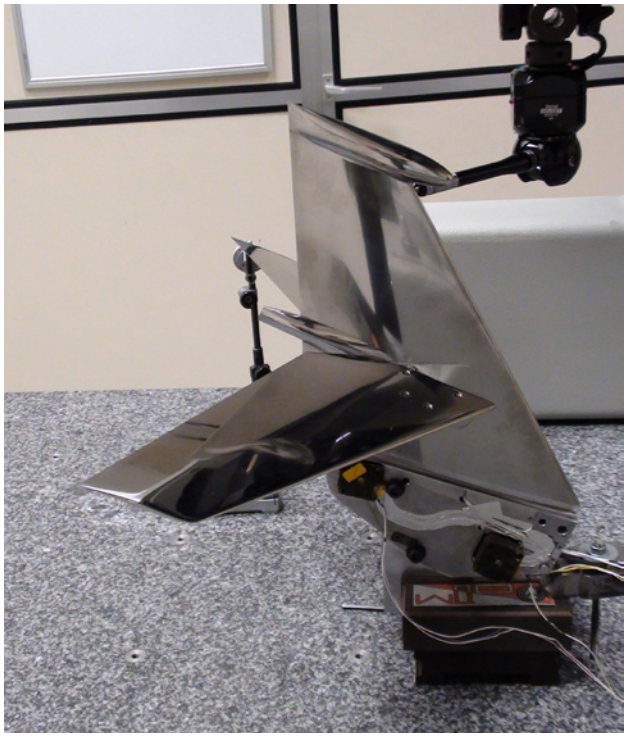


Figure 6. Motorisation d'empennage pour essais en conditions cryogéniques sur maquette de Falcon Générique – sur la photo, le dispositif est en cours de contrôle sur machine à mesurer tridimensionnelle – chaque calage, une fois verrouillé, est mesuré avant intégration du sous-ensemble dans le fuselage de la maquette

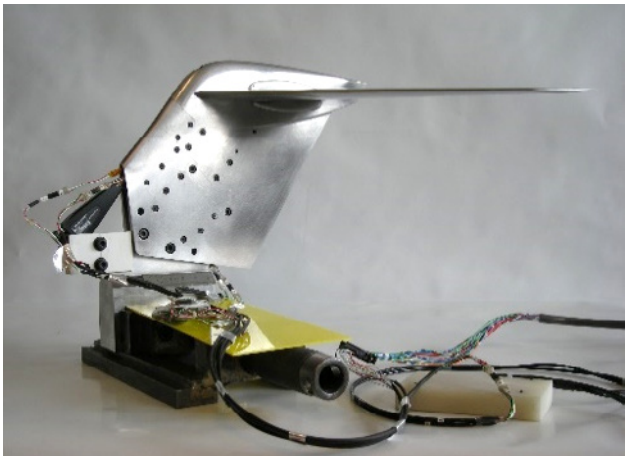
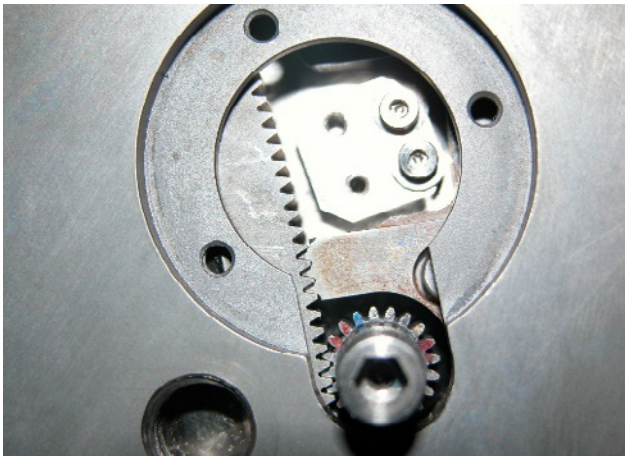



Figure 7. Motorisation d'empennage en T sur avion d'affaire, testée dans la soufflerie S2 du centre ONERA de Modane-Avrieux ; détail d'une solution d'entraînement et de verrouillage réalisée par engrainement

Outre la complexité de conception de tels dispositifs, leur mise au point nécessite une excellente maîtrise des techniques d'ajustage des mécanismes qui les composent (voir Figure 7).

Si les volumes sont très contraints pour les moteurs et les cinématiques associées, un effort de miniaturisation est indispensable également pour les capteurs de recopie nécessaires à leur pilotage.

Un point important concerne la commande de ces systèmes complexes. Pour toute motorisation, une interface de pilotage gérée par ordinateur (voir Figure 8) permet non seulement d'améliorer la visibilité pour l'ingénieur d'essai des informations et des commandes associées au système (affichages des consignes, des mesures capteurs, d'indicateurs de surveillance du système, etc.), mais aussi d'intégrer une communication directe avec le système de commande des installations d'essais. On peut ainsi automatiser l'envoi des consignes de changement de configuration. La maquette, y compris ses gouvernes, se trouvant alors entièrement pilotée depuis la salle de contrôle de la soufflerie, on augmente encore la productivité des essais.

Le contrôle fluidique des écoulements intégré aux maquettes

Depuis le début des années 2000, de nombreux travaux sont menés par les acteurs de la recherche aéronautique dans le domaine du contrôle fluidique des écoulements. L'objectif est d'améliorer les performances

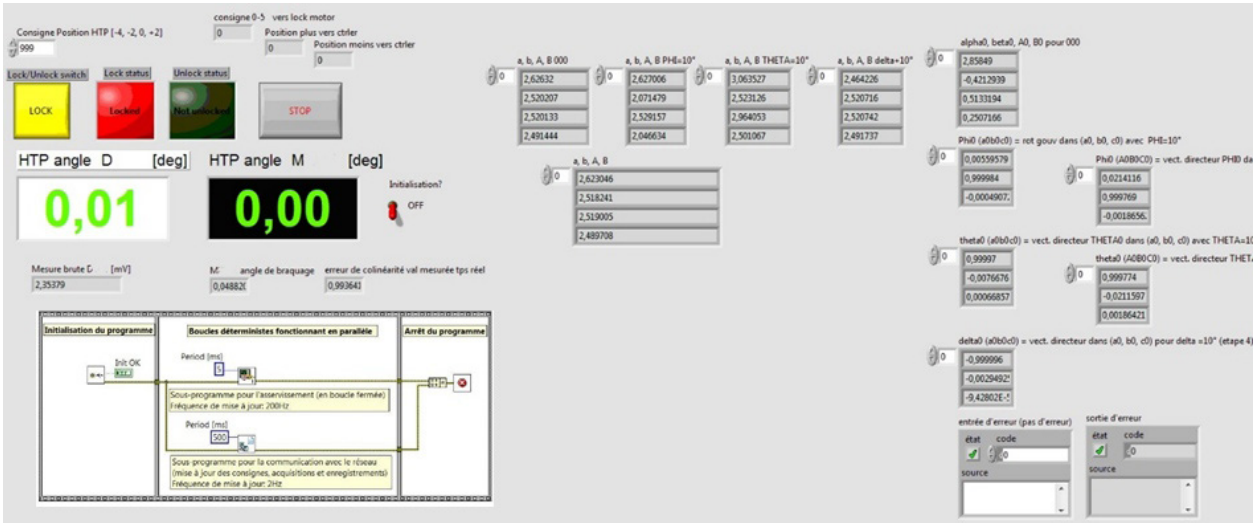


Figure 8. Exemple d'IHM développé pour le système de pilotage d'une motorisation

aérodynamiques d'un véhicule non pas en modifiant sa géométrie, mais grâce à l'action sur l'écoulement environnant de jets fluidiques judicieusement positionnés et orientés à la surface de l'objet testé. Les phénomènes physiques étudiés nécessitent d'être validés expérimentalement en soufflerie, ce qui a conduit à un besoin nouveau en ce qui concerne les maquettes, qui doivent aujourd'hui intégrer des actionneurs fluidiques permettant de réaliser ces simulations à l'échelle réduite.

Compte tenu des caractéristiques des actionneurs en question, il est en général nécessaire de concevoir entièrement les dispositifs pour que ceux-ci soient compatibles avec la précision attendue dans la simulation de ces jets. Le service DMS a notamment été amené à développer deux types d'actionneurs pour répondre aux demandes des chercheurs dans ce domaine : les jets pulsés et les jets synthétiques.

Les générateurs de jets pulsés se présentent sous la forme de micro-vannes alimentées par de l'air comprimé et dont la fréquence et le rapport cyclique sont pilotables. Le cahier des charges spécifie généralement trois principales caractéristiques : la fréquence, la vitesse et la géométrie des orifices d'éjection du fluide (forme, dimension, orientation, localisation).

La fréquence dépend du phénomène à contrôler et peut varier entre quelques dizaines et quelques centaines de Hz, voire jusqu'au kHz. En fonction de la bande passante, on optera pour l'élément actif adapté (typiquement piézoélectrique ou électromagnétique).

La vitesse du fluide au moment de son éjection est un paramètre prépondérant dans le calcul de l'efficacité du jet. En première approximation, on peut considérer que celle-ci doit être au minimum égale à deux fois la vitesse locale de l'écoulement pour que le contrôle fluidique ait un effet significatif. Cette règle impose donc notamment une vitesse supersonique du jet au niveau de l'orifice, lorsqu'il est question de contrôle en conditions transsoniques. Il s'avère dans ce cas nécessaire de recourir à l'utilisation de tuyères miniatures associées à des niveaux de pression élevés dans le corps de vanne.

La géométrie des orifices va quant à elle imposer le mode d'intégration de l'actionneur dans la maquette. Dans la plupart des cas, la forme des conduits (de type « trous » ou « fentes ») qui définit la forme des jets, est trop complexe pour que ceux-ci soient facilement intégrés dans le corps de vanne. On les déporte alors, lorsque le volume disponible le permet, dans des capots rapportés sur la maquette (voir Figure 9).

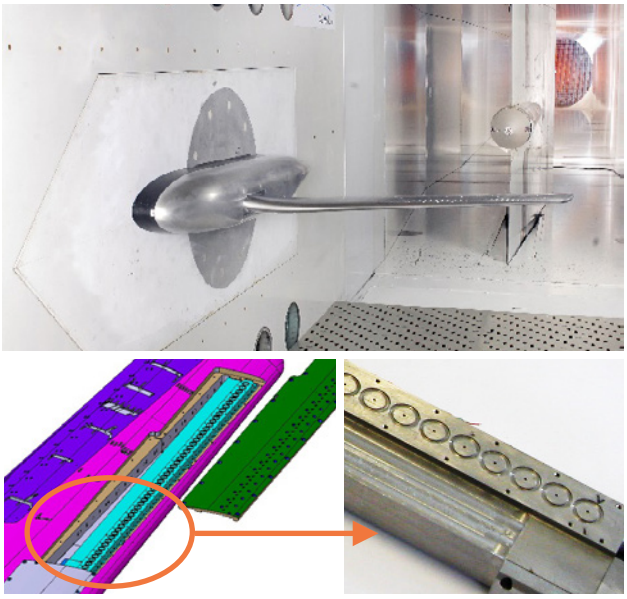


Figure 9. Maquette BUFET'N CO testée à S2MA et équipée de jets pulsés ; 50 orifices de diamètre 1 mm avec tuyères inclinées par rapport à la forme maquette ; pilotables indépendamment jusqu'à 1 kHz ; ouverture progressive des vannes qui permet de contrôler la vitesse des jets entre 0 ms^{-1} et 680 ms^{-1} (Mach 2) ; les micro tuyères inclinées sont intégrées dans un capot dédié (en vert sur l'image en bas à gauche)

Les générateurs de jets synthétiques diffèrent des jets pulsés par le fait qu'ils sont à débit massique moyen nul, et ne nécessitent donc pas d'alimentation en air comprimé, ce qui simplifierait notablement leur intégration dans le cas d'une application à l'échelle 1. Leur fonctionnement est basé sur le principe de la seringue : un piston en mouvement dans une cavité aspire et éjecte alternativement une petite quantité de gaz prélevé dans l'écoulement environnant le véhicule (voir Figure 10).

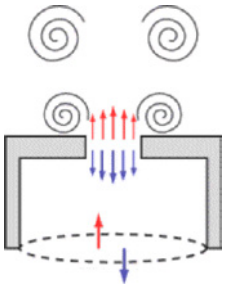


Figure 10. Schéma de principe de l'actionneur à jets synthétiques

UNE EXPERTISE DU CENTRE ONERA DE LILLE : CONCEVOIR ET RÉALISER DES MAQUETTES AÉRODYNAMIQUES DE HAUTE TECHNICITÉ

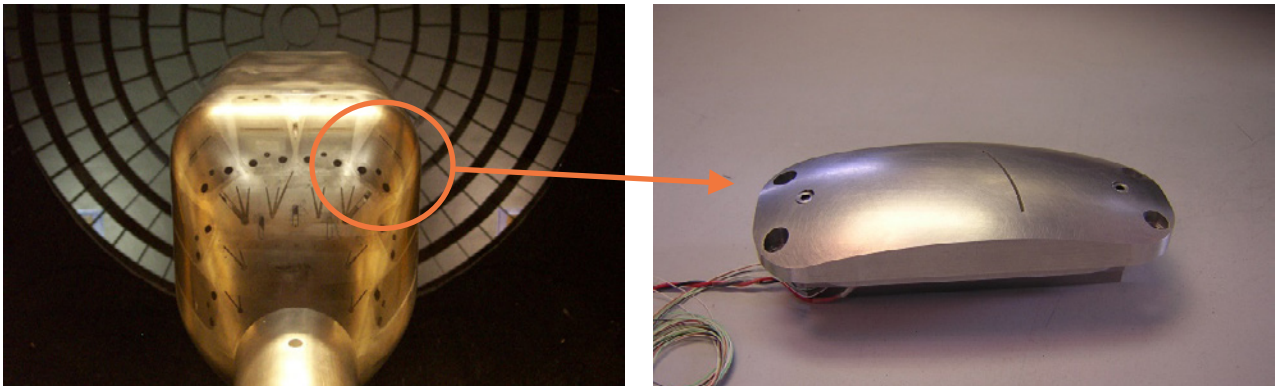


Figure 11. Maquette de fuselage d'hélicoptère GRC2 testée dans la soufflerie L1 du centre ONERA de Lille et équipée de 8 jets synthétiques ; 8 fentes de dimensions 0,67 mm x 30 mm inclinées par rapport à la forme maquette ; pilotables indépendamment jusqu'à 200 Hz ; vitesse maximale du jet 80 m.s⁻¹. À droite une vue de l'actionneur avant son intégration dans la maquette

Le dispositif est constitué d'un actionneur piézoélectrique mécaniquement amplifié qui assure la mise en translation du piston de manière étanche dans une chambre. Ce mouvement fait varier le volume de la cavité qui est munie d'un orifice permettant l'aspiration et l'éjection du gaz. L'avantage de cette architecture est qu'elle n'impose pas de fonctionner à la fréquence de résonnance du système pour obtenir un jet efficace : il est dans ce cas envisageable d'obtenir une vitesse de jet indépendante de la fréquence d'utilisation.

Les contraintes sont comparables à celles imposées aux jets pulsés (encombrement, respect de la géométrie, vitesse et forme du jet, etc.). Il s'agit cependant d'actionneurs dont le niveau de maturité technologique est bien inférieur à celui des micro-vannes : ils ont fait l'objet de développements spécifiques qui ont abouti au dépôt d'un brevet par le service DMS (voir Figure 11).

Quel que soit le type d'actionneur fluidique considéré, la précision reste une priorité et l'ONERA Lille a développé un banc de caractérisation dédié à ces activités. Au même titre qu'un contrôle géométrique valide la forme d'une maquette, ce banc permet de vérifier notamment la vitesse, la forme et la fréquence de ces jets (voir Figure 12).

PERSPECTIVES

Les travaux présentés dans cet article ont permis au centre ONERA de Lille d'acquérir une grande expérience dans le domaine des maquettes complexes. Les développements en cours aujourd'hui sur ces sujets ont pour ambition de pousser encore plus loin les capacités des maquettes en y intégrant des dispositifs plus performants. Dans le domaine de la motorisation des gouvernes, l'objectif à moyen terme est de proposer

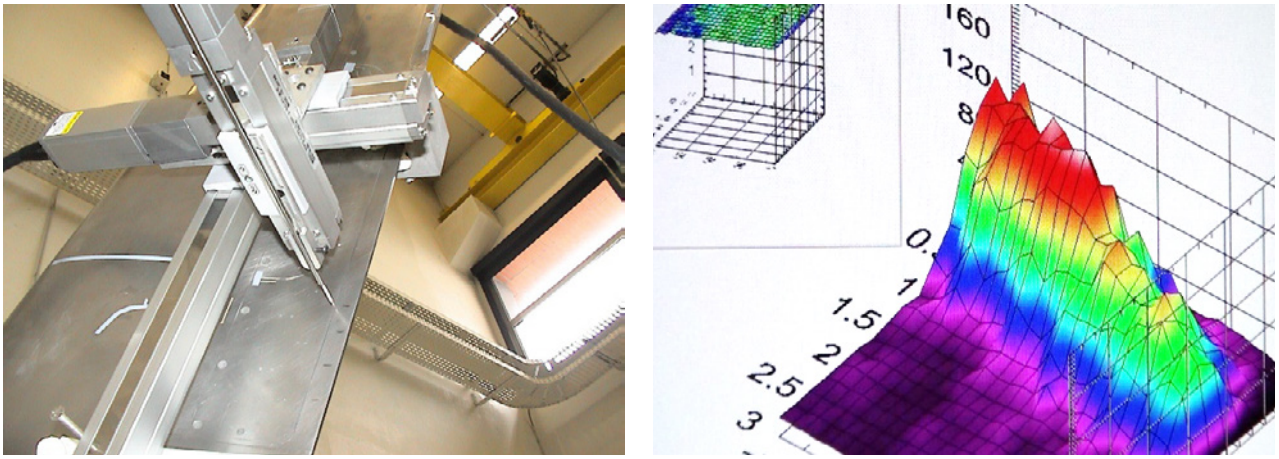


Figure 12. Caractérisation d'une fente pulsée, le dispositif de mesure est ici monté sur la maquette. À droite : exemple de restitution du profil de vitesse instantanée à la sortie de la fente

des solutions permettant de piloter simultanément et de manière continue, sous efforts aérodynamiques, toutes les surfaces de contrôle d'un aéronef. L'intégration dans ces dispositifs de balances locales capables de mesurer les efforts appliqués aux gouvernes est également considérée. Pour ce qui concerne le contrôle des écoulements, l'accent est aujourd'hui porté sur l'amélioration des actionneurs à jets synthétiques, en s'appuyant sur de nouveaux outils qui permettent à présent d'anticiper de manière précise leurs caractéristiques et donc d'en optimiser la conception.

D'autres actions sont menées avec pour objectif une meilleure qualité des prestations et l'anticipation des besoins des clients. L'instrumentation fait notamment l'objet de développements, par la validation de nouveaux capteurs plus compacts et plus précis, ou par la mise en œuvre de modes d'installation spécifiques permettant d'améliorer la discrétion de ces capteurs par rapport aux phénomènes à simuler. Les techniques de fabrications évoluent également avec notamment le recours à la fabrication additive métallique qui se généralise aujourd'hui, ouvrant la voie à d'autres architectures pour les maquettes de demain (voir Figure 13). Les nouveaux thèmes de recherche, enfin, comme l'avion électrique et la propulsion distribuée, sont autant d'opportunités pour continuer à innover.

Figure 13. Aile d'envergure 600 mm, réalisée par fabrication additive métallique dans le cadre du projet MATRIS3D – l'équipement en prises de pression est ici intégré à la matière

Remerciements

Les auteurs remercient Julien Dandois (ONERA) pour sa contribution à cet article.

Le projet VELA1 a été financé par le 5ème Programme Cadre Européen.
Les projets BUFET'N CO et MATRIS3D ont été financés sur fonds propres ONERA.
Les travaux sur les actionneurs à jets synthétiques et sur la caractérisation des actionneurs fluidiques ont été menés dans le cadre du projet européen JTI CleanSky SFWA.

Site internet de la Direction des Souffleries de l'ONERA : https://www.onera.fr/fr/souffleries ■

AÉRONAUTIQUE

CONTRÔLE D'ÉCOULEMENTS EN AÉRODYNAMIQUE

par **Bruno Mialon**, ONERA

Le contrôle d'écoulements est une approche qui consiste à modifier ou manipuler des écoulements de fluides en vue d'un objectif donné. Les applications potentielles sont nombreuses et variées, en particulier dans le domaine des transports terrestres et aériens.

Dès les années 1880, les premiers golfeurs s'étaient aperçus que certaines balles abîmées avaient une meilleure portée. Ce constat fût étudié de manière plus scientifique dans les années 1930 par William Taylor, industriel et golfeur, qui mit au point le concept de balle alvéolée. Les alvéoles permettent de déclencher la transition du régime laminaire au régime turbulent, ce qui a pour effet de retarder le décollement de la couche limite autour de la balle en rotation, et qui se traduit par une traînée aérodynamique réduite et donc une portée plus grande. Il s'agit d'un contrôle dit passif, car il ne joue que sur la forme de l'objet et sur la physique naturelle de l'écoulement.

Les premières expériences de contrôle actif des écoulements datent du début du 20ème siècle (« actif » signifie qu'il y a un apport d'énergie extérieur à l'écoulement initial) : dès 1904, Prandtl démontrait qu'une aspiration de couche limite sur un cylindre soumis à un écoulement pouvait générer de la portance. En France, Philippe Poisson-Quinton théorisa dans les années 1950 la distinction entre contrôle de circulation et contrôle de la couche limite ; ces travaux lancèrent la dynamique autour du contrôle d'écoulements dans l'hexagone.

Le contrôle d'écoulement est donc né voilà plus d'un siècle et malgré cela, il est très loin d'être généralisé. L'exemple le plus connu de dispositifs de contrôle concerne les générateurs de vortex que l'on trouve notamment sur les ailes de la plupart des avions Boeing (voir Figure 1).

Pourquoi le contrôle « actif » des écoulements n'est-il toujours pas utilisé sur nos véhicules aériens ? Ceci tient à un ensemble de facteurs comme le gain d'efficacité globale (à l'échelle du système, prenant en compte les bilans énergétiques, masse, impact sur les opérations, etc.), la complexité technologique et la certificabilité (taux de panne). La conception et l'évaluation globale de solutions de contrôle d'écoulement font appel à

Figure 1. Exemple de générateur de vortex sur B737-800
https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/aerodynamics/vortex-generators/ 03/12/2020

de nombreuses disciplines, quel que soit le niveau de maturité considéré : les travaux de nature académique à bas TRL *(Technology Readiness Level)* requièrent le plus souvent des spécialistes de l'aérodynamique, de la simulation numérique, de l'automatique, du traitement du signal et des expérimentateurs. Leur montée en TRL jusqu'à l'industrialisation requiert en plus des spécialistes de conception et d'évaluation globales, de systèmes ou de certification. Il s'agit donc d'un terrain intrinsèquement transdisciplinaire.

Le degré de mobilisation de la communauté scientifique et industrielle sur ces sujets a été variable depuis les années 1950. Aujourd'hui, les enjeux et ambitions dans les domaines aéronautiques civils (décarbonation) et défense (Système de combat aérien du futur ou SCAF, hypersonique) ravivent l'intérêt pour le contrôle d'écoulement. Une session transdisciplinaire « *flow control for aerospace* » était d'ailleurs au programme du congrès EUCASS-3AF 2021 initialement prévu du 4 au 9 juillet à Lille, pour réunir la communauté et faire le point sur l'état de l'art et les perspectives.

Le présent article propose un tour d'horizon du contrôle actif d'écoulements. Les grands principes d'application et de fonctionnement seront décrits succinctement, ainsi que les technologies associées. Le propos sera illustré par quelques exemples de travaux et d'applications, pour la plupart conduits en région Hauts-de-France, ainsi que quelques perspectives.

PRINCIPES ET TECHNOLOGIES

Le contrôle d'écoulements consiste à perturber localement un écoulement en vue d'un objectif donné, sous tendu par une physique spécifique. Le tableau 1 présente les principaux exemples sur lesquels des efforts de recherche significatifs ont été consentis ces dernières décennies dans le domaine aéronautique et défense, pour ce qui concerne l'aérodynamique.

Le contrôle d'écoulements a aussi potentiellement de nombreuses applications multidisciplinaires non abordées ici, en aérostructure (réduction de chargements dynamiques sur voilures), aéroacoustique, aérothermique, combustion, etc.

	Phénomène contrôlé	Effet recherché / objectif
Ecoulements pariétaux	Circulation aérodynamique	Augmentation de la portance
	Effet Coandă	Vectorisation
	Décollement de couche limite	Augmentation de l'efficacité des volets, de la portance maximale, réduction de traînée
	Interaction onde de choc / couche limite	Réduction de traînée d'onde
	Transition laminaire/turbulent	Réduction de traînée visqueuse
	Frottement turbulent	Réduction de traînée de frottement
Ecoulements libres	Tourbillons de sillage	Sécurité du vol, traînées de condensation
	Tourbillons issus d'une surface (apex, cassure de flèche, etc.)	Augmentation de portance, linéarité accrue des coefficients aérodynamiques sur le domaine de vol, etc.
	Tourbillons issus d'une surface (avant-corps ou pointe avant)	Manœuvrabilité
	Ecoulements de cavité	Réduction de l'intensité turbulente, réduction de bruit
	Ecoulements de culot	Réduction de traînée
Ecoulements tournants	Ecoulements de jeu d'extrémité d'aubes	Augmentation de rendement
	Décrochage tournant	Réduction de la marge au pompage
Ecoulements internes	Décollement en diffuseur de compresseur centrifuge	Augmentation de rendement
	Décollement en entrée d'air supersonique	Augmentation de rendement, réduction marge au pompage (buzz)

Tableau 1. Exemples de phénomènes contrôlés et objectifs de solutions de contrôle

Pour chaque couple (objectif, phénomène physique en jeu), il est nécessaire de définir le mode d'action du contrôle, appelé actionneur. En contrôle actif, l'actionnement peut être opéré en boucle ouverte ou en boucle fermée, c'est-à-dire avec rétroaction de l'état du système sur la commande de l'actionneur. Dans ce dernier cas, il est nécessaire de disposer d'une mesure de l'état du système ou plus précisément du phénomène à contrôler, et également, d'un système permettant de transformer l'information en commande de l'actionneur, le plus souvent en s'appuyant sur une représentation théorique et simplifiée du système (modèle réduit).

ACTIONNEURS

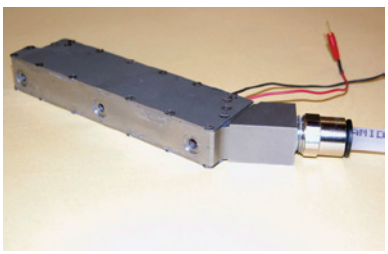
Les actionneurs passifs jouent sur la forme de l'objet. Un exemple répandu est le « générateur de tourbillons » que l'on dispose sur les ailes de certains avions (voir Figure 1). Dès lors que l'on veut rendre le contrôle « actif », on peut imaginer des actionneurs mécaniques, qui consistent à mettre un composant mécanique en mouvement. C'est par exemple le cas des petits déflecteurs à calage motorisé, que l'on vient implanter au bord de fuite d'une voilure pour réaliser du contrôle de charge.

Une grande majorité des études utilise des actionneurs fluidiques, qui sont des dispositifs généralement de petite taille, permettant de mettre de l'air en mouvement, pour générer un jet (soufflage) ou une aspiration. La géométrie des orifices d'actionnement est variée : on trouve des trous ronds, des fentes de rapports d'aspects très variables ou des tôles perforées. Ces orifices peuvent générer des soufflages ou aspirations d'inclinaison normale par rapport à la paroi locale, tangentielle ou avec une inclinaison intermédiaire. Sur un plan aérodynamique, le fait de souffler (aspirer respectivement) vient introduire (retirer respectivement) de la quantité de mouvement dans l'écoulement à contrôler. L'ajout de quantité de mouvement permet ensuite de retarder l'apparition des décollements de la couche limite qui sont néfastes aux performances aérodynamiques. Physiquement, cette quantité de mouvement peut également être ajoutée à l'écoulement par la génération de tourbillons dont la forme et l'intensité (vorticité) dépendent de la géométrie de l'orifice. La littérature scientifique a largement comparé l'impact des géométries d'orifice sur différents types de phénomènes à contrôler.

Au-delà de la géométrie de l'orifice, une autre grande caractéristique de l'actionneur est le caractère temporel de l'actionnement : ce dernier peut avoir lieu de manière continue permanente, de manière continue sur déclenchement (manuel ou par commande) ou de manière variable ou instationnaire, suivant un signal pouvant être harmonique, carré ou plus complexe. Ce dernier type d'actionneur permet d'introduire une perturbation dynamique (instationnaire) à laquelle l'écoulement et le phénomène à contrôler peuvent être sensibles : la fréquence (ou le contenu harmonique) de l'actionnement devient alors un paramètre direct du contrôle, au même titre que le débit ou la vitesse du soufflage ou de l'aspiration.

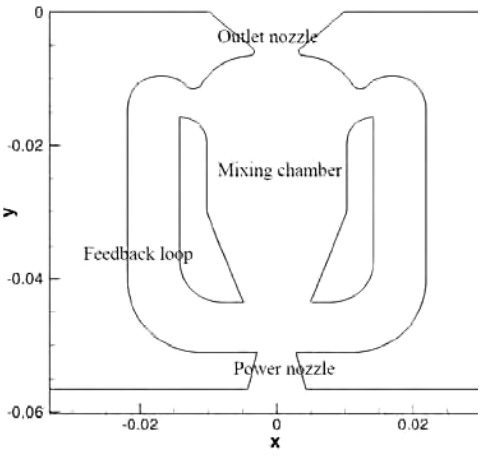
Si la manière de générer un jet ou une aspiration continue est assez conventionnelle, la génération de signaux variables dans le temps fait l'objet de nombreuses technologies, qui peuvent être classées en trois grandes catégories (voir Figure 2) :

Figure 2. Exemples d'actionneurs



a - Jets pulsés (extrait de [1]-03)

b - Jets synthétiques (extrait de [1]-03)



c - Principe du jet balayant (extrait du dossier HDR de J. Dandois)

- Actionneurs à jets pulsés : ils disposent d'une alimentation en air sous pression et contiennent une ou des valves de formes et actionnements divers : valves à actionnement mécanique (par un moteur électrique), électromagnétique, MEMS, etc. L'alimentation en air comprimé provient généralement d'un prélèvement sur un moteur de l'avion.
- Actionneurs à jets synthétiques : ces dispositifs puisent l'air qu'ils mettent en mouvement dans le milieu à contrôler, grâce à une phase d'aspiration suivie d'une phase de soufflage. Ainsi, on évite le recours à un prélèvement moteur et une simple alimentation électrique suffit au fonctionnement de l'actionneur.
- Actionneurs à jets balayants : cette technologie permet de générer un jet continu en intensité mais d'orientation variable dans le temps, à partir d'une alimentation en air comprimé. Ceci est obtenu en exploitant l'instabilité qui se forme pour certaines formes de conduits.

Le développement d'actionneurs est un champ d'activité à part entière, qui est à lui seul fortement multidisciplinaire. Il en est de même de la mesure des caractéristiques, qui est une étape indispensable pour évaluer leur comportement dynamique (e.g. fréquences de coupure) et identifier leur performance (e.g. cartographie de vitesses de soufflage ou d'aspiration en fonction du débit d'entrée). Des méthodologies spécifiques de mesure sont nécessaires compte tenu des tailles souvent très petites de jets (par exemple fente de 0,5 mm de large) : ce domaine spécifique de la métrologie est par exemple illustré dans la référence [1]. La caractérisation des actionneurs s'opère en général en laboratoire avant intégration dans la maquette ou l'avion.

Le contrôle d'écoulements étant une technologie complexe, souvent difficilement calculable avec précision et sur une large plage de paramètres, les expérimentations à échelle réduite en soufflerie sont un passage obligé pour la maturation d'une technologie donnée. Ceci nécessite des actionneurs capables de générer des effets en similitude avec les, ou extrapolables aux, conditions de vol réelles. Pour les essais en soufflerie, il faut concevoir des dispositifs ultra-compacts, respectant des spécifications aérauliques exigeantes. Chaque technologie d'actionneurs a ses avantages et ses limitations, notamment en termes de vitesse et fréquences d'éjection. Une différence importante entre les applications aéronautiques et les applications automobiles est souvent la vitesse de l'écoulement à contrôler et bon nombre de technologies d'actionneurs envisageables pour l'automobile ne le sont pas nécessairement pour l'aéronautique (notamment les MEMS qui présentent pourtant des avantages importants en terme de compacité, de consommation énergétique faible et sans doute de coût de fabrication à grande échelle, mais qui ont des vitesses de soufflage limitées).

Avec l'intégration dans l'avion échelle 1 et le vol réel, d'autres contraintes très opérationnelles apparaissent, comme la fiabilité, la résistance à l'encrassement et à l'usure, la redondance, la certification, etc. Ces aspects laissent encore de beaux jours aux ingénieurs pour porter des solutions à un niveau de maturité permettant l'industrialisation !

SENSEURS

Les senseurs permettent de fournir un état du système à contrôler. En général, il s'agit de capteurs de vitesse, pression ou frottement dont l'information va être utilisée pour élaborer la commande de l'actionneur. Si des solutions existent sur le marché, des développements spécifiques en cours ont pour objectifs une intégration plus aisée sur avion et/ou une compacité accrue (par exemple pour aller chercher une information localisée dans un endroit inaccessible aux technologies conventionnelles) et/ou la restitution d'informations élaborées (par exemple multi-grandeurs, multi-composantes, vitesse et direction de l'écoulement, niveau de vitesse et son gradient, niveau de pression et de corrélations spatio-temporelles, etc.). Ce champ d'activité est illustré dans l'exemple de la figure 3.

STRATÉGIES DE CONTRÔLE COMMANDE POUR LE CONTRÔLE

La stratégie de contrôle s'entend comme la transformation de l'information fournie par le(s) senseur(s) en commande pour l'actionneur. Une des difficultés en aérodynamique est que les phénomènes à contrôler sont en général non linéaires et souvent instationnaires. De nombreux travaux ont exploré et explorent encore différentes techniques pour « fermer la boucle », offrant l'opportunité aux communautés « automatique » et « mécanique des fluides » de se rejoindre pour relever ce défi. L'exemple de la figure 3 a vu la collaboration entre les aérodynamiciens des centres ONERA de Lille et Meudon et les automaticiens du centre INRIA Lille – Nord Europe.

Au-delà de l'automatique, les avancées théoriques réalisées en aérodynamique fondamentale ont permis de

faire émerger un nouveau concept de contrôle : la mise au point de la théorie de la stabilité et les outils de simulation associés permettent d'identifier les zones les plus sensibles de l'écoulement à contrôler (« réceptivité ») et d'envisager un contrôle efficace par une perturbation très localisée de l'écoulement, avec la possibilité d'optimiser les caractéristiques de celle-ci (emplacement, amplitude, fréquence, direction de soufflage ou aspiration, etc.).

Le contrôle est aussi un champ d'application pour certaines techniques d'intelligence artificielle.

QUELQUES EXEMPLES

Quelques applications du contrôle sont montrées ci-après. L'ensemble s'appuie sur des résultats d'études précédentes sur des configurations très académiques, ne ressemblant en rien à une aile. Parmi ces études, on peut noter celles réalisées à l'Université de Lille dans les années 2000, qui ont permis d'asseoir les fondamentaux des générateurs de tourbillons mécaniques et fluidiques.

1 - Contrôle sur volet

Le contrôle peut être utilisé pour améliorer l'efficacité d'une surface de contrôle de l'avion (aileron, gouverne de dérive). Le premier exemple concerne le contrôle de l'écoulement sur un volet sans fente braqué, au moyen d'un soufflage au voisinage de l'axe de rotation du volet. L'expérimentation a été menée initialement dans la soufflerie S2L du centre ONERA de Meudon puis dans la soufflerie L1 du centre ONERA de Lille (voir Figure 3). Il s'agit ici de contrôler le décollement de couche limite se produisant sur le volet à partir d'un certain angle de braquage, dans des conditions dites « basses vitesses » (vitesse voisine de 40 m/s). Les études successives réalisées autour de cette expérimentation ont concerné la comparaison de l'efficacité de plusieurs types d'actionneurs (jets continus, pulsés, balayants), le développement d'actionneurs MEMS, de micro capteurs MEMS et de leur électronique, le développement de stratégies de boucles fermées. Il s'agit donc d'une véritable plateforme expérimentale qui a permis de tirer de nombreuses leçons et autour de laquelle sont intervenus des chercheurs des centres ONERA de Meudon, Lille et Toulouse, de l'IEMN (Institut d'électronique, de micro-électronique et de nanotechnologies), du centre INRIA Lille-Nord Europe ainsi que de la PME Thurmelec.

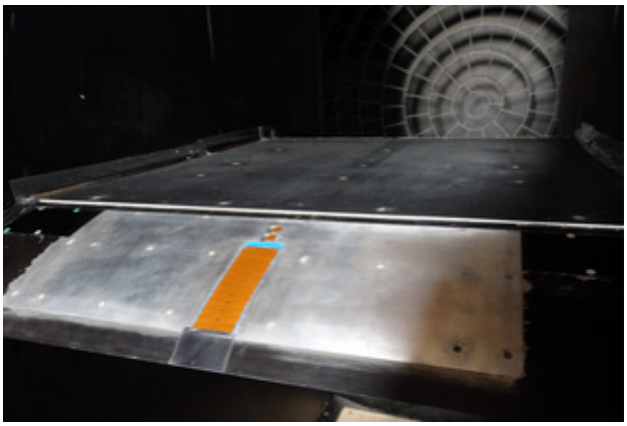


Figure 3. Maquette plaque plane et volet braqué dans la soufflerie L1 du centre ONERA de Lille. Le volet est équipé d'une série de micro-capteurs MEMS

Figure 4. Maquette de dérive d'avion dans la soufflerie L1 du centre ONERA de Lille. On distingue les 8 jets balayants positionnés en amont de la gouverne

Un second exemple concerne la gouverne de direction sur une dérive d'avion, également testé à basse vitesse dans la soufflerie L1 (voir Figure 4). Cette maquette de 1,5 m de hauteur a permis de loger des actionneurs à jets synthétiques compatibles avec une échelle avion réel, conçus et fabriqués par l'ONERA en collaboration avec la PME CEDRAT Technologies. Le contrôle s'effectue sur toute la hauteur de la dérive juste en amont de la gouverne ; des gains d'efficacité de gouverne de l'ordre de 10% ont été mis en évidence. La performance des jets synthétiques doit encore être améliorée, notamment la vitesse d'éjection, pour avoir des performances accrues et compatibles avec les conditions de vol. Des jets balayants ont aussi été essayés et ont montré des gains d'efficacité de la dérive de l'ordre de 80%. À l'échelle de l'avion, le contrôle sur gouverne de direction pourrait permettre de réduire non seulement la taille de la gouverne mais aussi la taille de la dérive (plus ou moins selon le type d'avion) et donc sa traînée, donc de réaliser des économies de

carburants à iso-qualités de vol. À noter que ce type de contrôle a déjà été essayé en vol par Boeing *(EcoDemonstrator)*.

2 - Contrôle des configurations hypersustentées

Les dispositifs hypersustentateurs doivent être déployés au décollage et à l'atterrissage pour augmenter la portance des voilures. Ce sont des combinaisons de becs et volets à fente, qui ont chacun un comportement spécifique (voir Figure 5), et qui sont complexes et lourds (cinématiques, actionneurs, etc.). Le contrôle d'écoulement pourrait permettre de simplifier ces dispositifs, voire d'en supprimer certains.

Volets à fente

Il a été montré que des générateurs de vortex mécaniques ou fluidiques montés sur un volet à fente permettaient d'en augmenter l'efficacité.

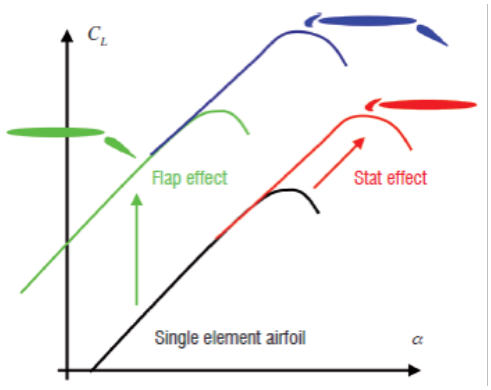


Figure 5. Impact du volet (flap) et du bec (slat) sur la portance et l'incidence

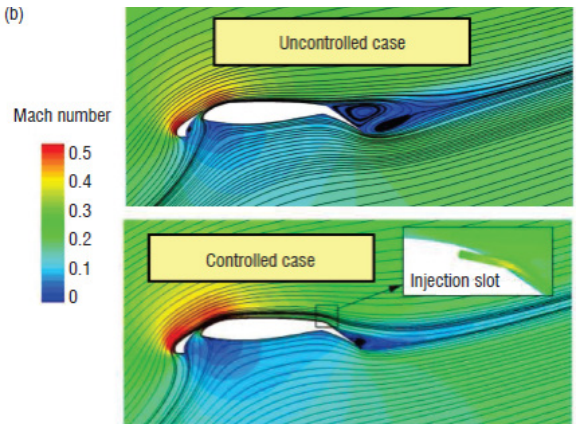


Figure 6. Effet d'un soufflage continu sur volet sans fente

Le contrôle par soufflage a aussi été appliqué dans le but de supprimer la fente, ce qui permet de simplifier et alléger considérablement la cinématique. Les travaux numériques et expérimentaux ont montré que les générateurs de vortex mécaniques n'étaient pas efficaces, et qu'un soufflage continu par une fente située au voisinage de l'axe de rotation du volet permettait de retrouver l'efficacité du volet à fente (voir Figure 6). Néanmoins, le débit d'air nécessaire est prohibitif. Le soufflage pulsé permet de diviser ce débit d'un facteur d'environ deux et est encore plus efficace que le soufflage continu ; néanmoins, le débit nécessaire reste rédhibitoire à l'échelle avion. La mise au point d'actionneurs à jets synthétiques efficaces pourrait rendre cette application viable à moyen terme.

Becs

Le remplacement du bec par un bord d'attaque basculant permet des gains de masse et de bruit importants, mais au prix d'un décrochage prématuré. De nombreuses positions et conditions de soufflage ont été testées numériquement et expérimentalement (voir Figure 7), avec des actionneurs pulsés spécifiquement développés à l'ONERA, pouvant atteindre des vitesses d'éjection élevées jusqu'à une fréquence de 1000 Hz. Le contrôle d'écoulements par soufflage permet ici aussi de récupérer les performances aérodynamiques d'un bec classique (voir Figure 8), mais au prix d'un débit de soufflage prohibitif à l'échelle avion.

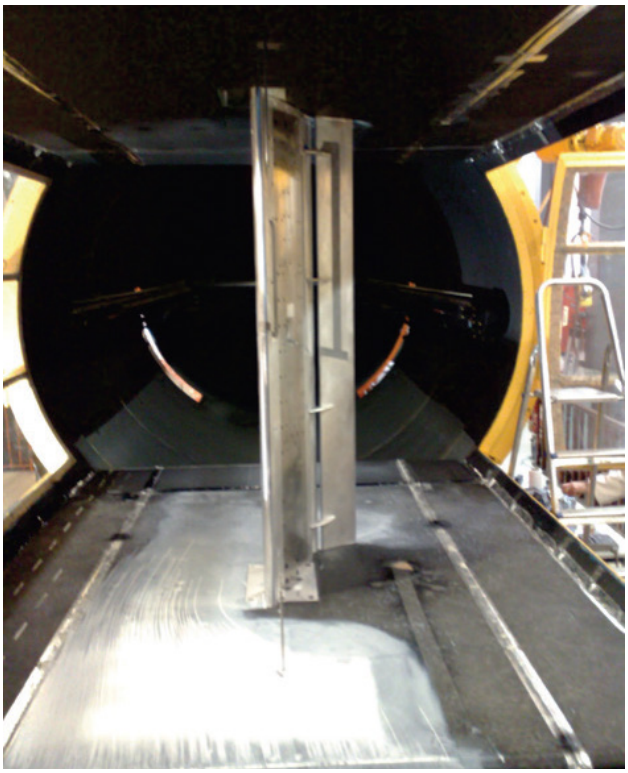


Figure 7. Maquette avec volet à fente et nez basculant dans la soufflerie L1 du centre ONERA de Lille. Envergure 1,5 m

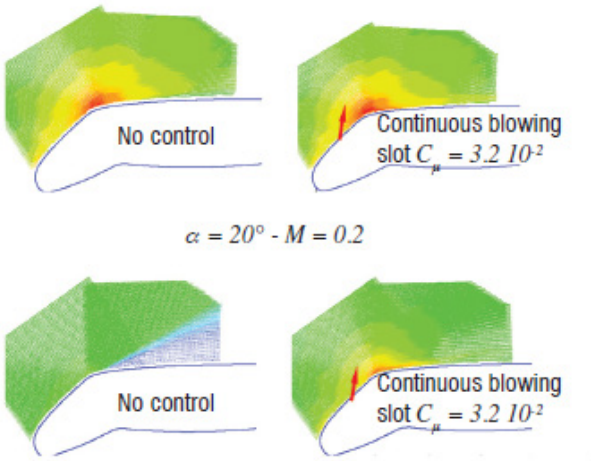


Figure 8. Visualisations PIV (vitesse) avant (haut) et après (bas) décrochage : le cas contrôlé supprime le décollement massif qui apparaît sans contrôle

Le cas encore plus ambitieux de l'utilisation du contrôle pour retrouver les performances d'un bec à fentes avec un profil classique a aussi été étudié, avec des conclusions similaires. Il ressort de ces études la nécessité de poursuivre l'effort sur des actionneurs efficaces mais consommant moins de débit.

3 - Contrôle du tremblement transsonique

Le tremblement transsonique est un phénomène de couplage aéroélastique qui intervient à grande vitesse (présence d'onde de choc). La marge au phénomène de tremblement est un paramètre de la certification de l'avion, c'est pourquoi il est nécessaire d'une part de bien prédire les conditions d'entrée en tremblement, d'autre part de contrôler le phénomène pour en repousser l'apparition. Depuis les années 1990, des études ont d'abord permis de comprendre le phénomène (interaction entre deux phénomènes hautement non linéaires : onde de choc et décollement de couche limite), puis de le prédire numériquement, en 2D puis en 3D. Des études consacrées à son contrôle ont ensuite été effectuées, d'abord en 2D, puis en soufflerie de recherche (S3Ch du centre ONERA de Meudon, voir Figure 9) sur géométrie 3D simplifiée et enfin en soufflerie industrielle (S2MA du centre ONERA de Modane-Avrieux, voir Figure 10).

Il a été montré (voir Figures 11 et 12) que des générateurs de vortex mécaniques, des jets pulsés (FVG) et un soufflage au bord de fuite (FTED) étaient efficaces pour repousser l'apparition du tremblement en boucle ouverte. Une démonstration de faisabilité du contrôle en boucle fermée de ce phénomène complexe a aussi été effectuée (soufflerie S3Ch).

Figure 9. Voilure+demi fuselage monté en paroi de la soufflerie S3Ch du centre ONERA de Meudon. Demi-envergure 0,7 m (extrait de [1]-01)

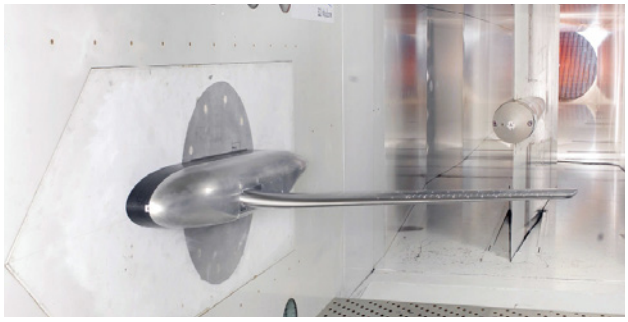


Figure 10. Maquette dans la soufflerie S2 du centre ONERA de Modane-Avrieux; Demi envergure 1,225 m (extrait de [1]-01)

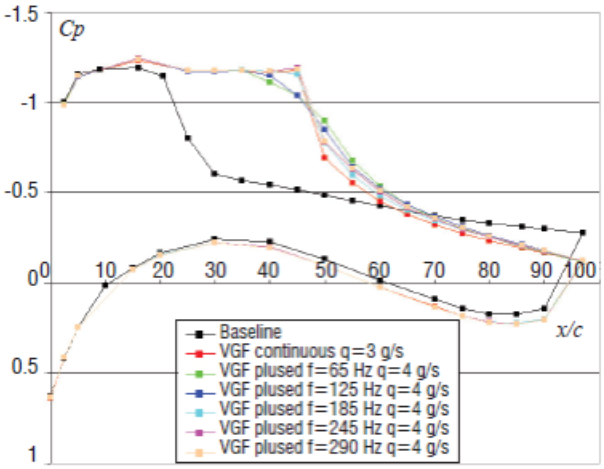


Figure 11. Répartitions de pression comparées pour la référence (Baseline), le soufflage continu et le soufflage pulsé pour différentes fréquences de soufflage (extrait de [1]-01)

A noter que ces résultats sur le contrôle du tremblement transsonique ont été utilisés dans le cadre d'un benchmark de méthodes numériques à l'échelle européenne (projet européen AFLoNext – FP7). Davantage de détails sur le phénomène de tremblement et son contrôle sont donnés dans la référence [2].

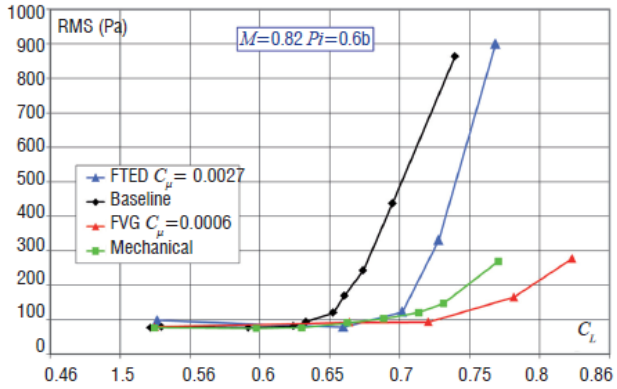


Figure 12. Entrée en tremblement pour la référence (Baseline), avec des actionneurs mécaniques et fluidiques (FVG, FTED) – boucle ouverte (extrait de [1]-01)

PERSPECTIVES

L'optimisation des performances et la montée en maturité de solutions de contrôle d'écoulements ont beaucoup progressé ces vingt dernières années, mais requièrent encore des efforts de recherche et développement. Sur les aspects méthodes, la théorie de la stabilité (notamment globale) et l'intelligence artificielle laissent présager de progrès importants dans un avenir proche. Sur les aspects technologiques, il est important de consolider la communauté française, travaillant tant sur les actionneurs que sur les senseurs. Signalons ici l'initiative « CONTRAERO » mise en place dans les HautsdeFrance (voir article dédié dans le même numéro) qui permet de fédérer les différents acteurs à l'échelle régionale.

Jusqu'à présent, le contrôle d'écoulements a été vu comme un axe d'amélioration de systèmes existants. Un des axes des travaux à venir sera d'intégrer le potentiel du contrôle d'écoulements dès le début du processus de conception de l'objet : ainsi, nous pouvons espérer élargir l'espace de design et aboutir à des formes encore plus optimisées. Ceci est particulièrement important dans le contexte actuel de développement de nouvelles technologies de propulsion (électrique, hybride, distribuée, etc.) et configurations d'avions (ingestion de couche limite, aile haubanée, aile volante, etc.).

Références

[1] Revue Aerospace Lab Journal, Issue 6, juin 2013 (ISSN: 2107-6596) https://aerospacelab.onera.fr/

[2] Point sur l'avancement des recherches européennes sur le tremblement, Eric Coustols, lettre 3AF n°39 (septembre-octobre 2019)

Remerciements

L'auteur tient à remercier Q. Gallas, J. Dandois, E. Deletombe, E. Garnier, F. Ternoy, E. Coustols de l'ONERA, P. Joseph d'Arts et Métiers ParisTech et J. Délery 3AF, pour leur relecture attentive de l'article. ■

AÉRONAUTIQUE

LA 55E CONFÉRENCE INTERNATIONALE D'AÉRODYNAMIQUE APPLIQUÉE

par **Jean Délery**, président de la commission technique Aérodynamique

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

La 55ème Conférence internationale d'aérodynamique appliquée de la 3AF *(55th 3AF International Conference on Applied Aerodynamics)* qui s'est tenue (virtuellement) du 12 au 14 avril 2021 à l'ISAE-ENSMA de Poitiers avait pour thème : Les écoulements turbulents dans les applications aéronautiques. Elle était co-sponsorisée par l'AIAA, la Royal Aeronautical Society, le CEAS et a bénéficié du soutien de l'ISAE-ENSMA, de l'institut Pprime, du CNRS, de l'université de Poitiers et de l'ONERA. Le comité scientifique était composé des membres de la commission technique Aérodynamique. Les allocutions de bienvenue ont été prononcées par Louis Le Porz, président de la 3AF, et par le professeur Roland Fortunier, directeur de l'ISAE-ENSMA, Fabien Godeferd, directeur adjoint scientifique du CNRS-INSIS, Gérard Blanchard, vice-président Recherche de la région Nouvelle-Aquitaine et Karl Joulain, directeur de l'institut Pprime.

Initialement programmée en mars 2020, la conférence a d'abord été repoussée en septembre 2020 (bel optimisme !), puis en avril 2021 en principe en présentiel. Compte tenu de la situation sanitaire très probablement encore défavorable à cette date, il a été décidé de maintenir cette date en organisant une conférence virtuelle, dénommée AERO2020+1 pour marquer la continuité de l'événement. Malgré ces péripéties, la conférence a attiré une participation record avec la présentation de 85 communications, plus les 5 conférences pilotes traditionnelle données par des experts dans les domaines de l'aérodynamique théorique, expérimentale et appliquée.

La conférence était organisée en 5 sessions, chacune introduite par un conférencier pilote, divisées en 3 sous-sessions compte tenu du nombre de communications. Les travaux présentés peuvent être globalement qualifiés comme étant de très bon niveau. Il n'est ici proposé qu'un bref résumé de la conférence faisant surtout état d'une impression générale, les points retenus l'étant de manière subjective. Les exposés ont couvert une trop large gamme de sujets. Le détail des communications est contenu dans les proceedings disponibles sur le site de la 3AF.

THÈME DE LA CONFÉRENCE

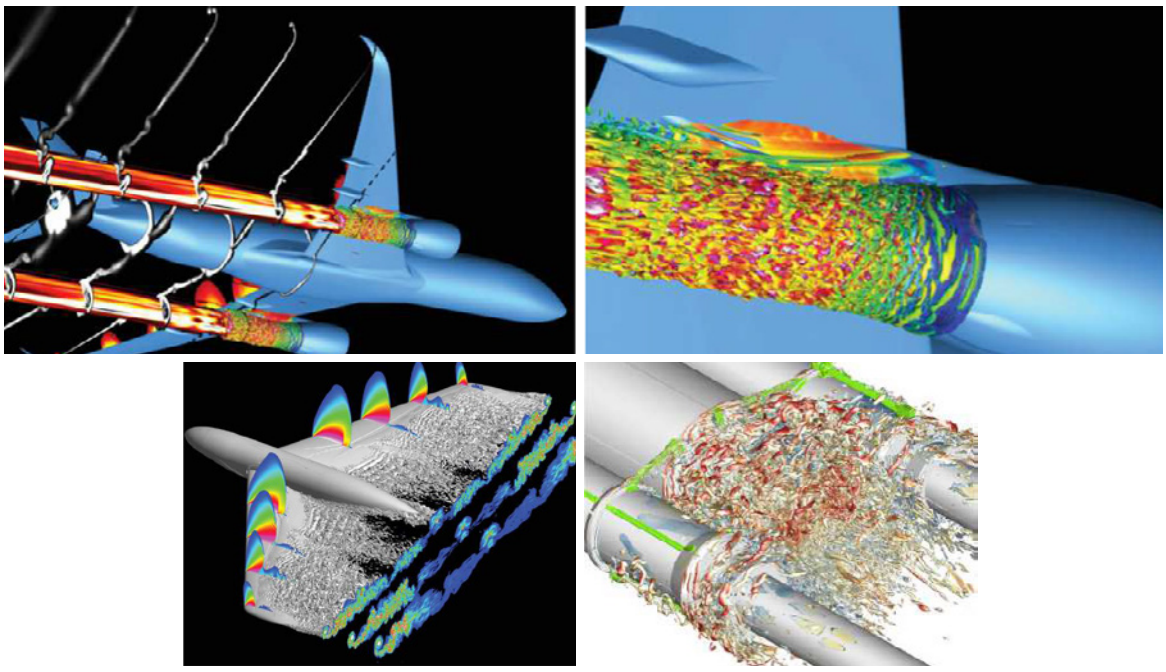
La conférence AERO2020+1 s'est concentrée sur les écoulements turbulents dans les applications aérodynamiques. Les régimes d'écoulement turbulent, compressibles ou non, sont omniprésents dans les systèmes aérodynamiques à nombre de Reynolds élevé, une

prédiction précise de ces écoulements étant indispensable pour anticiper et optimiser les performances de nouveaux concepts. L'optimisation est cruciale dans la recherche de la réduction des pollutions chimique et sonore. La robustesse et la sécurité face aux conditions météorologiques réelles et aux conditions environnementales variables sont également essentielles pour le transport aéronautique/terrestre et pour les industries des énergies renouvelables (éoliennes en particulier). Ces dernières années, ces contraintes ont entraîné des progrès significatifs au sein des communautés académique et industrielle, par exemple dans les modélisations du type LES *(Large Eddy Simulation)* et LES hybrides, Lattice-Boltzmann (Boltzmann sur réseau) pour la représentation et l'analyse des écoulements industriels instationnaires. Les méthodes de mesure, désormais souvent utilisées dans le contexte de la modélisation basée sur les données *(data-driven modelling)*, ont aussi connu d'importants développements. De nouveaux cadres théoriques sont apparus pour la description de la turbulence hors équilibre, ainsi que pour la réduction et la modélisation des structures cohérentes et de leur rayonnement acoustique. Ces cadres fournissent une base solide pour le développement des stratégies de contrôle des écoulements. La prédiction de la transition vers la turbulence dans des écoulements complexes est aussi un domaine très actif.

La plupart des communications présentées témoignent du souci actuel de maîtriser et diminuer les nuisances causées par les moyens de transports (aussi bien aériens que terrestres), en particulier leur empreinte carbone, par l'amélioration de l'efficacité propulsive, qui passe par la diminution de la traînée aérodynamique. Ce qui suit ne donne qu'un aperçu (subjectif !) de la richesse des communications présentées à l'occasion de cette conférence.

SESSION 1 – LUNDI 12 AVRIL 2021, MATIN

La première conférence pilote, donnée par Sébastien Deck de l'ONERA, portait sur la modélisation avancée de la turbulence et la représentation de la turbulence de paroi. L'orateur passe en revue les mérites et limitations des modélisations actuelles de la turbulence, allant de la DNS *(Direct Numerical Simulation)* jusqu'à l'approche RANS *(Reynolds Averaged Navier-Stokes)* en passant par la LES *(Large Eddy Simulation)* et ses variantes. Une des difficultés majeures à laquelle se heurte la représentation de la turbulence est le passage de fluctuations à petite échelle, quand la région turbulente est confinée dans une mince couche limite (passible d'une simulation RANS), à des fluctuations à grande échelle se développant quand l'écoulement décolle (passibles d'une simulation LES). Dans ce domaine l'auteur a apporté des contributions majeures dans le développement de modèles DES *(Detached Eddy Simulation)* et ZDES *(Zonal Detached Eddy Simulation).*



Applications de la ZDES (conférence pilote de S. Deck)

La conférence pilote est suivie de 3 sessions parallèles présentent des communications qui déclinent les applications de la modélisation à des circonstances très variées.

La session 1A (DES) était consacré à des applications de la ZDES, notamment au calcul de profils en instationnaire, de l'écoulement au culot d'un lanceur et à des phénomènes de tremblement transsonique.

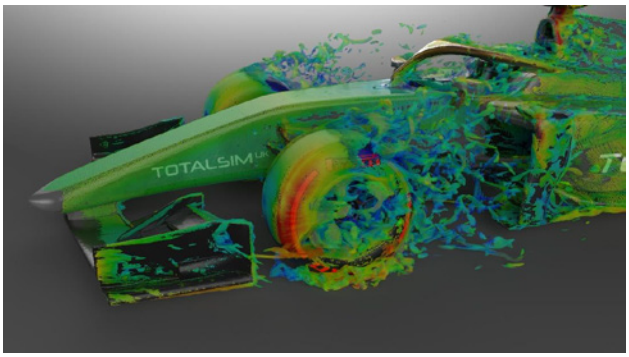
La session 1B *(Skin friction reduction)* présentait des applications à des techniques de contrôle visant à réduire le frottement pariétal (injection fluide à la paroi, oscillations forcées à la paroi par actuateur plasma, cavités en quinconce).

La session 1C *(Supersonic flows)* était consacrée à des problèmes supersoniques, en particulier au sujet très intéressant et peu courru de l'interaction entre une onde de choc et un tourbillon, circonstance rencontrée sur une aile d'avion de combat ou bien dans une prise d'air supersonique.

SESSION 2 – LUNDI 12 AVRIL, APRÈS-MIDI

La deuxième session est ouverte par la conférence pilote de Philippe Spalart, ancien Senior Technical Fellow à Boeing Commercial Airplanes et membre de la commission technique Aérodynamique de la 3AF, faisant autorité dans le domaine de la simulation des écoulements turbulents et un des pères du fameux modèle RANS dit de Spalart-Allmaras. Le conférencier développe son point de vue sur les missions et exigences d'un modèle de turbulence : modélisation classique (RANS) versus méthodes de résolution du type LES et autres. Y-a-t'il stagnation dans la modélisation RANS, l'impulsion apportée par le *Machine Learning*, créant un grand besoin de culture de la turbulence ? Puis l'orateur définit la mission d'un modèle de turbulence : universalité/généralité, bien posé numériquement, justification physique, documentation et contrôle des versions. Enfin les contraintes que doit satisfaire un modèle de turbulence sont déclinées.

La session 2A *(Turbulence modelling/RANS)*, particulièrement fournies (7 présentations), qui fait suite déclinait et développait le problème de la représentation de la turbulence sur des applications relatives aux avions, aux compresseurs, aux missiles.



Exemple d'une approche hybride RANS – LES (conférence pilote de P. Spalart)

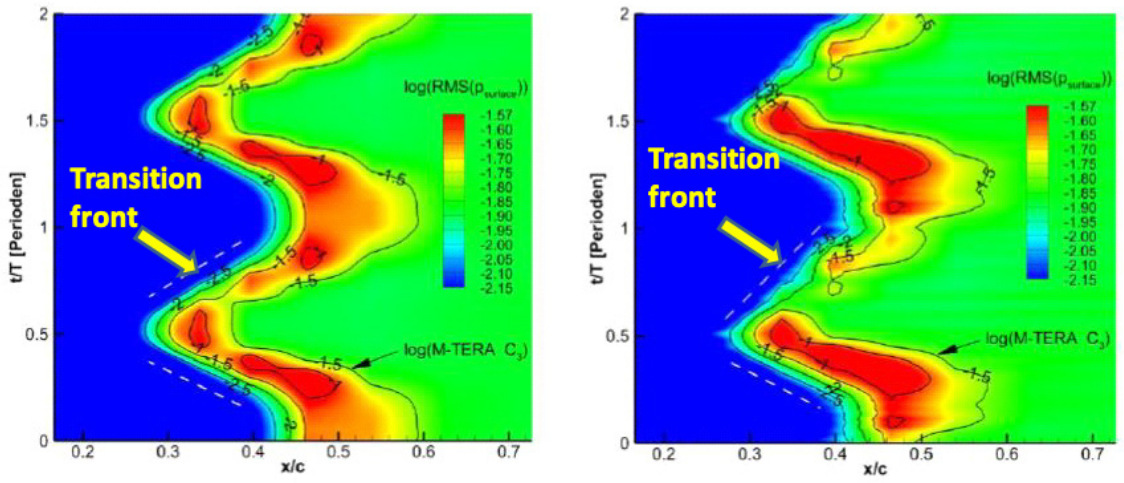
La session 2B *(Vortex flows)* était consacrée à la modélisation des écoulements largement décollés et à l'important problème du sillage tourbillonnaire émis par les extrémités des ailes d'avion et qui présente un risque pour un appareil suiveur. Les éoliennes ne sont pas oubliées.

La session 2C *(Fluid structure/LBM)* considérait les couplages fluide/structure, en particulier les ailes battantes pour micro véhicules aériens, le morphing appliqué au contrôle du comportement d'un profil à grande portance. L'approche Lattice Boltzmann (LBM) est considérée pour les calculs de profils d'aile ou d'étage de compresseur. Cette session, elle aussi très chargée, se termine par une présentation de l'incidence des masques chirurgicaux sur la respiration !

SESSION 3 – MARDI 13 AVRIL 2021, MATIN

La troisième conférence pilote, donnée par Ulrich Rist de l'Université de Stuttgart, était consacrée au problème toujours d'actualité de la transition laminaire-turbulent dans la couche limite. La solution des équations décrivant un écoulement dépend de conditions initiales et aux limites. Il s'agit d'un problème numérique non seulement « désagréable », mais aussi d'une préoccupation physique fondamentale. Ainsi, même la turbulence se souvient de son histoire antérieure, donc garde la mémoire de la transition. Ce problème est particulièrement pertinent pour les couches limites transitionnelles, les bulles de décollement laminaire, les véhicules aériens sans pilote ou les micros véhicules aériens (UAV/MAV).

La session 3A *(Transition)* faisant suite était consacrée à 6 communications sur la transition. Sont examinés l'effet de la rugosité sur le développement des ondes de Tollmien-Schlichting, la réceptivité à l'égard de la rugosité de paroi de la couche limite en hypersonique,



Applications de la ZDES (conférence pilote de S. Deck)

l'effet de défauts de surface sur le contrôle de la couche limite par aspiration.

La session 3B *(Flow control/Bluff bodies)* était orientée vers des études sur l'aérodynamique de corps obtus évoquant les véhicules automobiles, type SUV, munis d'un large culot source d'une traînée importante.

La session 3C *(High speed flows)* était consacrée au problème toujours actuel de l'interaction onde de choc/couche limite avec des applications concernant surtout les prises d'air supersoniques. Six communications portaient sur ce sujet

SESSION 4 – MARDI 13 AVRIL, APRÈS-MIDI

La quatrième conférence pilote présentée par John Christos Vassilicos, du CNRS-Lille, portait sur la turbulence en non–équilibre. L'orateur considérait et développait le problème de la définition des échelles mises en jeu par la dissipation de la turbulence et celui du mécanisme de cascade dans le processus de dissipation (transfert d'énergie des grandes échelles vers les échelles plus petites).

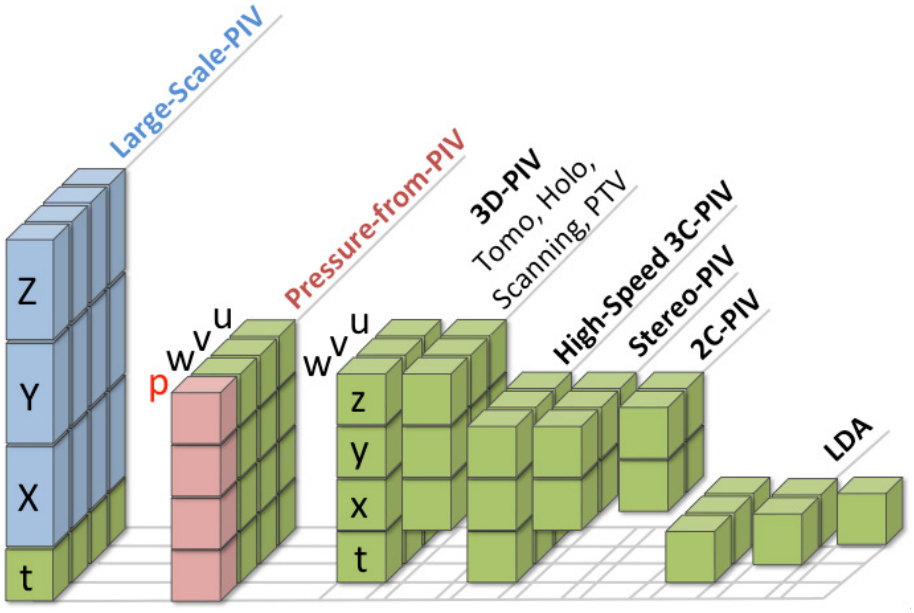
La session 4A *(Transition/heat transfer)* avait pour thème la transition laminaire-turbulent et les transferts de chaleur, deux phénomènes étroitement liés. Les facteurs pouvant influer sur la transition étaient considérés, dont la rugosité de la paroi ainsi que des procédés destinés à agir sur la transition (rugosité contrôlée, actuateurs plasma notamment).

La session 4B *(Flow control)* était consacrée au contrôle des écoulements en vue de limiter, voire supprimer, certains comportements aérodynamiques sources de perte de performance (production de traînée) ou dangereux. Différentes techniques étaient présentées dont le contrôle par jets pulsés, jets synthétiques ou encore par DBD *(Dielectric Barrier Discharge)*. Une synthèse des études conduites sous l'égide du GDR Contrôle du décollement était présentée par Laurent Cordier, de l'institut Pprime.

La session 4C *(High speed flows)* était consacrée aux écoulements à grande vitesse rencontrés dans les applications spatiales : décollement dans les tuyères de lanceur, effets de non-équilibre chimique dans les couches limites hypersoniques.

SESSION 5 – MERCREDI 14 AVRIL 2021, MATIN

La cinquième et dernière conférence pilote, présentée par Fulvio Scarano et Ferry Schrijer de l'université technique de Delft (TU Delft), portait sur le développement de la PIV grand champ en liaison avec la modélisation numérique en aérodynamique. Le conférencier présente d'abord un historique du développement de la PIV au cours des 30 dernières années, partant des applications en bidimensionnel, puis le passage au tridimensionnel stationnaire et instationnaire (PIV dite 4D : 3 dimensions spatiales plus le temps), jusqu'au développement de la PIV instationnaire grand champ. La PIV s'est en grande partie substituée à la LDA *(Laser Doppler Anemometry)* qui en son temps fut une vraie révolution dans les possibilités de sondage des champs aérodynamiques complexes (décollements). Contrairement à la LDA, la PIV donne une information instantanée globale sur un champ étendu, mais ne permet pas des mesures très près d'une paroi ce qu'autorise la LDA. Le conféren-



De la vélocimétrie laser à la PIV 4D grand champ (conférence pilote de F. Scarano)

cier met l'accent sur les développements de la PIV pour les très grands champs par utilisation comme traceurs de bulles de savon. Egalement, il développe les possibilités de déduire la répartition de pression à partir de la mesure du champ des vitesses.

La session 5A *(Data driven modelling)* était consacrée aux développements dans le domaine de l'assimilation ou de reconstruction de données (data-driven et data-assimilation), techniques combinant mesures et modélisation théorique pour restituer des écoulements dont la qualification expérimentale est incomplète. Plusieurs communications sont consacrées à l'utilisation de l'intelligence artificielle *(machine learning, deep learning)* pour accéder à une prévision plus complète d'un champ aérodynamique à partir d'un échantillon de données obtenues de façon plus éparse. La méthode est aussi utilisée pour améliorer un modèle de turbulence *(data-driven model)* à partir de l'exécution de calculs avec un modèle de base.

La session 5B *(Bluff bodies)* consacrée au corps obtus rejoignait les préoccupations de la session 3B sur la traînée des véhicules terrestres. Plusieurs communications étaient consacrées au comportement instationnaire des sillages proches et lointains de tels corps (notamment le fameux corps d'Ahmed) qui se caractérise par une asymétrie bimodale. Il y a là une source importante de traînée et une cause d'instabilité de route du véhicule. Six communications portaient sur ce sujet.

La dernière session 5C *(Aeroacoustics)* portait sur certains problèmes d'aéroacoustique, préoccupation majeure dans la lutte contre les nuisances des véhicules, qui trouve toujours une place dans nos conférences d'aérodynamique appliquée.

IMPRESSION GÉNÉRALE

L'impact du caractère turbulent des écoulements aérodynamiques a été clairement mis en évidence dans les différentes contributions. On peut observer qu'il existe un équilibre entre les approches calcul et expérimentale. Toutes les méthodes de la CFD développées pour les études industrielles et académiques ont été présentées, en cohérence avec les conférences invitées. Des résultats expérimentaux originaux et de qualité ont aussi été présentés, en association avec les conférences pilotes. Parmi les thèmes couverts par les différentes contributions, citons en particulier les phénomènes de transition laminaire-turbulent, analysés ici en détail en cohérence avec la conférence invitée. En cas d'écoulement turbulent, ce qui concerne la très grande majorité des applications, il s'agit d'un sujet d'importance majeure, encore mal maîtrisé (donc difficile à prédire).

D'assez nombreuses communications étaient consacrées aux écoulements supersoniques/transsoniques en régime turbulent pleinement développé, domaine important pour l'aéronautique et les lanceurs spatiaux. Une certaine approche parallèle entre les secteurs des transports aéronautique et terrestre,

ces derniers largement représentés, a aussi été une originalité de cette rencontre. Cette complémentarité a été mise en évidence par plusieurs contributions consacrées au contrôle des écoulements. La commission technique Aérodynamique se félicite de cette extension aux secteurs terrestres, véhicules mais aussi bâtiments, production d'énergie, aérauliques, qui met en évidence la proximité des domaines et suscite des échanges fructueux.

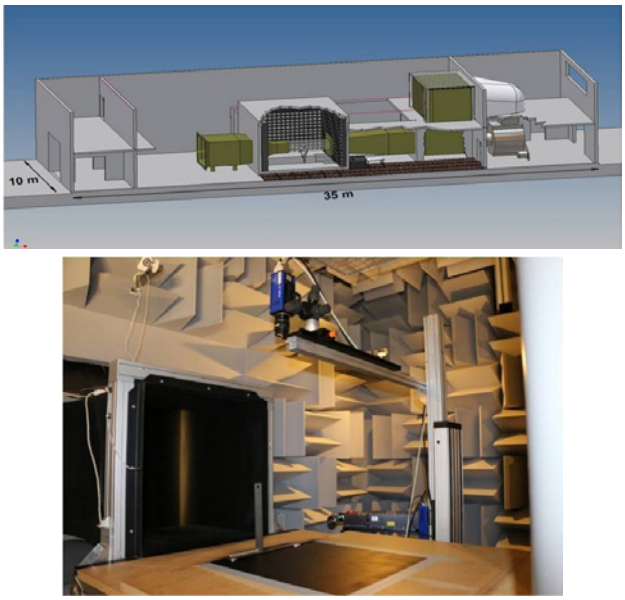
VISITE TECHNIQUE VIRTUELLE DES INSTALLATIONS DE L'INSTITUT PPRIME

Introduite par son directeur Karl Joulain, cette visite virtuelle des installations du laboratoire Pprime a été suivie et appréciées par de nombreux participants, comme en témoignent les 73 connexions au site de la conférence.

La soufflerie S620 a une section d'essai de 2,6×2,4 m² et une longueur de 6 m. La plage de vitesse va de 5 m/s à 60 m/s avec une intensité de turbulence inférieure à 0,5%. Des montages dédiés (plan courant ou plancher surélevé) permettent une large gamme d'essais allant du transport terrestre à l'aéronautique en passant par les énergies renouvelables (éoliennes).

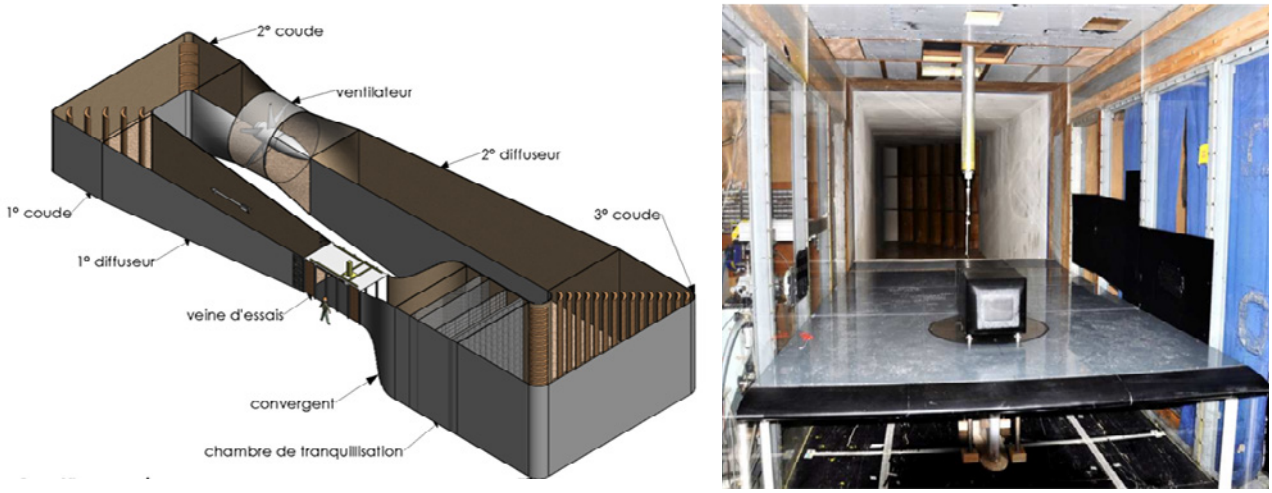
Souffleries T200-S150. Ces souffleries compressibles permettent d'étudier les écoulements transsoniques et supersoniques. Utilisant une alimentation en air comprimé de 200 bars, ces souffleries à rafale permettent des essais d'une durée d'environ 10 min. La soufflerie S150 génère des écoulements à haute vitesse (Mach 0,8 à 2,8) avec une section d'essai de 150×150 mm².

La soufflerie anéchoïque BETI (Bruit-Environnement-Transport-Ingénierie), mise en service en 2013, est une soufflerie de type Eiffel, avec une section d'essai ouverte située dans un plénum de 90 m³ traité acoustiquement pour reproduire les conditions de champ libre à partir de 200 Hz.



La soufflerie anéchoïque BETI. Vue d'ensemble et veine d'essai

La soufflerie à haute température BATH, (Banc AeroTHermique) est consacrée à l'étude des écoulements turbulents et des interactions avec des structures solides dans des conditions de température et de pression extrêmes (jusqu'à 1300°C, 10 bars, 166 m/s). Le banc d'essai BATH a été conçu et dimensionné pour obtenir, dans la section d'essai avec accès optiques, des conditions homogènes de température et de faible turbulence.



La soufflerie S620 et essai de réduction de la traînée d'un véhicule terrestre

Le banc d'essai PERGOLA (Propulsion ERGOLs Avancés) a été développé par Pprime et le CNES pour étudier les propulseurs verts stockables pour la propulsion spatiale. Les objectifs spécifiques sont d'étudier et de caractériser le comportement des principaux phénomènes physiques impliqués dans ces chambres de combustion : atomisation des pulvérisateurs de propergols, capacité d'allumage, stabilité de la combustion, efficacité de la propulsion.

BILAN ET CONCLUSION GÉNÉRALE

Le nombre de participants était de 154 appartenant à 16 institutions de nationalité différente (Allemagne, Argentine, Canada, Chine, Émirats arabes unis, États-Unis, France, Hong Kong, Israel, Inde, Italie, Japon, Pays-Bas, Royaume-Uni, Russie, Suède) confirmant l'intérêt international pour la conférence d'aérodynamique appliquée. Incluant les conférences pilotes, 90 communications ont été présentées. Ces chiffres sont parmi les plus élevés réalisés et l'on peut penser que le caractère virtuel de la conférence a joué un rôle positif en permettant la participation de chercheurs résidant dans des pays lointains qui, même en temps normal, auraient hésité à faire un déplacement. Sans doute à l'avenir conviendra-t-il de prévoir une organisation mixte virtuelle-présentielle, même si le retour à un fonctionnement physique est hautement préférable pour favoriser les échanges.

Comme les années précédentes, le comité de programme encourage les auteurs à proposer la version écrite de leur communication sous forme d'article dans *l'International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow (IJNMHFF)* qui va consacrer un numéro spécial à la publication d'une sélection des meilleures communications, après la procédure d'évaluation habituelle par des experts, initiative qui permettra de valoriser ces travaux.

Remerciements

Nous remercions Roland Fortunier, directeur de l'ISAE-ENSMA et nos collègues de la CT Aérodynamique Jean-Paul Bonnet, Jacques Borée et Christophe Sicot pour la préparation et l'organisation scientifique de la conférence. Grand merci aussi aux présidents de session, aux conférenciers et participants.

Enfin il convient de souligner la contribution de Michel Assouline, Directeur général de la 3AF, et d'Aude Lurbe, Chargée de projet événementiel, à la préparation et au déroulement impeccable de la conférence. Merci aussi à toute l'équipe de support informatique pour son aide aux présidents de session et aux orateurs. ■

ESPACE

THOMAS PESQUET DANS L'ESPACE

par **Pierre Cordesse**, membre 3AF

Thomas Pesquet, spationaute ESA, a reçu en 2018 Le Grand Prix spécial 3AF, l'autre grand prix spécial ayant été décerné à Sandra Magnus, astronaute de la NASA

Thomas Pesquet fut le 10e astronaute français à s'arracher de la pesanteur terrestre pour rejoindre l'International Space Station (ISS) en 2016 lors de la mission Proxima à bord du vaisseau spatial russe Soyuz. Le 23 avril 2021, Thomas Pesquet s'est envolé pour la deuxième fois, cette fois-ci à bord de la capsule Crew Dragon propulsé par un Falcon 9, avec un équipage constitué des astronautes de la NASA, Megan MacArthur et Shane Kimbrough, et l'astronaute japonais Aki Hoshide. Après 24h de voyage, la capsule s'est amarrée de manière autonome à l'ISS, permettant alors à Thomas Pesquet de devenir le premier commandant de bord français de l'ISS pour une mission de 6 mois nommée Alpha. Bénéficiant d'un environnement en microgravité, Thomas pourra mener de nombreuses expériences de recherche inédites, difficilement reproductibles sur Terre tant la gravité perturbe les mesures. La plupart de ces expériences sont définies en amont par l'ESA et sont recensées dans la plaquette de la mission (*lien*).

L'AVENIR DE L'ISS ET DE LA COOPÉRATION INTERNATIONALE ?

Alors que l'ISS a fêté ses 20 ans le 2 novembre 2020, la question de sa pérennité est à l'ordre du jour. Initialement prévue en 2024, la fin de l'utilisation du vaisseau spatial a obtenu un large sursis après l'adoption de la NASA Authorization Act le 18 décembre 2019 (*lien*). Cette feuille de route entérine une extension du maintien en opérabilité de la station jusqu'en 2030.

Depuis quelques années, la NASA ouvre la voie à un usage commercial de la station spatiale internationale. En janvier 2020, la NASA a autorisé le premier module à but commercial pour étendre la station spatiale internationale actuelle. C'est la société Axiom Space de Houston qui a été choisie pour fournir au moins un module commercial habitable appelé AxH1 d'ici 2024 (*lien*). Il s'agit bel et bien d'une volonté américaine de donner jour à une économie durable en orbite basse, permettant à l'agence de focaliser ses efforts vers la poursuite de l'exploration spatiale, notamment au travers du programme Artémis portée par la NASA pour construire une base permanente sur la Lune.

Alors que l'ISS est soutenue aujourd'hui par 5 agences (la NASA, Roscosmos, JAXA, ESA, and CSA) soulignant une forte coopération internationale, l'avenir de cette dernière est aujourd'hui en danger. L'annonce d'un accord entre Roscomos et China's National Space Administration, pour construire une station lunaire scientifique internationale en mars 2021 en dehors du programme Artémis, inquiète sur le maintien d'une présence humaine pacifique dans l'espace.

ARTÉMIS, VERS LA LUNE ET L'AU-DELÀ

L'orbite de l'ISS se trouve environ à 400 km de la surface de la Terre et il suffit de 24h pour s'y amarrer. Les ambitions d'exploration spatiale des Etats-Unis vont bien au-delà et ont poussé la NASA à lancer le programme Artémis. Ce programme prévoit la construction du vaisseau spatial Orion de la NASA qui est équipé du module de service européen en son centre fournissant au vaisseau spatial l'électricité, le système propulsif, une régulation thermique, l'air et l'eau. L'objectif ? Construire un avant-poste humain sur l'orbite lunaire à plus de 384 000 km de la Terre (soit 1000 fois plus loin que l'actuelle orbite de l'ISS !) pour aller installer une base permanente sur la Lune et peut-être un jour aller sur Mars.

Peut-être qu'un jour Thomas Pesquet fera partie des équipages d'Orion en destination de la Lune ! L'aventure spatiale est bien loin d'être terminée. De par les ambitions d'explorations spatiales et le développement d'une économie extraterrestre en orbite basse, les prochaines années s'annoncent passionnantes.

Si l'aventure spatiale vous fait rêver, pourquoi ne pas répondre à l'appel à candidature pour devenir astronaute lancée par l'ESA ? Les candidatures sont ouvertes du 31 mars au 28 mai 2021. Toutes les informations sont sur la page du CNES : *https://cnes.fr/fr/nous-rejoindre/postuler/serez-vous-le-prochain-astronaute-francais*.

Allez-y, comme Thomas Pesquet, osez et foncez !

FORMATION

ELISA AEROSPACE : UNE EXPERTISE TECHNIQUE ET PLURIDICIPLINAIRE DANS UN MONDE EN PROFONDS BOULEVERSEMENTS

par **Chantal de Turckheim**, directrice générale

En septembre 2015, les 193 Etats membres de l'ONU ont adopté le programme de développement durable en 17 points à l'horizon 2030, intitulé Agenda 2030. C'est un agenda pour les populations, la planète, la prospérité, la paix et les partenariats. Il porte une vision de transformation de notre monde vers un monde plus sûr, en éradiquant la pauvreté, et en assurant sa transition vers un développement partagé et durable.

Les ingénieurs que nous formons, et les organisations – établissements de recherche publics et privés, entreprises, administrations, associations – qui les recrutent, sont des acteurs clés de la transformation. Dans ce contexte, les défis scientifiques et technologiques sont innombrables. La bonne nouvelle est que les idées pour les relever le sont tout autant. L'ingénieur joue un rôle déterminant dans le passage de l'idée à sa réalisation, à chaque maillon de la chaîne de valeur depuis la recherche jusqu'à sa mise en œuvre massive.

Les défis sont d'une telle ampleur que la société en général et la société française en particulier doit tout faire pour mobiliser et rassembler ses ressources vives, à savoir les femmes et les hommes qui la composent, et capitaliser sur l'énergie d'une jeunesse créatrice, volontaire et engagée.

Il nous appartient dans le cadre de notre mission d'enseignement et de recherche de contribuer à ces défis d'aujourd'hui et de demain.

PRÉSENTATION ELISA AEROPACE

L'École d'ingénieurs des sciences aérospatiales, ELISA Aerospace, a été créée en 2009 pour répondre aux attentes exprimées par l'industrie aérospatiale (voir l'article du Monde du 5 février 2009 par Louis Gallois) qui manquaient gravement d'ingénieurs avec des connaissances techniques solides dans ces domaines.

FORMATION

ELISA AEROSPACE : UNE EXPERTISE TECHNIQUE ET PLURIDICIPLINAIRE DANS UN MONDE EN PROFONDS BOULEVERSEMENTS

L'école a acquis très rapidement la reconnaissance de l'industrie (dès 2010), de la commission des titres d'ingénieurs (2015, habilitation à délivrer le titre d'ingénieur) et de l'État (2016, reconnaissance par l'État et habilitation à recevoir les boursiers) et de sa qualité d'établissement d'enseignement supérieur privé d'intérêt général (2020, EESPIG).

ELISA Aerospace a intégré le groupe ISAE en tant qu'école partenaire en janvier 2020, et octobre 2020 le réseau aérospatial européen *PEGASUS (Partnership of a European Group of Aeronautics and Space Universities)*. Ces intégrations confortent la place d'ELISA Aerospace au sein des grandes écoles et universités européennes de l'aéronautique et du spatial.

DEUX SITES AU CŒUR DES BASSINS D'EMPLOIS

Installée dans les Hauts-de-France en bordure du bassin Ile-de-France, ELISA Aerospace a ouvert un deuxième site à Bordeaux à la demande des industriels de Nouvelle-Aquitaine et de la région.

Ces deux implantations permettent des relations de proximité avec les industriels des secteurs aéronautique, du spatial et de la défense. Mais depuis quelques années les industriels du secteur automobile, ferroviaire et naval sont également intéressés par les compétences acquises par les élèves ingénieurs d'ELISA Aerospace.

C'est la raison pour laquelle ELISA Aerospace, au-delà de sa spécialisation aéronautique, spatiale et défense, développe des compétences pour le transport du futur indissociable de sa fonction initiale.

Dans les Hauts-de-France, les industries automobiles (plus de 56.000 emplois) et ferroviaires (15.000 emplois) sont très concentrées autour du Valenciennois, les industries aéronautiques majoritairement en Picardie (10.000 emplois) et plus largement en Ile-de-France. La région des Hauts-de-France est très attentive et impliquée dans le développement de ces industries d'excellence. Pour mémoire, Méaulte est le site industriel de référence Usine 4.0 d'Airbus.

En Nouvelle-Aquitaine, les industries aéronautiques, spatiales et de défense sont très importantes sur tout le territoire (50.000 emplois industriels et 20.000 personnels de la Défense). L'industrie ferroviaire est implantée sur La Rochelle et Saintes.

LES CURSUS DE FORMATION

Cursus Ingénieur. Le cursus majeur d'ELISA Aerospace est le cycle ingénieur avec un préparatoire intégré.

80% des jeunes intègrent ELISA Aerospace après leur bac en cycle préparatoire ouvert sur l'aéronautique et le spatial dès la 1ère année et 20% directement en 1ère année du cycle ingénieur après des classes préparatoires classiques, une licence ou un BUT (Bachelor Universitaire de Technologie).

Cette pluralité de formation en cycle ingénieur apporte une richesse dans la formation scientifique des jeunes mais aussi dans l'approche pédagogique qu'ils ont développée dans leurs premières années d'enseignement supérieur. Cette diversité qu'ils retrouveront en entreprise contribue à leur formation d'ouverture aux différents modes de pensée.

La formation ingénieur se décline en 3 options
- Ingénierie des Systèmes Aéronautiques (ISA).
- Ingénierie des Systèmes Complexes Coopératifs (IS2C).
- Ingénierie des Missiles et Systèmes Spatiaux (IM2S).

Ces formations leur donnent une expertise technique et pluridisciplinaire avec une ouverture forte sur la recherche et la créativité à travers des projets pédagogiques ou d'initiation à la recherche.

Formations très qualifiantes avec une **forte employabilité** : 70% des élèves ingénieurs ont signé un CDI avant l'obtention de leur diplôme. La formation répond fortement aux besoins des entreprises des **secteurs d'activité** pour lesquels les élèves ingénieurs sont formés :
- 67% Aéronautique
- 15% Spatial
- 8% Sécurité et défense
- 8% Transports naval – ferroviaire – automobile
- 2% Systèmes embarqués

Cursus Bachelor. À la rentrée 2021, ELISA Aerospace ouvre un cursus Bachelor en sciences et ingénierie – Industrie des transports. L'industrie des transports a un fort besoin d'ingénieurs mais aussi de techniciens supérieurs pouvant évoluer dans l'entreprise en prenant des postes d'expertise et de responsabilité.

ELISA AEROSPACE : UNE EXPERTISE TECHNIQUE ET PLURIDICIPLINAIRE DANS UN MONDE EN PROFONDS BOULEVERSEMENTS

Bachelor en sciences et ingénierie – Industrie des transports, pour répondre aux besoins des secteurs de l'aéronautique, du spatial, de l'automobile, du ferroviaire ou encore du naval, avec des dominantes en 3ème année :

- Usine 4.0.
- Produits et procédés.
- Systèmes embarqués et robotique.

LA RECHERCHE

Facteur d'innovations et de partenariats. Moteur académique irrigant le cursus d'enseignements

Les axes de recherches, en miroir des options enseignées, créent une dynamique au niveau du corps enseignant, et introduisent des projets applicatifs ainsi qu'une ouverture à la recherche pour les élèves ingénieurs.

Ingénierie des systèmes aéronautiques. ISA : Dynamique du vol
Amélioration des performances des aéronefs aussi bien au niveau de leur conception que lors de leur utilisation opérationnelle, notamment lors de la phase de croisière.
En collaboration avec l'ONERA et l'École des mines de Paris

Ingénierie des systèmes complexes coopératifs – IS2C : Systèmes facteurs humains.
Prise en compte des facteurs humains dans le développement des systèmes complexes coopératifs, 2 thèses financées par ELISA Aerospace :

- Cabine opérateur de drone sous l'angle de l'interaction homme-machine en partenariat avec l'ESTIA de Bidart et l'École de l'air de Salon-de-Provence.
- Usine du futur : Outils et méthodologies de conception immersifs et interactifs à base de réalité mixte permettant un usage distant d'utilisateurs multi métiers en partenariat avec les Arts et Métiers.

Ingénierie des Missiles et Systèmes spatiaux IM2S.

- Innovation : la start-up HyPr Space développe une technologique de rupture pour rendre la propulsion spatiale hybride adaptée aux lanceurs orbitaux.
- En projet : Modèles d'endommagement sur matériaux composites à matrice céramique utilisés dans les zones chaudes de moteurs (turbines, tuyères, etc.) en collaboration avec l'ONERA.

L'ENTREPRENARIAT

ELISA Aerospace soutient l'entreprenariat et a intégré en septembre 2020 les co-fondateurs de HyPr Space, enseignants chercheurs et ingénieurs de recherche, qui apportent leurs savoir et savoir-faire dans le domaine de la propulsion spatiale, les systèmes complexes coopératifs et systèmes de maintenance.

Le développement de la startup permet aussi de mettre en œuvre différents projets qui sont traités par les étudiants d'ELISA Aerospace dans le cadre de modules « projets d'initiation à la recherche » (PIR) ou de stages de fin d'étude.

Cette année, HyPr Space met à disposition un démonstrateur de moteur pour qu'un groupe d'élèves puissent participer à un concours de fusées étudiantes au Portugal.

LA POURSUITE D'ÉTUDES

Poursuite d'études en Mastères spécialisés ou en thèse.
Actuellement ELISA Aerospace finance 2 thèses de ses anciens élèves ingénieurs (voir Recherche).

D'autres élèves ingénieurs d'ELISA Aerospace sont aussi passionnés par l'astrophysique. Des stages sont régulièrement réalisés dans des laboratoires d'astrophysique en France comme à l'étranger. Un de nos anciens a poursuivi ses études par une thèse en astrophysique et travaille actuellement à la NASA.

Dans ce cadre, il a été développé pendant 3 années l'axe de recherche :

Cosmologie et astrophysique des hautes énergies.
Etude de la formation des grandes structures de l'univers, activité de recherche s'inscrivant dans le cadre de la préparation de la mission spatiale EUCLID, en partenariat avec l'Institut d'astrophysique de Paris (IAP)

LES PARTENARIATS ET RELATIONS INDUSTRIELLES

Partenariats académiques

Des partenariats sont tissés dans chaque région où ELISA Aerospace est implantée.

Dans les Hauts-de-France, les partenariats avec l'ESIEE d'Amiens mais aussi avec l'UTC de Compiègne, permettent d'enrichir les potentialités d'échanges académiques, de stagiaires, de projets.

En Nouvelle-Aquitaine, les écoles du groupe ISAE, ISAE ENSMA de Poitiers, l'EIGSI de la Rochelle, l'ESTIA de Bidart et ELISA Aerospace développent au sein de l'alliance ISAE Nouvelle-Aquitaine des projets et actions en commun.

Partenariats recherche

Pour développer sa recherche, ELISA Aerospace a opté pour des partenariats structurants ses actions.

C'est ainsi que dans les Hauts-de-France un partenariat avec l'ONERA de Lille et l'École des mines de Paris porte des recherches sur la Dynamique du vol.

ELISA Aerospace et l'UTC de Compiègne ouvrent une relation partenariale sur la propulsion et un 1er stagiaire de l'UTC est accueilli au sein d'HyPr Space à Bordeaux.

En Nouvelle-Aquitaine un partenariat avec l'ESTIA de Bidart et un avec l'École de l'air de Salon-de-Provence pour le sujet de recherche sur la cabine opérateur de drone.

Un autre partenariat avec les Arts et Métiers de Bordeaux permet un travail de recherche sur l'Usine 4.0.

Partenariats entreprises

ELISA Aerospace est membre du pôle de compétitivité ASTECH depuis 2010 et proche du BAAS (Bordeaux Aquitaine Aéronautique Spatial), filière d'excellence de la région Nouvelle-Aquitaine regroupant les entreprises du secteur d'activité aéronautique, spatial et défense. ELISA Aerospace est également membre du cluster ALTYTUD et a contribué à la création de la filière aéronautique des Hauts-de-France Aér'Hauts-de-France.

Proche des entreprises du cluster ALTYTUD, plusieurs anciens élèves ingénieurs ont intégré les équipes de STELIA Aerospace et particulièrement à Méaulte.

Une relation historique avec Normandie AeroEspace permet également de proposer des emplois et des stages à nos élèves ingénieurs.

De plus sont membres du conseil d'administration Ariane Group, Thales.

ELISA AEROSPACE : FORMATIONS DES INGÉNIEURS ET EXPORTS DE DEMAIN

ELISA Aerospace apporte et apportera sa contribution, directement ou indirectement et dans ses domaines de compétence, à son niveau et vu son positionnement technologique à la plupart des autres objectifs de l'Agenda 2030, et favorisera de ce fait la mobilisation des générations futures.

Au-delà de ces contributions, un enjeu majeur est de faire émerger une nouvelle génération d'ingénieur en capacité d'assouvir leur détermination à transformer le monde.

Cette nouvelle génération doit être en effet celle des ingénieurs de demain :

- Des ingénieurs en mesure de naturellement se « plugger » dans des réseaux multi composants, multi culturels, multi nationaux et d'en développer la dimension collaborative et l'interopérabilité.
- Des ingénieurs en mesure d'agir, chacun dans leur domaine, en prolongement de l'Intelligence Artificielle, d'apprécier et d'analyser de plus en plus vite des problématiques de plus en plus complexes, en préservant la place essentielle de la décision humaine pour le choix le plus juste,
- Des ingénieurs faisant preuve d'agilité face à l'imprévu et d'adaptabilité, en mesure d'offrir un spectre de solutions et une capacité d'action toujours plus large et les moyens de réinventer sans cesse l'avenir, au profit du plus grand nombre.
- Des ingénieurs à la hauteur des défis à venir: optimisation et préservation des ressources accessibles, maîtrise de l'espace et de l'exploration lointaine, maîtrise et sécurité d'accès à la donnée, sécurité de la planète et des peuples. ■

FORMATION

LE LABORATOIRE DE MÉCANIQUE DES FLUIDES DE L'IUT DE VILLE-D'AVRAY

par **Ali Hocine**, maître de conférence, Laboratoire thermique et interfaces environnement, université Paris-Nanterre

L'article présente une vue d'ensemble du laboratoire de mécanique des fluides de l'IUT de Ville-d'Avray, implanté dans le département génie thermique et énergie.

Les locaux d'environ 300 m² accueillent différents dispositifs d'essais dédiés à l'étude expérimentale de la mécanique des fluides. Plusieurs thèmes y sont abordés : l'aérodynamique, l'hydraulique et les écoulements compressibles.

Les publics sont également multiples puisque ce laboratoire accueille des étudiants de différents horizons (DUT, master, licences professionnels, étudiants Erasmus, etc.) et des chercheurs de l'Université de Paris-Nanterre mais également de laboratoires extérieurs.

L'ouverture et le partage de ces moyens d'essais ont toujours été au centre des préoccupations des responsables en essayant de multiplier les études transversales multi-domaines et les partenariats avec d'autres universités, écoles d'ingénieur ou instituts de recherche.

Pour les études expérimentales le laboratoire s'appuie sur différents équipements présentés dans ce document. À titre d'exemples, sont citées trois études qui ont eu lieu dans ce laboratoire.

Parmi ses équipements, le laboratoire dispose de trois souffleries subsoniques à retour de type Prandtl (origine IMFL, 1965). Leurs caractéristiques sont : dimensions de veine 0,45 m × 0,45 m × 0,65 m, vitesse maximale de 40 m/s, et taux de turbulence moyen d'environ 1%.

Ces souffleries accueillent des dispositifs de travaux pratiques assez anciens mais que l'on souhaite conserver car ils constituent des supports pédagogiques riches. Par exemple, la détermination de la répartition de pression autour d'un profil d'aile ou la mesure de l'épaisseur d'une couche limite par mesure de pression sur plaque plane sont très parlantes pour nos étudiants (voir Figure 1).

Figure 1. Travaux pratiques dans les souffleries de l'IUT de Ville-d'Avray : détermination de polaire d'Eiffel sur un profil NACA 23015 (en haut) et d'épaisseur de couche limite sur plaque plane (en bas).

En parallèle, on été introduit dans le laboratoire des moyens d'essais plus modernes comme une balance aérodynamique 6 composantes (voir Figure 2). Les mesures faites sur cette balance permettent de compléter celles faites à partir des relevés de pression.

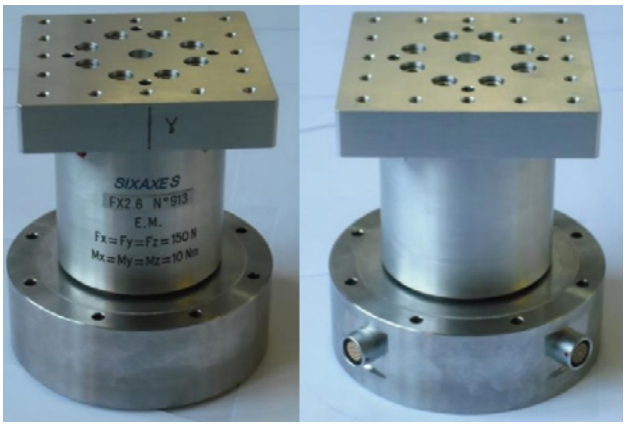


Figure 2. Balance aérodynamique 6 axes (modèle SIXAXES)

La balance 6 composantes comporte une cinquantaine de jauges de contraintes implantées dans deux cylindres superposés. Les étendues de mesures sont de 0 à 150 N pour les efforts et de 0 à 10 Nm pour les couples. Elle est contrôlée par une électronique de puissance et pilotée sous Matlab Simulink.

A titre d'illustration est présentée ici une mesure de polaire d'Eiffel réalisée sur une maquette de lézard Draco (voir Figure 3). Ces travaux sont menés en collaboration avec le Muséum national d'histoire naturelle [1] et traite de l'aérodynamique du lézard Draco Melanopogon. Elle vise à qualifier le vol de ce lézard et tente d'apporter des réponses aux questions suivantes : quelles sont ses performances aérodynamiques selon les postures de vol observées ? Quelle est la part de contrôle de l'animal sur la trajectoire ? Enfin, les biologistes s'intéressent à l'adaptation du lézard à son milieu naturel. Ils souhaitent comprendre pourquoi certaines espèces ont développé cette aptitude au vol.

Figure 3. Mesure des efforts aérodynamique sur Draco Melanopogon réalisée à 20 m/s.

Pour compléter les possibilités de mesures, une des souffleries a été équipée d'un dispositif de mesure de vitesse par vélocimétrie laser de type PIV (fabriquant Dantec). Cette PIV a les caractéristiques suivantes : PIV 2D, fréquence maximale 15 Hz, deux lasers pulsés de type YAG, longueur d'onde 532 nm, niveau d'énergie d'environ 70 mJ/pulse/laser. Les photos sont prises par une caméra de 5 mégapixels. Deux générateurs de fumée sont disponibles : un appareil qui utilise des huiles organiques et qui génère un panache de type fumée de spectacle et un atomiseur TOPAS ATM 220. Ce dernier pulvérise une huile minérale sous pression et offre l'avantage de connaître globalement le nombre de particules et leur taille. Cela peut permettre d'affiner la dispersion lorsque l'on souhaite améliorer des relevés de champs de vitesse. Pour travailler dans des conditions de sécurité optimales, un sarcophage en bois encapsule la veine d'essais pour éviter tout contact avec le laser. Sont aussi utilisées des lunettes adaptées et un rideau spécifique pour améliorer encore le niveau de sécurité. La figure 4 présente une photo du dispositif implanté dans la veine d'essais.

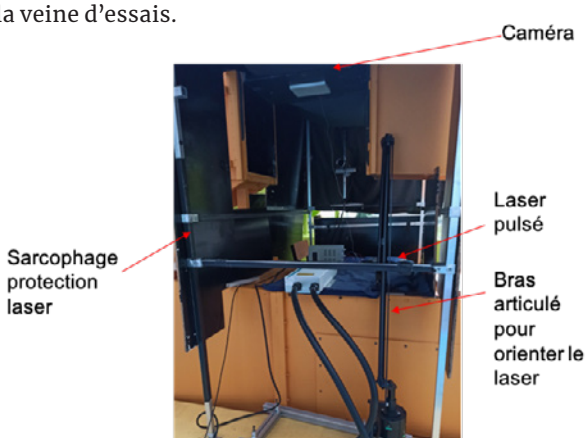


Figure 4. Banc de mesure PIV implanté dans les veines d'essais d'une soufflerie IUT Ville d'Avray

Ces moyens d'essais permettent également de s'intéresser à des problématiques variées et parfois en rupture. Par exemple, une étude aérothermique du Badgir, menée en collaboration avec des architectes de Paris Malaquais [2]. Cette étude des Badgirs iraniens se positionne à la croisée de deux domaines habituellement plus éloignés : la mécanique des fluides et l'histoire.

Le badgir est un bâtiment iranien visant à climatiser une habitation (voir Figure 5) Ces installations ont été construites depuis le VIIIème siècle dans plusieurs villes iraniennes. La climatisation du lieu de vie est assurée par une ventilation diurne via une « tour du vent » et un stockage thermique nocturne dans les murs du bâtiment.

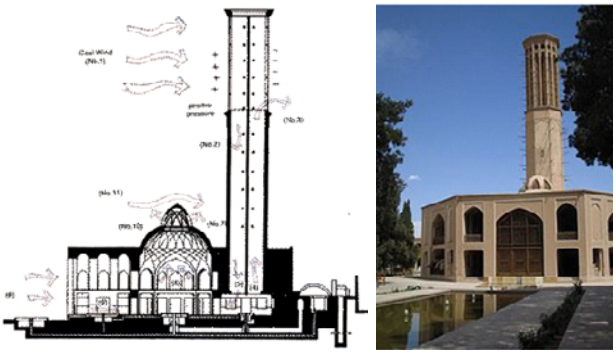


Figure 5. Coupe et photographie d'un Badgir iranien « Dowlat Adad » (XVIIème siècle)

Le premier enjeu est technique : Quelle est l'efficacité de ce type de bâtiment ? Quels sont les phénomènes mis en jeu ? Quelle est la contribution de chacun de ces phénomènes sur la climatisation ? Quels sont les paramètres prépondérants à considérer lors d'une conception de Badgir ?

Le second est historique : Quelles étaient les méthodes de dimensionnement des architectes iraniens entre le VIIIème et le XIIème siècle ? Peut-on déterminer quel était leur niveau de connaissance en aérodynamique et en thermique ?

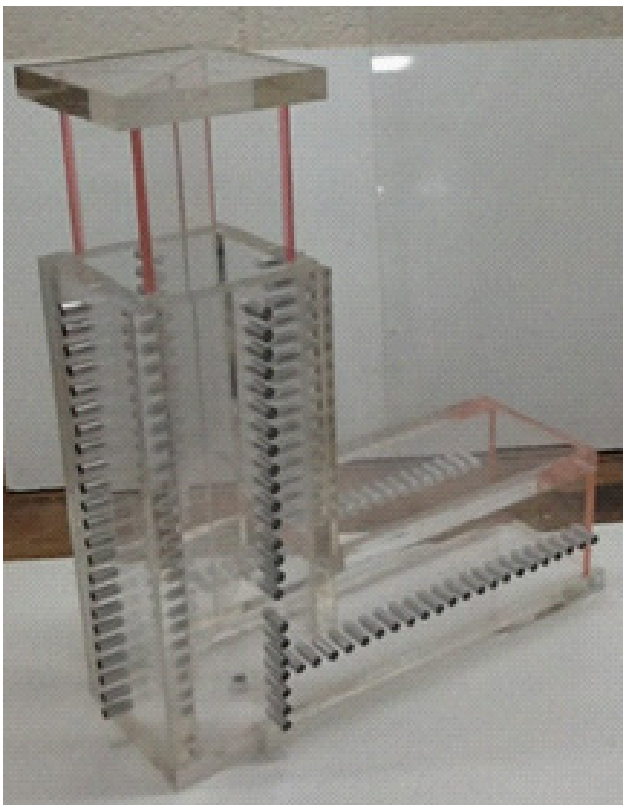


Figure 6. Maquette d'un Badgir iranien pour relevés de pressions statiques

Les premiers relevés de pression dans une maquette au 1/50e fabriquée par R. Deghan ont montré l'intérêt de l'étude aérothermique de ce type d'installation (voir Figure 6). Il semblerait qu'il y ait des phénomènes aérodynamiques non triviaux à étudier, notamment dans le conduit A, frontal à l'écoulement (niveau de dépression plus élevé que dans les autres conduits sur le premier tiers de la conduite). La caractérisation et la compréhension de ce type de phénomènes s'articule autour d'une approche expérimentale et d'une étude numérique.

Pour conclure, ce laboratoire qui a environ 50 ans d'existence permet aujourd'hui aux étudiants et aux chercheurs d'horizons divers d'étudier sereinement la mécanique des fluides grâce à des moyens modernes mais aussi par des outils et des méthodes plus anciennes. Les années passent mais l'objectif reste le même : nourrir un intérêt pour cette discipline très expérimentale et aux applications aussi vastes que passionnantes.

Références bibliographiques :

[1] R. Boistel, A. Herrel, A. Hocine, J.-G. Bauzin et B. Cherickh
Etude aérodynamique du vol d'un lézard Draco : approches expérimentale, numérique et par méthodes inverses, Lettre 3AF n° 45 (novembre-décembre 2020)

[2] R. Deghan, A. Baïri, A. Hocine, B. Chanetz
Experimental and numerical simulation of an Iranian wind tower
49th Applied Aerodynamics 3AF symposium, Lille, France (24-26 mars 2014)

UN EXEMPLE D'ÉTUDE DE STABILITÉ D'UN PROTOTYPE À TROIS SURFACES, LE CHUDZIK CC02

par **Michel Barry**, maître de conférences mécanique des fluides, IUT de Ville-d'Avray de 1971 à 2006

Cette étude a été faite en encadrant des étudiants en projet. Les souffleries S45 étaient particulièrement bien adaptées à l'étude des stabilités longitudinales grâce à la girouette de Lapresle ou à la balance de Lafay qui les équipaient d'origine. Les coefficients de moments, notamment de tangage, dépendent peu du nombre de Reynolds si on prend la peine de provoquer les décollements de couches limites. Les résultats obtenus en S45 à des nombres de Reynolds de l'ordre de 200.000 à 500.000 se vérifiaient ensuite très bien en vol. Un petit fil disposé sur les plans porteurs en envergure provoquait les décollements des couches limites et donnait des décochages aux mêmes incidences qu'aux nombres Reynolds de 2 à 10 millions.

La figure 7 montre un prototype *Chudzik* CC02 à 3 surfaces en place sur la girouette de Lapresle. La figure 8 montre le prototype au sol puis la figure 9 le prototype en vol.

Figures 7. Montage de la maquette du prototype Chudzik CC02 sur la girouette de Lapresle sur une des trois veines S45 de Ville-d'Avray.

Le tracé des courbes de moments de tangage M en fonction de l'incidence α, pour différents centrages, a permis de trouver le point neutre de l'appareil (foyer avion). Les trois gouvernes principales (volets d'aile, volet de profondeur arrière, volet de profondeur du canard) peuvent être braquées de façon à déterminer la manœuvrabilité de l'appareil en fonction des différents braquages β.

La géométrie générale, le calage des plans, les braquages des différents volets et les compensateurs ont été définis au cours d'essais en S45 à Ville-d'Avray.

Figure 8. Prototype CC02 au sol

Figures 9. Prototype CC02 en vol

■

FMA 004

DÉCOUVRIR LA MÉTROLOGIE EN AÉRODYNAMIQUE

BUT

Cette formation d'initiation permettra aux auditeurs :

- De se familiariser avec les différentes techniques de visualisation et de mesure en soufflerie
- D'acquérir au moyen de travaux pratiques les techniques les plus classiques toujours très utilisées
- D'approfondir les techniques plus récentes et qui montent en puissance

Elle vise surtout à donner des bases essentielles, mais a également pour vocation de s'ouvrir sur un vaste champ de méthodes.

DURÉE ET EMPLOI DU TEMPS

Le stage dure 5 jours (30 heures) et comporte :

- 6 exposés de cours
- 7 séances de Travaux Pratiques
- Une visite des souffleries de recherche de l'ONERA Meudon

ESPRIT GÉNÉRAL

Ce stage s'appuie sur des cours de base : rappels mathématiques ou physiques.

Cette introduction est suivie de conférences sur les techniques métrologiques en aérodynamique de pointe afin d'offrir un panorama de toutes les techniques existantes, même celles restant proches des laboratoires :

- Les plus classiques (mesures de pression, d'efforts, de vitesses au moyen de sondes)
- Celles qui montent en puissance (Peintures Sensibles à la Pression [PSP], Particle Image Velocimetry [PIV])
- Les plus avancées (Fluorescence par Faisceau d'Electrons FFE), Diffusion Raman Anti-Stokes Cohérente (DRASC) Laser Induced Velocimetry (LIF), Doppler Global Velocimetry (DGV)

Cet apport théorique est concrétisé par la mise en pratique des mesures essentielles au moyen d'expérimentations en soufflerie réalisées par des groupes de trois auditeurs, et d'une découverte de laboratoires de recherche en aérodynamique de l'ONERA.

PRÉREQUIS

Niveau du stage : Base
Ce stage s'adresse à des techniciens confirmés (Bac + 3), ou à des ingénieurs généralistes, qui veulent découvrir ou approfondir le domaine de l'aérodynamique expérimentale.

ANIMATEURS

Bruno CHANETZ :
Professeur Associé à l'Université Paris-Nanterre
Directeur adjoint du Département " Aérodynamique Fondamentale et Expérimentale " à l'ONERA

Ali HOCINE :
Maître de Conférences à l'Université Paris-Nanterre
Responsable " Laboratoire Aérodynamique " au Pôle Technologique de Ville d'Avray.

SOMMAIRE

- ***Mesure des pressions***
  - Au moyen de capteurs passifs ou actifs (piezoélectriques)
  - Au moyen de Peintures Sensibles à la Pression (PSP)
- ***Mesure des vitesses***
  - Tube de Pitot
  - Antenne de Prandtl
  - Venturi
  - Fil chaud
  - Sondes anémoclinométriques multi-trous
  - Vélocimétrie Laser à Franges (VLF)
  - Particle Image Velocimetry (PIV)
  - Doppler Global Velocimetry (DGV)
- ***Mesure des efforts***
  - Balance à jauge de contraintes
  - Intégration dans les maquettes
- ***Visualisation***
  - Strioscopie, Ombroscopie, Interférométrie
  - Visualisations pariétales
    - Brins de laine, talc
    - Enduit visqueux
    - Acénaphtène
  - Visualisations des écoulements
    - Fumée
    - Tomoscopie laser
  - Fluorescence par Faisceau d'Électrons

DATE	PRIX
à PARIS : du 7 au 11 juin 2021	**2280,00 € HT (TVA 20 %)** Voir conditions générales

EUROSAE Site web : www.eurosae.com - E-mail : inscriptions@eurosae.com- Tél. 01 41 08 01 01 - Télécopie : 01 41 08 07 77

FORMATION

LE GROUPE DE TRAVAIL MÉCADYMAT DE L'ASSOCIATION MECAMAT

par **Eric Deletombe**, ONERA et **Patrice Longere**, ICA ISAE-SUPAERO

Le groupe de travail MécaDymat est né en l'année 1999 de la volonté conjointe des associations MECAMAT (Association française pour le renouveau de la Mécanique des Matériaux) et DYMAT (Association européenne pour la promotion de la recherche sur les comportements dynamiques des matériaux et leurs applications), d'organiser régulièrement un moment de rencontre entre leurs deux communautés à l'occasion d'un forum consacré au comportement des matériaux et des structures sous sollicitations dynamiques (en pratique pour des vitesses de déformation supérieures à 0,1s-1). Ce forum (de deux journées) se tient au printemps de chaque année, à quelques exceptions près, et est « hébergé » tous les 4 ans depuis 2002 par la conférence Matériaux. Il a emmené une cinquantaine de fidèles participants dans un très sympathique et convivial tour de France, via Poitiers, Toulouse, Tours, Lille, Metz, Dijon, Lorient, Bourges, Nantes, Lyon, Brest, Montpellier, Strasbourg, Cachan, Strasbourg et Bordeaux, et aurait dû fêter son 21ème anniversaire l'an passé, en 2020 donc, à Valenciennes, ce qui n'a malheureusement pas pu être le cas en raison de la crise sanitaire.

Il existe plusieurs raisons pour qu'un article de la Lettre 3AF n°48 soit consacré à MécaDymat : la première est que l'ONERA-Lille – au travers de son unité de recherche *Conception et résistance dynamique* participe au GT MécaDymat depuis sa création. L'ONERA-Lille avait accueilli sa 4ème édition en 2003 (l'année de l'inauguration de la Tour de crash, Tour de crash à laquelle un autre article de ce même numéro est consacré). La seconde raison en est que le département DMAS/CRD de l'ONERA a l'honneur et le plaisir de co-animer ce GT MécaDymat, aux côtés de l'ICA ISAE-SUPAERO, depuis 2016. Il était donc tout simplement impensable de ne pas l'évoquer dans ce numéro, tant l'appartenance à cette communauté nationale a été structurante et importante pour l'équipe. Enfin, la troisième raison qui nous pousse à vous présenter MécaDymat est que l'édition anniversaire, qui n'a pu se dérouler comme prévu en 2020, devait être accueillie par le LAMIH de l'université polytechnique des Hauts-de-France, autre partenaire historique en région Hauts-de-France que nous voulions donc également mettre à l'honneur. Initialement reportée au printemps 2021, les prochaines journées se dérouleront finalement en avril 2022, la Covid-19 ne nous ayant guère laissé de répit, cette année encore. Nous ne pourrons donc pas, comme nous en avions initialement l'intention, vous en faire la synthèse dans ce numéro spécial « Hauts-de-France » de la Lettre 3AF. *L'édition 2021 aura été remplacée par une manifestation virtuelle, spéciale « doctorants », afin de permettre à ceux d'entre eux, qui en auront eu peu l'occasion depuis mars 2020, de présenter leurs travaux devant leurs pairs.*

Que dire donc du GT MécaDymat, en quelques mots, si ce n'est d'abord qu'il s'intéresse à toutes les classes de matériaux et de comportements. Les sujets qui y sont abordés couvrent la compréhension des mécanismes de déformation, d'endommagement et de rupture, la construction, l'identification, la validation et l'implantation de lois de comportement fiables, ainsi que le développement de méthodes expérimentales et numériques adaptées aux grandes vitesses, pour la caractérisation des phénomènes ou la validation des simulations. Les problèmes d'impact, de crash, les procédés grande vitesse, les couplages thermomécaniques sont au coeur des applications visées par Mécadymat. Tous les domaines civils et militaires, industriels aussi bien que fondamentaux, y sont traités. Les journées MécaDymat sont ainsi l'occasion de faire un point annuel sur les avancées scientifiques réalisées dans les domaines de l'expérimentation, de la mesure, de la modélisation et de la simulation numérique des matériaux soumis aux grandes vitesses de sollicitation. Les contributions industrielles mettant l'accent sur l'expression des besoins et des manques, ainsi que sur les applications, y sont particulièrement appréciées. Ces journées sont un lieu d'échange et de discussion, où il est proposé à chacun – industriel ou académique, nouvellement formé ou expert chevronné - de présenter ses travaux pour en discuter sans a priori avec les représentants de la communauté, rassemblés pour l'occasion.

" Journées 2019 du GT MécaDymat, accueillies par l'I2M à Bordeaux" ■

FORMATION

LE SUMMER SPACE FESTIVAL : LE PROJET PHARE DE L'ANTENNE JEUNES HAUTS-DE-FRANCE

par **Antoine Bocquier**, responsable du Summer Space Festival, membre 3AF et **Anthyme Durlin**, représentant au bureau du GR HDF de l'Antenne Jeunes régionale 3AF

INTRODUCTION ET PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Nous sommes 12 étudiants désireux de partager notre passion du spatial, réunis en octobre 2020, afin de discuter de l'organisation d'un événement spatial grand public, venant compléter la conférence EUCASS-3AF 2021. Issus d'écoles d'ingénieurs des Haut-de-France (Centrale Lille, Elisa Aerospace, ISEN) et membres de l'Antenne Jeunes Hauts-de-France 3AF, nous souhaitions organiser une journée visant à transmettre une passion, sensibiliser sur les enjeux pour l'avenir et valoriser les activités spatiales dans toute leur diversité. En particulier, nous avions à cœur de créer des rencontres entre le public et des professionnels du spatial, ainsi que des personnalités du milieu. Malgré les incertitudes quant à l'organisation d'un événement de telle ampleur au vu des restrictions sanitaires, nous adoptions un état d'esprit optimiste et déterminé : résolus à mettre en valeur la persévérance et le besoin de partage de notre génération.

L'idée d'un tel événement est venue du comité d'organisation de l'EUCASS-3AF 2021 (9th European Conference for AeroSpace Sciences) et nous a été transmise par notre président de Groupe Régional, Eric Deletombe. À l'origine, l'EUCASS-3AF réfléchissait à sa communication auprès du grand public, et l'idée de joindre Thomas Pesquet en Live depuis l'ISS durant sa mission Alpha leur était venue. Autour de cet événement phare, nous souhaitions mettre en relation les intervenants de la conférence avec le public au moyen de conférences et tables rondes, mais également en présentant les acteurs spatiaux, locaux et européens, avec un espace de stands où industriels et associations, notamment étudiantes, pourraient se présenter.

Très vite, le projet se développe grâce à l'investissement de chacun, et la définition de l'événement s'affine, notamment grâce au support clé d'organisateurs de l'EUCASS-3AF 2021, de la Métropole et de la Ville de Lille, et bien sûr des responsables de l'association au niveau régional (Eric Deletombe) et au niveau du Comité Jeunes (Gérard Laruelle) de 3AF. Enfin le festival trouve son parrain : Jean-Jacques Dordain, ravi de soutenir l'organisation d'un tel événement dans sa région natale.

La manifestation prendra ainsi place sous un format hybride présentiel/distanciel, à la gare Saint Sauveur de Lille, durant toute la journée du Dimanche 4 Juillet 2021. Une scène anglophone sera tournée vers des aspects plus techniques, à destination d'un public initié, tandis qu'une scène francophone permettra à un large public de découvrir le milieu spatial sous tous ses angles. Au programme (accessible en détail ici) : exploration spatiale, observation de la Terre, applications, sciences spatiales...

Une attention particulière est portée sur la virtualisation de l'événement : le festival sera ainsi 100% accessible en ligne, via le site que Corentin, membre de l'Antenne, et les membres de notre pôle communication ont créé spécialement pour l'occasion. Nos relations avec la gare Saint-Sauveur nous permettent de garder une certaine flexibilité sur ce couplage entre virtuel et présentiel, ainsi, si les normes sanitaires ne permettent aucun rassemblement, nous envisageons de mettre en place une plateforme virtuelle dédiée à l'échange entre les visiteurs et les différents intervenants de l'événement (conférenciers, associations, industriels...).

Au début de l'année 2021, notre équipe fait face à 2 revers : un échange avec Thomas Pesquet depuis l'ISS ne pourra se tenir lors du festival à cause d'un nombre d'In-Flight Calls finalement réduit (concurrence des jeux olympiques de Tokyo). De plus, la conférence EUCASS-3AF est repoussée à 2022 du fait des incertitudes pesant sur l'organisation d'un événement exclusivement présentiel dans les conditions sanitaires à venir. Notre équipe ne démord pas, l'événement a déjà été suffisamment préparé pour assurer plusieurs activités passionnantes, réalisables sans rassemblement public si les conditions l'obligent. De plus, des synergies avec plusieurs événements similaires sont nées, notamment un Workshop du Space Generation Advisory Council se tenant le Samedi 4 Juillet, qui nous permettent de nous inscrire dans une réelle dynamique.

A ce jour, l'événement regroupera idéalement plusieurs activités animées par des vulgarisateurs reconnus échangeant avec des présentateurs du milieu spatial :

- Des échanges avec des astronautes européens (scène en plein air, francophone) ;
- Des animations et présentations de vulgarisation sur des thématiques spatiales (scène en plein air, francophone), visant un public large et non connaisseur ;
- Des conférences et tables rondes de découverte et d'approfondissement (scène uniquement virtuelle, anglophone), pour les plus initiés ;
- Une foire associative avec des stands en présentiel et/ou en virtuel afin de créer de la rencontre.

PRÉSENTATION DU PÔLE PROGRAMMATION

Le pôle programmation se compose d'Amal, Baptiste, Antoine, Sasha et Corentin, réunis pour planifier les présentations qui se tiendront au cours de la journée du festival. Cela dit également, pour choisir des thèmes pertinents mais assez diversifiés afin de convenir à tous les goûts. C'est la partie qui nous a pris le plus de temps. Ensuite, il nous a fallu décider du format de l'événement. Nous avons donc pensé à mettre en place deux types de scènes : une scène de vulgarisation francophone en présentiel et retransmise en ligne, ainsi qu'une deuxième scène uniquement virtuelle et anglophone qui portera sur des contenus plus approfondis. L'adoption d'un format hybride est particulièrement importante afin d'accroître la portée du festival à un niveau national et européen.

Nous progressons sur la recherche d'intervenants en accordant une grande priorité à diversifier les profils des conférenciers et des présentateurs, afin de représenter la variété des profils travaillant dans le secteur et de pouvoir se rapprocher du public. Celui-ci aura ainsi la chance d'assister à des conférences et tables-rondes animées par des astronautes, des ingénieurs, des chercheurs et des vulgarisateurs reconnus, hommes et femmes. À ce stade, nous avons confirmé plus d'un tiers des intervenants et continuons activement nos invitations, portés par les messages encourageants que nous recevons, à l'image de Jean-François Clervoy: " Bravo pour votre engagement dans la transmission, l'inspiration et la valorisation autour les activités spatiales."

PRÉSENTATION DU PÔLE COMMUNICATION

Le pôle communication est constitué de quatre membres, Caroline, Paul, Amal et Corentin. Deux objectifs nous unissent particulièrement au sein de ce pôle. Le premier, en coulisses disons, consiste à préparer des supports de présentation à destination de personnes extérieures au projet, pour des demandes de subventions par exemple. Ce fut d'ailleurs le cas avec un dossier de communication présenté à la ville de Lille début 2021. Le second, et non des moindres, concerne ce qui est directement destiné au public. Si le design et le développement du site web (*www.summerspacefestival.fr*) nous ont occupés pendant une grande partie du projet, nous continuons à apporter quelques modifications au fur et à mesure que l'échéance approche. À présent, nous précisons essentiellement notre stratégie de communication. "Quel contenu poster ? À quelle fréquence ?

Les membres de l'équipe d'organisation du SSF

Par quels canaux ou intermédiaires passer pour faire connaître notre événement ? " sont autant de questions que nous sommes amenés à nous poser, sachant d'autant plus que nous devrions avoir accès à des panneaux publicitaires courant mai. Enfin, désireux d'inclure le public de la région dans ce projet, nous réfléchissons à des jeux concours dont les récompenses pourraient être par exemple des objets conçus par nos soins dans le FabLab de l'École Centrale de Lille.

PRÉSENTATION DU PÔLE PARTENARIATS

En ce qui concerne les partenariats, le pôle qui en est chargé est dirigé par Thibault, Antoine, Baptiste et Amandine. Nous avons commencé par chercher des idées, des repères de ce qu'il était possible de réaliser. Nous avons dû identifier les besoins du SSF et les apports que nous pourrions offrir à nos partenaires. Ces possibilités d'échanges ont ensuite été rassemblées pour former notre kit de partenariat. Ce kit rassemble une présentation du festival et met en avant la diversité de nos valeurs : jeunesse, dynamisme, partage. Nous essayons d'établir des partenariats de différentes natures : finances, communication, logistique et mécénat.

Nous proposons trois niveaux d'offres pour chaque type de partenariat, pour des investissements et bénéfices croissants.

La phase suivante consiste à démarcher des partenaires : entreprises, associations, startups, incubateurs, mais aussi personnalités et influenceurs.

Le SSF favorise les échanges pour permettre à tous de découvrir ou de partager la passion des étoiles, et c'est ce partage que nous favorisons dans le pôle partenariats.

PRÉSENTATION DU PÔLE LOGISTIQUE

Le pôle Logistique, constitué de Caroline, Antoine, Anthyme et Corentin, s'est chargé de définir les lieux d'accueil potentiels et les moyens requis pour organiser l'événement. Le défi était ainsi de trouver un lieu central pouvant accueillir un public suffisamment large, en toute sécurité, et permettant une certaine flexibilité sur l'agencement des scènes et stands, de montage/démontage ainsi que de support en amont et lors du festival. Après avoir considéré une scène sur place publique, nous avons identifié un lieu culturel unique, bien connu du public lillois : la *Gare Saint-Sauveur*. Espace culturel et de loisirs de la Ville de Lille, cette ancienne gare de 1865 symbolise parfaitement l'héritage industriel du Nord et sa reconversion en une région jeune et dynamique portant "Haut et Fort" (comme on dit ici) de nombreuses actions culturelles. La Gare propose ainsi une large terrasse extérieure pouvant accueillir la scène plein air ainsi que les stands, tandis que des anciens halls de trains accueillent un bistro, un cinéma et des espaces de représentation.

Nous sommes heureux de pouvoir compter sur ce lieu de patrimoine exceptionnel, à l'ambiance détendue et estivale en Juillet. Il est temps désormais de nous concentrer sur la préparation des moyens audio-visuels et scéniques.

PRÉSENTATION DU PÔLE FINANCES

Trois personnes composent le pôle Finances : Anthyme, Remy et Alexis. Notre objectif principal est de déterminer le budget de l'événement en collaborant avec le pôle programmation et le pôle partenariat, puis de trouver les moyens qui nous permettront de le financer.

Après avoir réuni suffisamment d'informations nous permettant de définir l'événement, nous avons contacté les structures susceptibles de pouvoir l'accueillir. Nous avons ensuite pu commencer à dresser les premières estimations du budget, en approximant grossièrement certains postes de dépenses. Il est en effet difficile de se projeter sur ce type d'organisation sans avoir l'expérience d'événements antérieurs. Afin d'estimer les équipements et installations dont nous avions besoin ainsi que leurs coûts de manière plus précise, nous avons contacté une agence événementielle. Nous nous sommes servis du devis fourni comme support initial pour réitérer nos estimations.

Pour nous adapter à l'évolution possible des mesures sanitaires, nous avons mis en place plusieurs scénarios : un événement hybride présentiel/distanciel ainsi qu'un événement 100 % distanciel. Nous les avons ensuite déclinés en différentes catégories budgétaires (hauts/moyen/bas) en fonction des moyens déployés mais également des partenariats en nature que nous avons établis (matériel audiovisuel, scénique, etc...).

Concernant les sources de financement, nous avons déposé plusieurs dossiers à la Ville de Lille et à la région des Hauts-de-France, et le pôle Partenariats prospecte activement afin de compléter le budget avec des financements privés. ■

LE GROUPE HDF ET SON COMITÉ JEUNE

par **Gérard Laruelle**, président du comité jeunes 3AF et **Anthyme Durlin**, membre 3AF

INTRODUCTION

L'Association Aéronautique et Astronautique de France (3AF) est basée sur des Commissions Techniques (CT) où les spécialistes d'un même sujet travaillent ensemble, et des Groupes Régionaux (GR), où la localisation régionale est le paramètre de liaison. Un autre trait d'union est assuré par le Comité Jeunes (CJ) qui a quelques missions transverses :

- Motiver les jeunes pour rejoindre le secteur aérospatial,
- Aider les étudiants à l'orientation scolaire et la connaissance de l'industrie,
- Aider les diplômés à l'intégration dans la vie active.

Les jeunes (moins de 30 ans) adhérents à la 3AF se regroupent régionalement au sein des Antennes Jeunes Régionales (AJR) dont les actions et l'importance varient fortement d'un GR à l'autre. La cohésion, assurée par le Président du CJ, s'est fortement améliorée en 2020 grâce à la pandémie qui a développé les échanges en visioconférence.

L'AJR Haut de France est remarquable sur plusieurs aspects :

- Anthyme Durlin, étudiant à Saint Quentin, loin de Paris, souhaite développer un noyau de jeunes 3AF. En parallèle, Éric, Ingénieur à Lille, propose de lancer un GR Haut de France. Gérard, le président du CJ les met en contact et tout s'organise très vite.
- La première action d'Anthyme Durlin a été de créer un petit réseau de jeunes dans plusieurs écoles de la région servant de fondations solides pour, ensuite, engager de multiples actions en commun. Cette approche est essentielle et bien plus efficace que de lancer des actions en solitaire.
- Le temps passant, Anthyme Durlin quitte son statut d'étudiant mais il développe des relais auprès de plus jeunes pour assurer la continuité du pilotage de l'AJ, et sans la quitter. Ainsi, le gros problème de la continuité du CJ a été résolu.

Maintenant, les résultats concrets se matérialisent, donnons la parole à Anthyme pour nous les présenter.

SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET ÉCONOMIQUE DE LA RÉGION

Les territoires des Hauts-de-France possèdent une histoire aéronautique marquante, avec notamment un pionnier de l'aviation, Henry Potez, s'étant installé à Albert afin de développer ses prototypes et, plus tard, les produire en grand nombre. Aujourd'hui, le secteur d'Albert-Méaulte est le principal pôle aéronautique de la région, caractérisé par une forte activité économique. De nombreux industriels y sont implantés, fournissant de longue date les avionneurs et principaux donneurs d'ordre du secteur aéronautique en pièces, sous-systèmes et autres sous-structures. Au cours de la seconde guerre mondiale, l'ancêtre des fusées spatiales, la V2 allemande, trouva sa place dans des sites de lancement secrets placés au plus près des côtes britanniques, dans le secteur de Saint-Omer notamment. Ces faits mettent en évidence le rôle de la région dans les innovations aérospatiales au cours du temps, et l'importance qu'elle continue d'assurer dans l'économie actuelle.

Tel un carrefour entre la Grande-Bretagne et l'Europe, entre la Belgique (forte du pôle de compétitivité très dynamique Skywin) et la France, les Hauts-de-France rassemblent une multitude de protagonistes dans le secteur aérospatial, autant d'acteurs à fédérer pour le Groupe Régional d'une association savante.

La Coupole d'Helfaut, le site fabrication & tir V 2

ORIGINE ET OBJECTIFS

Ces facteurs ont donc naturellement favorisé l'implantation d'un Groupe Régional de la 3AF. Cet élan permettra également à plusieurs jeunes de se lancer dans la création d'un Comité Jeunes, qui deviendra plus tard une Antenne Jeunes Régionale dans la démarche d'uniformisation que Gérard Laruelle, président du Comité Jeunes, a mis en place. Forts de la diversité des formations proposées dans la région, nous souhaitions permettre la diffusion des connaissances autour du secteur aérospatial et, surtout,

la création d'un réseau afin d'échanger facilement sur nos domaines d'intérêt. Si la création du GR Hauts-de-France, et donc de son AJR, est entérinée en Juin 2018, des réflexions sont menées dès le dernier trimestre 2017 afin de déterminer quelles sont les attentes du public ciblé.

ACTIONS

Collaboration

Une importante phase de démarchage a alors débuté afin de recenser les pôles de formation de la région accueillant des élèves qui pourraient être intéressés par l'accès à notre réseau. Cette tâche chronophage mais primordiale pour le développement de l'Antenne est toujours d'actualité. En effet, nous cherchons continuellement à agrandir le cercle de notre réseau. De plus, l'évolution des formations prodiguées par les pôles éducatifs nous pousse à maintenir un contact avec ces derniers. Nous avons ainsi pu échanger avec plusieurs étudiants et associations étudiantes, notamment sur les secteurs de Lille avec les campus de Centrale, ISEN et HEI, mais également sur Saint-Quentin avec ELISA Aerospace. Ces échanges ont été très importants pour nous, tout simplement puisqu'ils représentaient ce pour quoi nous nous étions tant investis dans la création de l'Antenne Jeunes, et qu'ils nous permettaient de cerner les besoins de notre jeune génération.

L'échange avec les acteurs industriels a également été possible via le cluster Altytud, fédérant une soixantaine d'entreprises dans la région. Nous avons eu l'occasion d'organiser plusieurs événements en collaboration, et, à l'avenir, nous espérons pouvoir présenter à nos membres les possibilités de carrières que l'environnement local présente.

Les relations avec les autres Antennes du Comité Jeunes de la 3AF ont été vitales pour notre développement et pour le maintien de notre motivation. Dès notre création, nous avons pris contact avec l'Antenne de Poitou, la seule présente sur les réseaux sociaux à l'époque, afin d'obtenir des conseils et d'identifier leur mode de fonctionnement. Plus tard, des échanges avec l'Antenne de Bordeaux seront également réalisés. L'Antenne d'Ile de France, plus jeune, a pris des initiatives importantes dès sa création, en intensifiant les relations inter-Antennes au moyen de réunions sous forme de Webinaire. Chaque Antenne a pu se présenter, détailler ses activités et problématiques, et donner ses opinions sur les choix à prendre concernant l'évolution du Comité. Ces échanges riches en informations nous ont permis d'identifier les points forts et les bonnes méthodes de chaque Antenne et de s'en inspirer.

Visites

L'Antenne Jeunes a permis aux étudiants intéressés de visiter plusieurs établissements depuis sa création. La visite du musée Bétrancourt a rassemblé une dizaine d'élèves provenant d'ISEN et d'ELISA Aerospace. La visite de l'ONERA de Lille, permise en grande partie grâce à l'implication de notre président de Groupe Régional Eric Deletombe, a rassemblé une soixantaine de jeunes dont 20 membres de l'Antenne. Nous espérons pouvoir organiser à nouveau de tels moments de rencontre et de découverte.

Les membres de l'équipe d'organisation du SSF

Néanmoins, nous nous sommes rapidement aperçus du risque d'entrer en concurrence avec les associations que nous souhaitions aider. En effet ces dernières reposent en grande partie sur l'organisation d'événements similaires. Nous sommes donc en pleine réflexion sur l'orientation que l'Antenne doit prendre afin de proposer à ses membres collectifs comme individuels des animations adaptées. Nous pensons notamment à des événements participatifs, pour lesquels les associations étudiantes auront besoin de nos services pour se rapprocher des structures similaires présentes dans la région. L'opportunité de rapprocher les membres via l'organisation d'un événement régional majeur, le plus important depuis la création de l'Antenne, nous aide à comprendre comment réunir nos étudiants et à les responsabiliser.

Space Summer Festival

L'Antenne Jeunes 3AF Hauts-de-France organise un festival spatial grand public venant enrichir la conférence EUCASS-3AF 2021 (*https://2021.eucass.eu*) qui se déroulera à Lille en Juillet 2021 ou 2022 si la situation sanitaire venait à l'exiger.

Ce projet n'est pas seulement déterminant pour la vie de notre Antenne Jeunes 3AF et son dynamisme, il est aussi une formidable occasion pour la région Hauts-de-France de marquer l'attention qu'elle porte au secteur aérospatial et à ses applications, en créant des synergies entre les différents publics qu'elle rassemblera. Soutenu par la 3AF, l'EUCASS, la Métropole Européenne de Lille et le Conseil Régional, le Summer Space Festival sera une opportunité unique de mettre en valeur, au niveau territorial, national et européen, le secteur spatial ainsi que les partenaires qui nous assisteront dans cette aventure.

L'organisation de cet événement se révèle très formatrice pour toute l'équipe, avec la nécessité de prendre des responsabilités importantes pour mener à bien le projet. Chaque jeune a l'opportunité de mettre en avant et de perfectionner ses compétences, notamment dans un esprit de travail en équipe. Malgré les contraintes sanitaires qui nous sont imposées, nous avons réussi à garder le contact au moyen de réunion hebdomadaires en visioconférence.

Une présentation plus détaillée de l'événement est disponible dans l'article précédent.

CONCLUSION ET PASSATION

L'une des problématiques majeures que rencontrent les AJR, et plus généralement, toute association savante, est de maintenir dans le temps leur cohésion et la motivation des membres. Nous avons constamment cherché à proposer à nos interlocuteurs et membres actifs de nouvelles activités, les plus adaptées possibles à leurs besoins et envies. Notre structure reste dynamique car relativement jeune et modulable. Cette organisation devrait nous permettre de nous adapter et de trouver notre rythme dans les prochaines années. Les prochains responsables de l'Antenne pourront compter sur nos conseils afin de mener cette dernière au résultat souhaité.

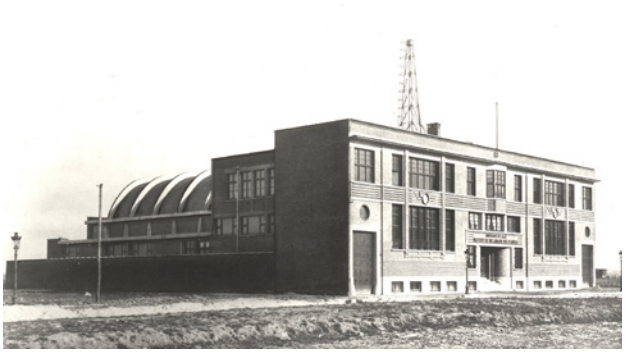
Dans les temps à venir, nous devons nous assurer que l'élan dont bénéficie l'Antenne ne s'atténuera pas, au risque de la voir décliner. Du fait de notre statut d'étudiants, les responsables et les membres actifs de l'Antenne sont amenés à évoluer régulièrement. Nous sommes confiants dans la structure qui a été construite et dans sa capacité à accueillir les nouvelles recrues. Nos efforts sont notamment dirigés vers la motivation des membres afin de les encourager à prendre les rênes de l'Antenne. C'est une belle opportunité de découvrir la vie associative, d'enrichir son réseau, de se préparer aux responsabilités professionnelles que l'on sera amené à endosser plus tard.

Nous encourageons donc les jeunes à se manifester auprès de leurs Antennes Régionales ou, à défaut, de créer la leur ! Mais surtout, nous souhaiterions clôturer cet article en incitant les membres de la 3AF à accueillir notre jeune génération avec bienveillance et enthousiasme. N'hésitez pas à conseiller, proposer, appuyer, conforter vos jeunes membres, ils vous le rendront au centuple. Il est parfois intimidant pour nous de s'adresser aux plus anciens. Une main tendue dans cette situation n'a pas de prix, car l'échange qui en résulte peut aboutir à des projets qui feront vivre l'association et ses prochaines générations de membres. Donnez l'opportunité à ces personnes pleines d'idées de s'exprimer, profitez de leurs connaissances des nouveaux enjeux et problématiques et faites-en ainsi bénéficier l'ensemble de votre réseau associatif. La jeune génération est prête à relever les défis qui lui seront lancés ! ■

HISTOIRE

LE CENTRE DE LILLE DE L'ONERA - INSTITUT DE MÉCANIQUE DES FLUIDES DE LILLE. 90 ANS AU SERVICE DE L'AÉRONAUTIQUE

par **Eric Deletombe**, ONERA et **Jean-Luc Charles**, retraité ONERA



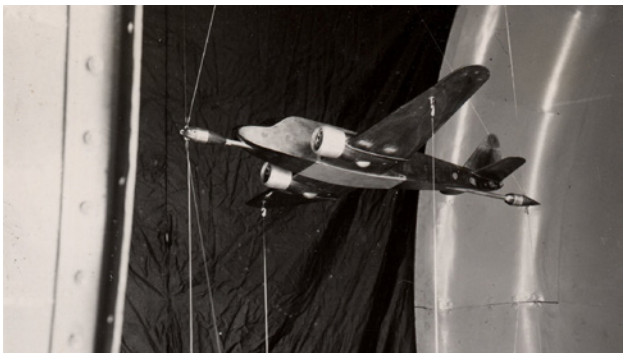
L'Institut de mécanique des fluides de Lille en 1934, après son inauguration.

C'est en 1930 que l'Institut de mécanique des fluides de Lille a pris son envol et s'est mis au service de l'industrie aéronautique française sous l'impulsion du directeur général technique de l'air, Albert Caquot, et sur l'initiative du doyen de la faculté des sciences de Lille, A. Maige.

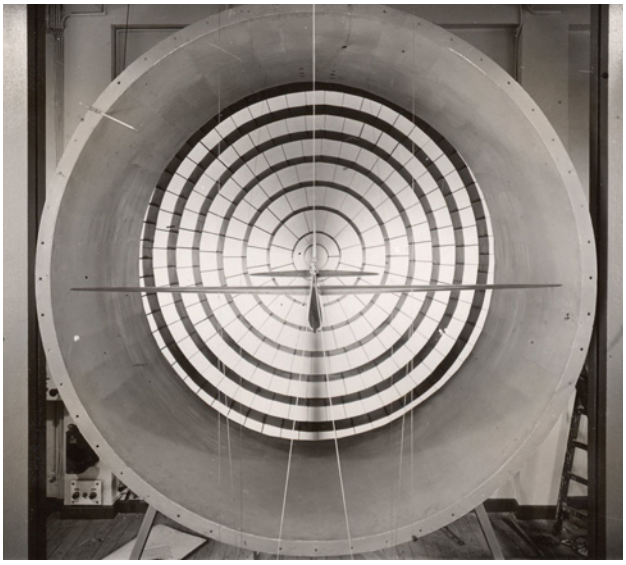
Créé au sein de l'université, l'institut, sous la direction du professeur Kampé de Fériet, éminent mathématicien et spécialiste du calcul vectoriel et de ses applications, a été doté dès 1934 d'une soufflerie horizontale basse vitesse de 2,2 m de diamètre, équipée d'une balance à 5 composantes et d'un bassin hydrodynamique de 22 m de long, tous deux encore en activité à ce jour. Les études sont orientées dès la création vers l'analyse des phénomènes de turbulence et la mécanique du vol notamment dans ses aspects instationnaires. C'est ainsi qu'en 1938 est inauguré par l'ingénieur général Paul Dumanois, président du Groupement de recherches aéronautiques (GRA), une soufflerie verticale de 2 m de diamètre destinée à l'étude de la vrille des avions.

Les principales études en soufflerie sont alors effectuées au profit des industriels français de l'aéronautique, Potez, dont le bureau d'études et les ateliers de fabrication se trouvaient à Méaulte, Dewoitine, Latécoère, CAMS. Dès cette période, Figurent déjà parmi les clients de l'institut des firmes étrangères (AVIA de Prague).

Visite de la soufflerie horizontale dans les années 1937-1938. Maquette du Potez 63 sur girouette Lapresle. De gauche à droite : Kampé de Fériet, directeur ; Martinot-Lagarde, son adjoint ; très probablement M. Bonifet, des Établissements Potez et M. Guienne, responsable de la soufflerie.

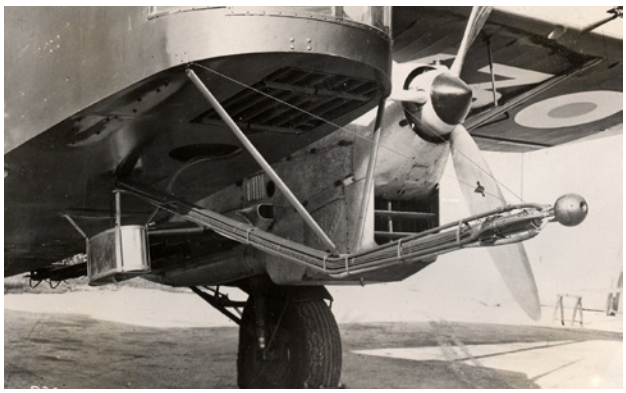


Montage pour l'étude de la stabilité transversale de l'avion POTEZ 56



Maquette d'un planeur AVIA-France dans la veine de la soufflerie horizontale de 2,2 m de diamètre

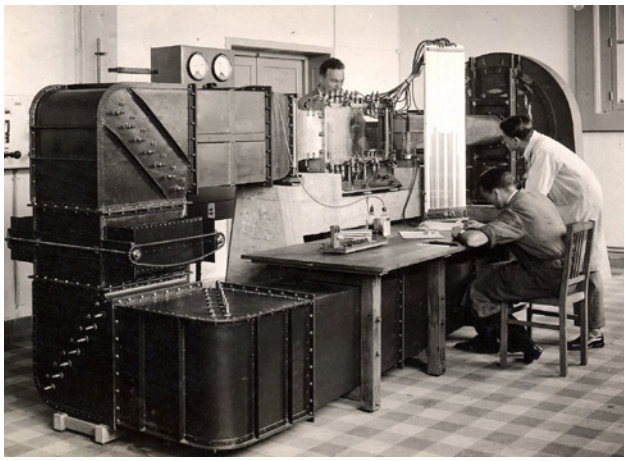
L'institut possédait également un service de météorologie, faisant partie du réseau général de l'ONM, indicatif 916, qui assurait la couverture météorologique des lignes commerciales partant de Lille ou passant à proximité et qui disposait d'un poste émetteur de radiotélégraphie lui permettant des liaisons rapides avec les avions en vol et le contact continu avec les postes du Bourget, de Londres, de Cologne et de Bruxelles. Une annexe de ce service fonctionnait au Centre de vol sans moteur de la Banne d'Ordanche avec pour mission de conduire des recherches aérologiques sous les directives de la Commission de la turbulence atmosphérique. C'est autant pour les besoins météorologiques (mesure de la vitesse, du site et de l'azimut du vent) que pour la mesure du vecteur « vitesse relative » de l'avion en vol (vitesse, incidence et dérapage) que l'anémoclinomètre IMFL a été développé et mis en œuvre.



Anémoclinomètre IMFL monté en avant du fuselage de l'avion laboratoire POTEZ 54.

A l'invasion allemande de 1940, l'IMFL reçoit l'ordre de se replier à Toulouse, accueilli dans les locaux de l'Institut de mécanique de Toulouse par le professeur Léopold Escande. C'est pendant cette période que l'institut poursuit ses travaux sur la couche limite et sur la turbulence atmosphérique. Il conduit également des essais en vol à Aire-sur-Adour et sur les lignes postales partant de Toulouse. Fort de cette expérience et conscient de la nécessité de mener des recherches approfondies en mécanique du vol, l'IMFL conçoit une soufflerie de vol libre et en commence la construction à Toulouse ; construction qui sera arrêtée à la fin de l'occupation allemande en 1944. Ce n'est qu'en 1961, sur le site de Lille, qu'une telle soufflerie verra le jour.

Le GRA ayant été dissous début 1946, l'Office national d'études et recherches aérospatiales (ONERA), créé par décret du 12 juin 1946, reprend le contrat de gestion de l'IMFL liant le GRA à l'Université de Lille, tout en mutant la presque totalité des ingénieurs, formés par le professeur Kampé de Fériet, dans ses laboratoires de la région parisienne. L'ONERA résilie ce contrat le 21 septembre 1950. Pendant cette période de rattachement, sous l'impulsion de la direction de l'aérodynamique de l'ONERA., le centre de Lille devient un centre de formation de techniciens de l'ONERA dans la maîtrise des techniques d'essais et des mesures en soufflerie. Une soufflerie transsonique de petites dimensions, à parois haute et basse continûment déformables, est alors construite en 1948 pour l'étude des écoulements dans ce domaine de nombre de Mach particulièrement mal connu. C'est ainsi que de nombreux liens se sont instaurés dès cette époque entre les équipes du centre de Lille et les équipes de l'ONERA de Modane, Chalais-Meudon et Châtillon.



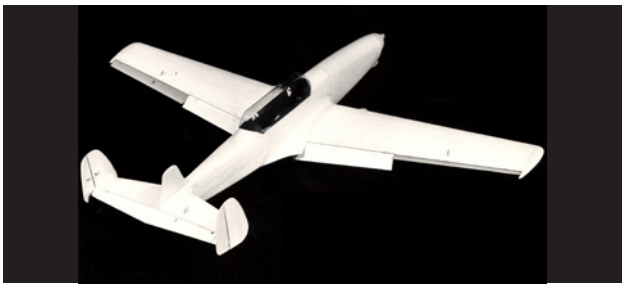
La soufflerie transsonique en 1948

LE CENTRE DE LILLE DE L'ONERA - INSTITUT DE MÉCANIQUE DES FLUIDES DE LILLE. 90 ANS AU SERVICE DE L'AÉRONAUTIQUE

Il revient au professeur André Martinot-Lagarde, directeur de l'institut depuis 1945, le grand mérite d'avoir résolument orienté les activités de l'IMFL vers les problèmes liés à la sécurité du vol des avions et, dans le domaine des recherches fondamentales, vers l'étude expérimentale des écoulements transsoniques. Bien avant d'assumer la direction de l'institut, le professeur Martinot-Lagarde s'était attaché à préciser les notions d'analyse dimensionnelle et de similitude en mécanique des fluides, à en développer les méthodes, à en étudier les limites d'application et à les utiliser pour mener des recherches sur maquettes. C'est ainsi qu'il prévoyait l'essor important que prendrait l'étude du vol de l'avion sur maquettes libres.

Sous sa direction, de 1950 à 1968, l'IMFL s'enrichit d'un atelier de fabrication de maquettes, d'un bassin d'amerrissage, d'une piste pour l'étude de l'atterrissage des avions sur maquettes, d'une soufflerie de vol libre pour l'étude de la réponse des avions aux rafales atmosphériques, d'une nouvelle soufflerie verticale de 4 m de diamètre (SV4) et dans le domaine des mesures dans les écoulements transsoniques d'un dispositif non intrusif de mesure de la vitesse par interférométrie mis au point par le professeur Gérard Gontier.

L'Institut, soutenu de façon constante par la Direction technique des constructions aéronautiques (DTCA) et avec l'appui du STAé, a poursuivi son effort de recherche au plus grand profit des industriels français de l'aéronautique. Les installations mises en place à l'IMFL par la DTCA représentent un équipement important qui, pour l'étude des phénomènes aérodynamiques instationnaires tels que la vrille des avions, l'influence des rafales atmosphériques, l'atterrissage et l'amerrissage, n'a pas d'équivalent en Europe. Ces installations sont utilisées de façon permanente non seulement par les industriels français mais aussi par les industries aéronautiques étrangères notamment italiennes, allemandes, britanniques, suisses, indiens, suédois, brésiliens, etc.

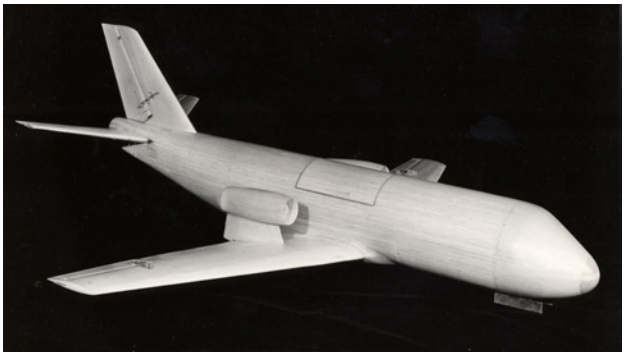


Maquette d'un avion suisse, le C3605 (C3603 avec turbopropulseur).

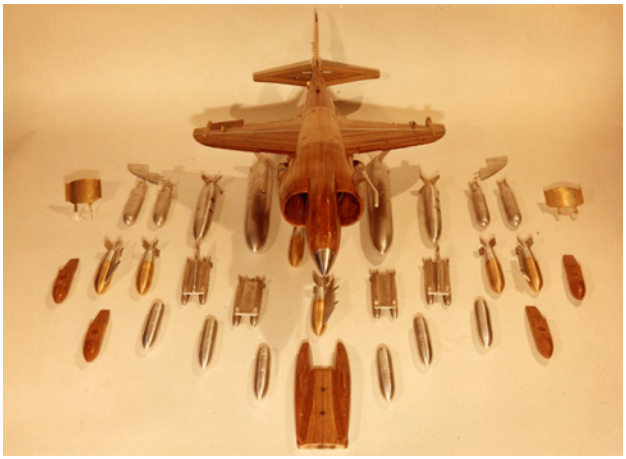
Amerrissage d'une maquette d'Airbus.

Avion italien, le SM211 (Siai-Marchetti).

Maquette du Concorde en atterrissage



Maquette d'un avion allemand, le VFW 614.

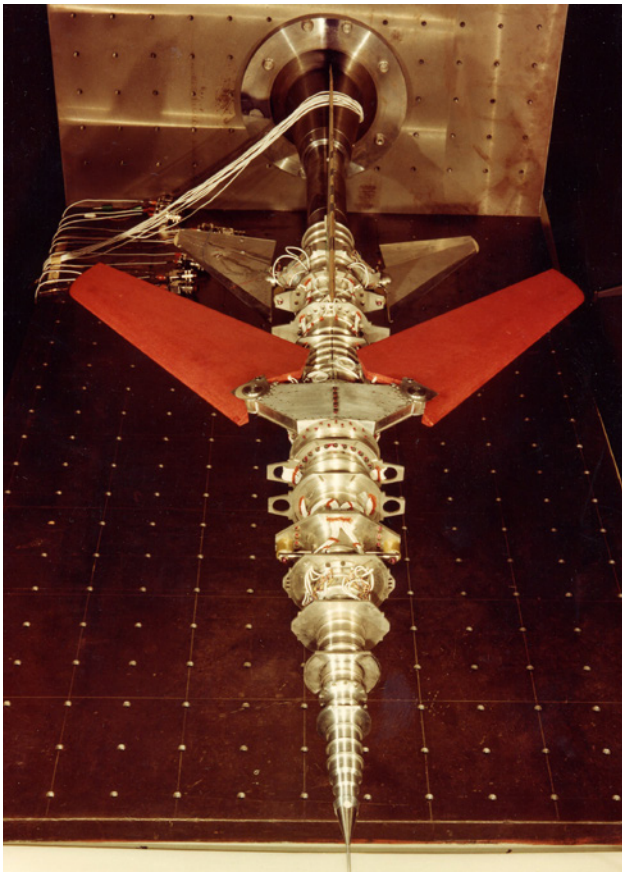


Le Harrier avec sa panoplie de charges.

Essai de vrille libre d'une maquette d'Alpha-Jet, en soufflerie verticale de 4 m de diamètre

De 1968 à 1983, sous les directions respectives du professeur Gérard Gontier et de Monsieur J. Gobeltz, l'Institut de mécanique des fluides de Lille poursuit son développement. Notamment, aux études de mécanique du vol et d'aérodynamique, viennent s'ajouter des études et recherches en mécanique des structures avec la conception et la réalisation de maquettes de flottement au profit des Avions Marcel Dassault – Breguet Aviation et de l'Aérospatiale, les études générales de conception des techniques de construction de maquettes pour souffleries cryogéniques, l'étude du crash des structures aéronautiques sur maquettes en similitude structurale et le démarrage des recherches en calcul des structures en grandes déformations et en grands déplacements.

Les recherches sur les structures s'appuyant sur les capacités des ateliers à réaliser des maquettes représentatives en similitude structurale, un très fort développement des ateliers intervient avec notamment la création d'un atelier de mise en œuvre des matériaux composites à base de fibres de verre, de carbone et de kevlar ainsi que l'implantation de machines à commande numérique performantes et bien adaptées à la fabrication des maquettes.



Structure de fuselage d'une maquette de flottement.

La montée en puissance de la Direction des recherches et études techniques (DRET), au détriment du Service technique aéronautique dès 1974 (?) dans la passation des contrats avec l'IMFL, modifie en douceur mais profondément et durablement la structure des recherches et études menées en les faisant passer de l'expérimentation à l'analyse et à la simulation numérique tout en restant fortement appuyées sur l'expérience en laboratoire. Cette mutation a entraîné une modification de la structure des personnels avec l'arrivée d'une forte population d'ingénieurs et d'une baisse relative du nombre des techniciens comme l'indique le graphique ci-dessous.

En 1983, pour la seconde fois dans son histoire, l'Institut de mécanique des fluides de Lille est rattaché, après une longue période d'incertitude, à l'ONERA - premier acteur français de la recherche aéronautique et spatiale - tout en conservant son autonomie de gestion.

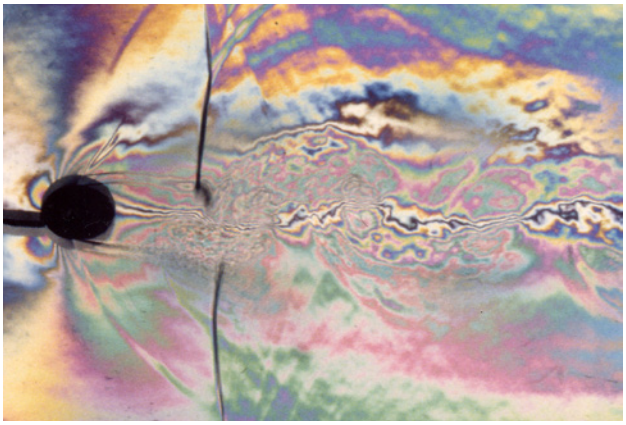
LE CENTRE DE LILLE DE L'ONERA - INSTITUT DE MÉCANIQUE DES FLUIDES DE LILLE. 90 ANS AU SERVICE DE L'AÉRONAUTIQUE

C'est immédiatement l'ouverture à une communauté scientifique importante, une collaboration fructueuse avec les Directions scientifiques de l'office, notamment la Direction de l'aérodynamique, la Direction des Structures et la Direction des études de synthèse. Sur le plan des équipements, l'effort financier de l'ONERA est important et est resté conséquent jusqu'à ce jour. L'institut se voit doté d'équipements de calcul et de laboratoire lui permettant une recherche de tout premier plan bien intégrée dans celle de l'ONERA et conservant son originalité et sa spécificité dans le domaine de la sécurité du vol des aéronefs auquel viennent s'ajouter, avec le développement des recherches en mécanique des structures, les recherches sur la sécurité des cellules.

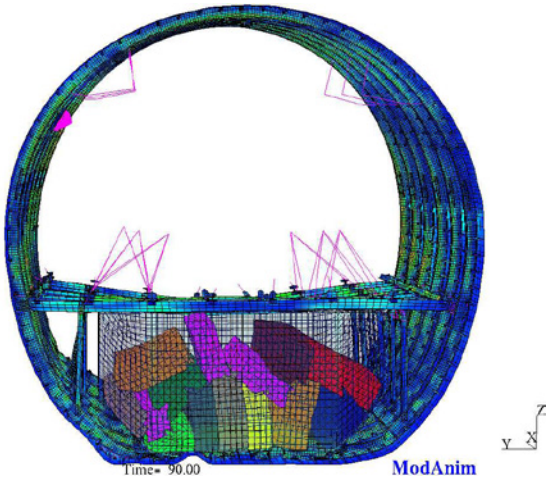
Sous la direction de Daniel Bahurel, directeur de 1988 à 1995, un effort particulier est porté à l'extension des réserves foncières de l'établissement par l'achat de terrains avoisinants. L'Institut porte alors sa surface au sol à 17 000 m2. Sous son impulsion, les liens avec la Région Nord – Pas-de-Calais, l'Université des sciences de Lille et l'Université de Valenciennes, qui s'étaient distendus lors de l'intégration de l'institut dans l'ONERA, sont renoués. S'appuyant sur l'aide financière de la Région, un ambitieux programme de construction de laboratoires et d'installations destinées aux études industrielles est lancé.

Un nouveau bâtiment consacré à l'aérodynamique est construit. Il accueille de nouvelles activités, dont celles consacrées au développement de méthodes non intrusives de mesure des vitesses dans les écoulements fluides, interférométrie, interférométrie holographique, PIV (mesure de la vitesse par images de particules), fluorescence induite par laser.

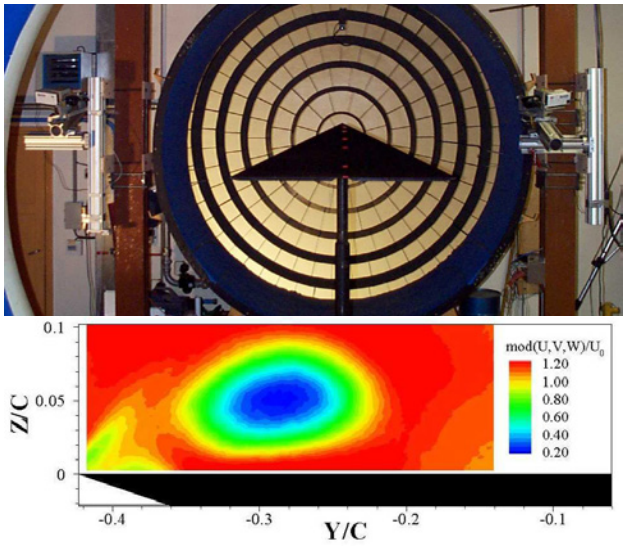
En mécanique des structures, les recherches sur le crash des avions commerciaux, les explosions, la pénétration de projectiles dans les réservoirs en association avec la recherche expérimentale et numérique de nouvelles lois de comportement des matériaux dans le domaine des vitesses moyennes de déformation s'intensifient avec l'aide de l'Aérospatiale, d'Eurocopter et la participation à de nombreux contrats européens. Des recherches sur de nouveaux concepts de rotors d'hélicoptères optimisés à déformations structurales programmées sont engagées avec la Direction de l'aérodynamique conduisant à la réalisation de maquettes souples de rotors et à leurs essais en soufflerie.



Ecoulement autour d'un cylindre à Mach 0,8. Visualisation par interférométrie différentielle.



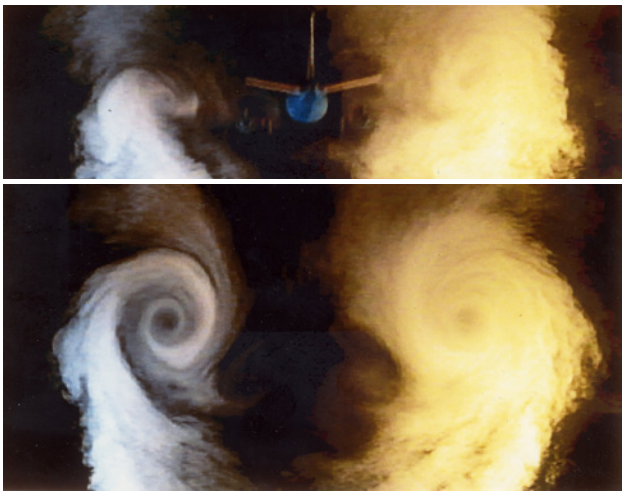
Tronçon 6 cadres d'Airbus A321 avant crash (DGA TA) et simulation numérique ONERA associée (avec conteneur à bagages).



Carte de vitesse obtenue par PIV à l'extrados d'une voilure.

De 1996 à 2001, l'Institut poursuit son intégration européenne notamment dans les domaines de la mécanique des structures et de l'aérodynamique. Ses équipes acquièrent une dimension internationale et une collaboration très étroite s'instaure avec Aérospatiale dans le domaine de la sécurité des cellules et du vol de l'avion. L'ouverture vers l'Europe s'accompagne de l'arrivée importante de fonds européens de développement régional (FEDER) qui, en s'appuyant sur les investissements de l'ONERA, permettent un développement accru des moyens d'essais et de calcul.

C'est au cours de cette période, en 1997 plus précisément, que l'ONERA, sous l'impulsion du Président Michel Scheller (depuis et jusqu'à très récemment encore, Président de 3AF), entreprend une profonde réorganisation dans laquelle un institut modernisé prend définitivement place, en échange de la perte de son autonomie de gestion, mais au profit d'une unification administrative et scientifique. L'Institut de mécanique des fluides de Lille s'efface pour devenir le centre de Lille de l'ONERA. Il est alors dirigé par Francis Dupriez. Quatre départements de l'ONERA, multisites, accueillent désormais les quatre unités de recherches lilloises, et c'est dans cette configuration nationale que les nouvelles installations entrent en activité, avec des essais en vol libre opérés dans un nouveau bâtiment d'une centaine de mètres de longueur sur vingt de large (B20), visant à étudier les phénomènes instationnaires liés entre autres aux écoulements décollés et aux mouvements amples et rapides de l'avion en vol). Le hall d'essais mécaniques et la « Tour de crash» entrent également en action : ils sont dédiés à l'étude de la réponse dynamique des matériaux et des structures aéronautiques, et visent à l'amélioration des générations futures d'aéronefs en termes de sécurité passive, à l'instar de ce qui se fait en parallèle en région dans les secteurs automobile et ferroviaire.



Visualisation du sillage tourbillonnaire en laboratoire de vol libre B20

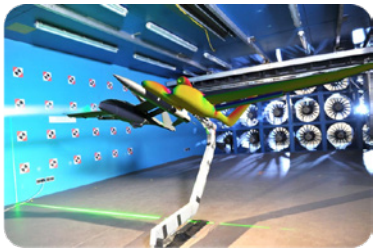
L'intégration dans le tissu scientifique universitaire régional se renforce et de véritables équipes mixtes sont mises en place sur des programmes communs notamment en mécanique des structures et en mécanique des fluides. La reconnaissance régionale de cette intégration conduit à une contractualisation de l'ONERA avec la Région Nord – Pas-de-Calais dans le cadre du contrat de plan 2001-2006. Ainsi des financements régionaux et européens sont mis en place tant pour conforter les programmes scientifiques présentés conjointement par l'ONERA Lille et les équipes universitaires que pour permettre l'extension de ses laboratoires et sa rénovation et ainsi conforter la place de la Région dans les recherches en mécanique.

De 2007 à 2017, les installations du Centre – aujourd'hui dirigé par Bénédict Cléry, qui a succédé à Pascal Geoffroy et, avant lui, Anne-Marie Mainguy - gagnent encore en notoriété, ses équipes en excellence. Elles se positionnent désormais – avec leurs partenaires régionaux - parmi les leaders nationaux et internationaux dans leurs domaines. La Région et l'Europe (via le Fonds FEDER) continuent d'accompagner le Centre ONERA dans cette nouvelle trajectoire, en lui permettant de se doter d'équipements technologiques de pointe, déterminants pour accompagner la transformation digitale du monde de la recherche en mécanique. Caméras numériques rapides et

ultra-rapides, dans les spectres infrarouges et visibles, calculateurs parallèles, outils d'exploitation des données qui augurent du Big Data à venir, et logiciels de simulation pour l'expérimentation virtuelle, précurseur du concept de jumeaux numériques. Et vingt ans après la précédente, dans un monde où tout s'accélère et se globalise, une nouvelle ré-organisation de l'ONERA devient nécessaire, des départements techniques de l'ONERA fusionnent, leur nombre passant de 18, à 7. La conséquence la plus notable pour le Centre ONERA de Lille concerne le regroupement des deux unités de Mécanique des Fluides et de Mécanique du Vol. De nouvelles thématiques émergent au niveau mondial, les installations du Centre s'adaptent, et s'engagent dans une nouvelle mutation pour y répondre.

La tour de Crash (15 m de haut, 200 kJ à l'impact), un investissement unique en europe, soutenu par l'ONERA, la Région Hauts-de-France et le FEDER (EU), au bénéfice du secteur aéronautique

Les Hauts-de-France font partie des 5 régions de France qui accueillent aujourd'hui l'ONERA sur leur territoire. Depuis sa création en 1930, les installations régionales ont constamment évolué en dimensions et en thèmes d'études, en réponse aux besoins des avionneurs industriels, et des scientifiques. La soufflerie horizontale originelle, associée à de nouvelles technologies de mesure, était en 2020 la plus utilisée des installations du Centre de Lille. La soufflerie verticale de 2 mètres de diamètre a été remplacée par une soufflerie verticale de 4 mètres de diamètre, toujours aussi unique : elle fait encore l'objet de beaucoup d'attention et de projets d'adaptation. La première station de catapultage (20 mètres de vol libre) a fait place à une installation également unique en son genre, intégrant des générateurs de rafales verticales et latérales, permettant d'atteindre 50 mètres de vol libre, et de s'intéresser à de nouvelles problématiques (drones). La Tour de Crash et une large panoplie de moyens d'essais dynamiques complémentaires, permettent dorénavant d'étudier à l'échelle 1 les problèmes de résistance structurale aux impacts et au crash. Le bureau maquettes est devenu une équipe leader mondiale dans la fabrication de maquettes aéronautiques et spatiales (très) complexes. Toutes ces installations matérielles sont associées à des moyens informatiques permettant de concevoir, préparer, comprendre, et optimiser le nombre d'essais qui continuent de jalonner le chemin critique de développement de tout aéronef futur : ils sont à ce titre, et resteront longtemps encore, incontournables. C'est dans ce cadre et avec ces objectifs que les liens avec l'écosystème universitaire régional ont été renforcés, avec en particulier l'UPHF/LAMIH (laboratoire commun en Dynamique Rapide, avec l'unité CRD), l'ULille/LMFL (laboratoire commun en Mécanique des Fluides avec l'unité ELV) et l'ULille/LaMcube (qui accueille depuis peu plusieurs chercheurs associés de l'unité CRD).



Maquette de drone pour lanceurs aéroportés (Eole) dans la soufflerie L2 (à gauche) – Essais de crash d'un fond de barque de fuselage composite (à droite)

La suite de cette belle histoire, vous sera probablement contée à l'occasion du Centenaire du Centre en 2030, dans un nouveau numéro spécial Hauts-de-France de la Lettre 4AF ? En attendant, soyez convaincus que l'ONERA et son Centre de Lille vous réservent encore bien des surprises.

■

HISTOIRE

LOUIS SUSANE, PIONNIER DE LA FUSÉE DU 19E SIÈCLE À METZ

par **Philippe Jung**

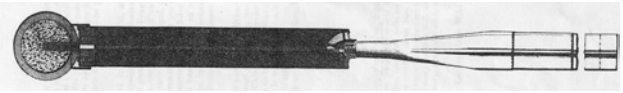
Suite de l'article paru dans la Lettre n°46

LA GUERRE DE CRIMÉE (1854-1856)

La guerre de Crimée pointant à l'horizon, Napoléon III demanda le 3 mai 1854 la livraison urgente de fusées de 5 km de portée. Le commandant Favé transmit cette requête à Susane le 15 mai, lequel en confirma rapidement la faisabilité. Il proposa les fusées de 9 alors en développement, avec un diamètre de 92 mm et une âme de longueur portée de 510 à 690 mm, de forme conique pour faciliter le retrait de l'outillage de fabrication.

La nouvelle fusée fut prête en deux mois, avec un cartouche de 900 mm de long et une âme de 80 mm de diamètre. Les essais mirent néanmoins en évidence des trajectoires irrégulières, dues à une déformation de la base du cartouche par suite de l'échauffement au niveau des évents et de l'épaisseur insuffisante du métal. Cette partie fut donc renforcée avec un anneau de 50 mm de hauteur, et le bouchon d'argile réintroduit. Une nouvelle fusée de 12 fut aussi développée au même moment, utilisant les mêmes technologies que celle de 9, mais avec une âme initialement limitée à 780 mm, en attendant les nouvelles presses de 250 t. Les longueurs du cartouche et de la baguette étaient de 900 mm et 1,5 m respectivement. Le succès fut au rendez-vous en 10 semaines:

- les fusées de 9, avec un obus de 15 cm pesant 7,5 kg, atteignaient 7 km (alors que le canon de 24 n'atteignait que 2,3 km avec le même obus),
- les fusées de 12 court, avec un obus de 16 cm pesant 10,5 kg, atteignaient 6,5 km contre 2,8 km pour le canon équivalent de 6 pouces,
- d'énormes obus de 50 et 75 kg furent même lancés avec des fusées de 9 et 12 respectivement, les portées correspondantes étant de 2,3 et 1,6 km!



Fusée de 12 court de 1854 (Pralon - Revue d'artillerie 1882)

Ces résultats impressionnants aboutirent à la promotion de Susane au rang de lieutenant-colonel.

Entretemps, la demi-batterie, avec Norès et Harel, 81 soldats, 10 chevaux et 45 mules, quitta Alger pour embarquer le 16 juin 1854 à Galipoli, où 15 soldats et 15 mules furent ajoutés. Elle mit le cap sur la Crimée, avec 300 "vieilles" fusées de 5 de 1849, 6 trépieds de type Rougé et un affût léger de 1 m de long. Elle débarqua le 9 juillet à Varna, au nord d'Ienikeny, s'installant au Camp de la Lunette. L'occasion d'utiliser les fusées ne se présenta pas durant la bataille de la Dobroudcha en août, mais la Batterie fut dramatiquement frappée par le choléra, cause de la mort de plusieurs soldats, dont Norès. Ce dernier fut remplacé par Harel, cependant que Mauger succédait au commandant, Gerbaut. Le 14 septembre, lors de l'attaque du Vieux Fort, les fusées ne furent à nouveau pas nécessaires, puisqu'uniquement employées en guise de couverture. Plus tard le même jour, elles manquèrent la Bataille de l'Alma cinq ligues plus loin, par suite de manque de moyens de transport. Les troupes n'avaient pourtant pas hésité à marcher toute la journée avec leur matériel, afin de pouvoir prouver la valeur de leur arme.

Metz travaillait cependant d'arrache-pied pour assurer la livraison des nouvelles fusées. Des documents de l'époque donnent une intéressante perspective du danger causé par l'amélioration des performances: une fusée à bombe tomba sur le toit d'une maison de Chieulles à 4,5 km de distance, une autre à obus s'écrasa sur les marches du Château De Belchamps à Charly (soit 6 km). Même Antilly à 8 km fut considérée comme menacée par les fusées légères! La livraison des nouvelles presses permit le début de fabrication des fusées de 12 long: la densité de poudre atteignait 1,75 et la longueur du cartouche 1 m. Une bombe de 27 était utilisée.

Le 18 septembre, une violente explosion secoua l'atelier de Metz. Une clé était tombée sur l'embase d'une presse, créant une étincelle. L'explosion était due à la présence de poudre pulvérulente flottant dans l'air. Une nouvelle composition de poudre de mine ronde fut en conséquence utilisée, avec des proportions inversées de soufre et de charbon de bois.

L'emploi de la fusée en Crimée débuta enfin le 20 octobre avec la bataille de Sébastopol, lorsque Harel lança des fusées de 5 depuis le flanc droit de la première ligne d'attaque contre le Bastion du Mal, à seulement 1 km de là. Il poursuivit ensuite son action depuis la seconde

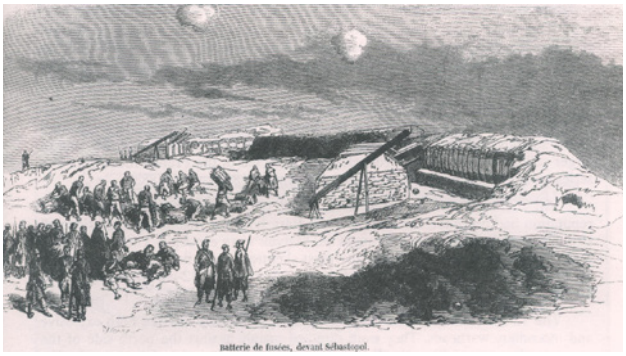
ligne. Les tirs continuèrent pendant le siège, à partir de nombreuses positions entre les n° 32 et 47: à la fin de 1854, il ne restait plus que 58 fusées sur les 300 d'origine. Mais les nouvelles fusées de 9 de 1854 commencèrent à arriver, deux d'entre elles, de type incendiaire, étant lancées dans la baie le 21 novembre. Les résultats ne purent être estimés, car l'impact à de telles distances ne pouvait être observé.

UN ÉNORME CONTRAT (1855)

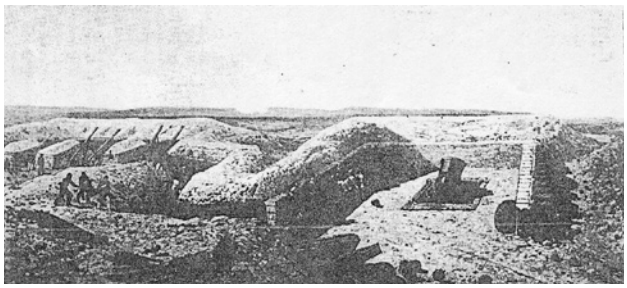
Un intéressant système de signaux fut organisé en Crimée avec la nouvelle année, le 21 janvier 1855. En cas d'attaque à droite, des fusées explosant en étoile étaient prévues. Pour une attaque au milieu, des fusées à marrons avec de la poudre cylindrique granuleuse devaient être tirées en altitude, et pour des attaques à gauche des petites fusées "serpenteaux" (elles serpentaient avant explosion). Ces lancements étaient prévus à partir des batteries n° 3, 20 et 25.

Fin janvier 1855, Harel installa des trépieds pour fusées de 9 dans le Port de la Quarantaine dans la Baie de Streletzka, en prélude à une intense activité:

- le 26 janvier, 4 fusées furent lancées, l'une pénétrant dans la salle de réunion des officiers, en tuant plusieurs et en blessant trois autres,
- le 28 janvier, 6 fusées furent lancées, puis 10 le 22 février, 5 le 23 février, 50 le 26 février et 35 le 27 février, répandant une telle panique que la population civile déserta complètement la garnison d'Oucht-Kouerkou pour le nord de la baie. Une des fusées du 27, lancée du Bastion Korniloff, bien que n'ayant pas explosé, brisa le pont supérieur du navire Le Grand Duc Constantin. Une fonderie fut aussi incendiée, détruisant l'atelier des modèles. Une autre creusa un trou de 5 pieds de profondeur et 4 pieds de diamètre. Les fusées atteignaient désormais la Place St Nicolas et l'Amirauté.



Batterie de fusées devant Sébastopol
(L'Illustration 19 mai 1855)



Batteries de fusées en Baie de Streletzka
(Arago - Les fuséens)

Fin 1854, les essais des nouvelles fusées avaient montré des portées de 8 et 6 km pour des obus de 9,5 et 12 kg respectivement. Satisfaite, et en dépit d'un assez grand nombre d'éclatements sur trajectoire des fusées de 9, l'Armée d'Orient décida en mars 1855 de commander non moins de 24.000 fusées (16.000 à longue portée, moitié incendiaires et moitié explosives, et 4.000 explosives à courte portée). De nouveaux bâtiments durent être construits à Metz, et 22 presses installées, afin de produire 50 fusées par jour, soit 20.000 par an!

Les tirs continuèrent sans répit en Crimée:

- le 3 mars, 30 fusées,
- le 7 mars, 22 fusées de 9, moitié incendiaires, moitié explosives, entraînèrent le déplacement en catastrophe de rien moins que 2.000 véhicules garés à 6 km de distance sur le bord de la baie, toutes les fusées ayant atteint leur cible,
- le 11 mars, 40 fusées allumèrent plusieurs incendies,
- le 22 mars, 90 fusées allumèrent de grands incendies dans le district de l'Artillerie: une seule dans un grand entrepôt de bois, une autre dans la maison du commandant de la place, le général et comte Osten-Sacken, 50 en pleine nuit dans une redoute en bois.

Avril vit le début des fusées de 12 à grande portée, avec 36 lancées le 3.

Le bombardement de Streletzka resta intense: 10 fusées le 4 avril, 112 autres le 10 avril et 15 le 2 mai.

Le 19 avril, Harel mit en déroute quelques 1.500 cavaliers avec seulement 50 fusées de 5, lors d'une reconnaissance réalisée par Omer Pacha sur la rive droite de la rivière Tchernaia (la Marine participa aussi, avec des fusées à longue portée).

Avec 400 fusées de 5 et 200 autres de 9, moitié incendiaires, moitié explosives, Harel partit pour Kertch le 21 juin, afin de participer à l'expédition de la mer

d'Azov. Débarquant le 24 juin à Kamich-Bouroun, il n'eut pas l'occasion d'employer son arme, et revint donc à Sébastopol le 15 juin.

Cependant, plus au nord en Europe, l'amiral Napier, très intéressé par les fusées françaises, avait décidé en mai 1854 de commander 150 modèles à longue portée pour emploi à Cronstadt, la flotte ne pouvant s'en approcher à moins de 5 km. Mais une École de Pyrotechnie surchargée ne pouvant garantir la livraison avant octobre, trop tard pour les conditions en mer Baltique, les premiers modèles avaient été envoyés à Sébastopol. L'expédition fut donc retardée à l'été 1855. La corvette La Saône quitta Le Havre le 2 août, suivie de la corvette La Marne le 18, avec un total de 4.816 fusées de 12 long (la moitié avec têtes incendiaires à 2,5 kg de poudre, le reste avec 3 à 9 kg de poudre ou des obus de 16 cm) et 25 affûts. Le capitaine Maucourant, responsable de la fabrication à Metz, était accompagné du capitaine Martin comme second, du lieutenant Lalire, et de 100 fuséens. L'objectif était de lancer toutes les fusées en une longue salve de 4 heures, sur une distance de 5,5 km. Dès son arrivée le 22 à Cronstadt, Martin fit des tirs d'essai devant les autorités françaises, en pleine vue de la flotte anglaise. Maucourant arriva le 29 à Margen, et lança 4 nouvelles fusées depuis La Marne. Cependant les Russes, inquiets, lancèrent de grosses fusées de 8 les 28 et 30 août, afin de faire croire aux Alliés qu'ils étaient eux aussi équipés de l'arme, mais il apparut plus tard qu'ils n'en avaient qu'une douzaine! Puis, après de nombreuses navettes entre les Alliés, la flotte française leva soudainement l'ancre le 12 septembre, sans aucune explication, probablement pour quelque obscure raison politique.

Un déluge de fusées continuait cependant de tomber sur Sébastopol assiégée:

- dans la nuit du 5 au 6 juin, 150 fusées de 9 et 12 incendiaires, explosives et à obus démarrèrent plusieurs incendies à Malakoff, lors de la préparation de l'attaque des Ouvrages Blancs et du Mamelon Vert,
- le 16 juin, 40 fusées entraînèrent l'évacuation d'un camp au Fort du Nord,
- dans la nuit du 17 au 18 juin, des fusées tuèrent de nombreux soldats dans la rue où un régiment d'infanterie d'Odessa avait établi un bivouac,
- les 18 et 19 juin, de nombreuses fusées de gros calibre furent lancées de Streletzka, du Fort Victoria et de l'observatoire français, afin de préparer l'attaque sur Malakoff. Lorsqu'une offensive commença à flancher, une seule fusée suffit à causer l'explosion d'un magasin contenant des milliers de bombes et grenades, entraînant la destruction d'un autre entrepôt avec du matériel d'artillerie, et la mort de nombreuses personnes.

Harel termina le 27 juillet l'établissement d'une nouvelle position à l'église St Wladimir (batterie n° 57), afin d'avoir une meilleure visibilité sur la ville et l'extrémité de la baie, à 7 km de distance, de manière à pouvoir utiliser plus efficacement les fusées à longue portée. Une nouvelle position fut créée fin juillet à Saponne-Gora, à l'endroit de l'ancienne batterie n° 21.

A partir du 6 août, les fusées eurent un nouvel emploi, avec des lancements contre un pont en construction dans la baie, entre le Fort Nicolas et le Fort Michel. Plusieurs impacts directs ne furent néanmoins pas en mesure d'empêcher sa finalisation en deux semaines - un problème qui devait perturber pour très longtemps les armées... Afin de protéger le Camp de Tratkir, en prélude à une attaque imminente, trois affûts pour fusées de gros calibre furent installés au Fort de Canrobert le 13 août. Trois jours plus tard, dès que la brume se fut dissipée, les fusées semèrent la terreur au milieu des chevaux et de l'artillerie.

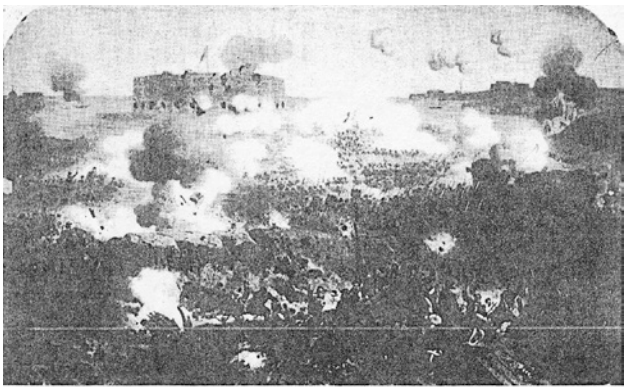
Ce n'est pas avant la nuit du 5 au 6 septembre que les troupes françaises eurent à subir leur première attaque de fusées russes, 20 exemplaires de petit calibre en tout et pour tout. De tout le conflit, ce fut en fait le seul emploi de l'arme par les Russes, en dépit de la présence à leurs côtés du grand pionnier Konstantinoff. La même nuit, la Batterie put se positionner à seulement 80 m du Bastion du Mal, et lança des fusées explosives de 7.

Plusieurs résultats spectaculaires continuèrent d'être enregistrés:

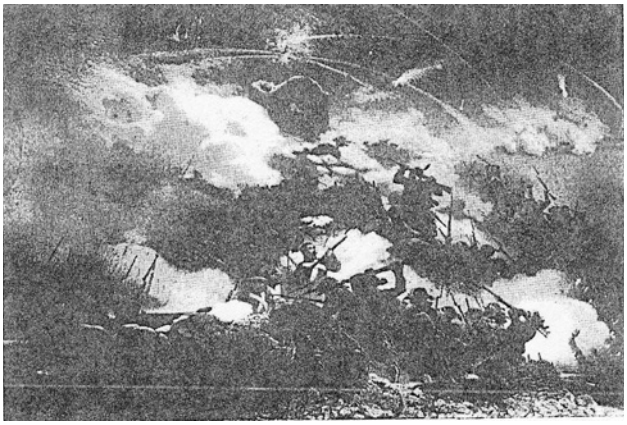
- les 7 et 8 septembre, les batteries n° 26 et 57 lancèrent quelques 1.000 fusées pour préparer l'assaut final contre Malakoff. Les fusées tombèrent sur le quai Grosskoi près du Bastion du Mal, juste au moment où des canons et 2,88 t de poudre étaient déchargés, provoquant une énorme explosion, tuant de nombreuses personnes, dont le capitaine et prince Kekuatov. Le même jour, une seule fusée ricocha contre un fort, causant un début d'incendie très difficilement maîtrisé dans l'entrée du plus grand entrepôt de poudre du Fort Nicolas, contenant 32 t de munitions. Suite à la chute de Malakoff, les affûts purent être positionnés au Fort Nicolas et ailleurs dans la baie,
- le 8 septembre, le navire La Grèce fut incendié.

LOUIS SUSANE, PIONNIER DE LA FUSÉE DU 19ÈME SIÈCLE À METZ

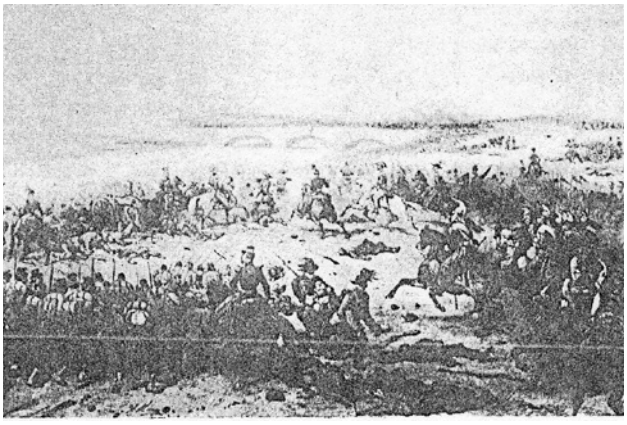
Du 12 septembre au 26 octobre, 400 fusées de 7 furent lancées vers le nord de la baie, blessant notamment le 19 septembre le lieutenant Kargaloff, commandant de la Tour Volchff. Le même jour, des fusées tirées de Karabelnaia pertubèrent avec succès les travaux en cours sur des batteries russes au nord de la baie. Deux entrepôts de farine furent incendiés le 24 septembre à la batterie Michel. Mais ces fusées de siège et de campagne de 7, d'un nouveau modèle 1850 (diamètre 70 mm au lieu de 66 mm), exhibèrent un nombre inhabituel d'éclatements.



Capture de la Tour Malakoff (Arago – Les fuséens)



Capture de la Tour Malakoff (Arago – Les fuséens)



Bataille de Tratkir (Arago – Les fuséens)

Les derrnières fusées furent utilisées le 26 octobre, alors que déjà les premières analyses étaient en cours. L'emploi de la fusée avait été un succès retentissant, comme démontré par la longue liste de ses exploits durant la bataille. Les éclatements de la fusée de 7, de même que le vol irrégulier de certains lots de fusées, avaient surpris à l'École de Pyrotechnie, puisque les essais à Metz n'avaient rien montré de tel. Les variations de trajectoire furent attribuées à des problèmes de fabrication. Concernant les éclatements, les chocs lors du transport ne furent pas considérés comme pouvant tout expliquer. Ce n'était pas plus l'humidité, puisque des essais à l'eau pendant 6 mois ne montrèrent aucune déterioration significative de la poudre. La qualité de la tôle, de même que des défauts de fabrication du cartouche, furent dès lors suspectés. Lorsqu'il fut constaté que la majorité des cartouches pour la Crimée avait été fabriquée par l'industrie privée, la décison fut prise de rapatrier cette activité sur Metz.

Au total, de nombreux modèles de fusées furent utilisés en Crimée:

- fusées de 5 de 1849, mais légèrement raccourcies, avec le boulet creux ou la tête incendiaire de la fusée de 7; elles étaient précises et régulières, mais pas assez puissantes,
- fusées de 7,
- fusées de 9 (92 mm),
- fusées de 12 court et long.

L'École de Pyrotechnie développa aussi un nouvel affût de campagne et de montagne, avec un auget en bronze de 35 cm de long, de forme semi-cylindrique, avec un trépied en bois. Pour la mise à feu, la procédure consistant à utiliser une lance à feu avec une mèche de canon étant complexe, les fuséens avaient pris l'habitude de tirer au mousqueton sur les évents! Une platine percutante fut donc mise au point, allumée par une amorce fulminante. Ce système, n'ayant toutefois pas bien fonctionné en Crimée, fut abandonné.

L'École de Pyrotechnie ne cessait pas d'expérimenter, continuant notamment à s'intéresser à plusieurs types de fusées spinnées, suite au rejet des propositions de Goupil:

- évents inclinés à la base du cartouche, un échec complet,
- évents au niveau du centre de gravité, avec de maigres résultats,
- puis évents à la partie supérieure de la fusée, avec de bons résultats.

Il y eut même des études d'énormes fusées de 170 mm

de diamètre, avec bombe de 32, d'une portée de plus de 4 km. Mais elles restèrent au stade de la planche à dessin, à cause de leur masse impressionnante de 175 kg, sans compter les difficultés potentielles de fabrication.

À la suite de l'armistice du 29 février 1856, un défilé de la victoire fut organisé le 17 avril, auquel la 4è Batterie participa, avec ses 4 officiers, 154 fuséens, 34 chevaux et 72 mules. Le général Auger, chef de l'artillerie de l'armée d'Orient, écrivit dans un monumental ouvrage de 1.400 pages, "Le siège de Sébastopol", qu'en dépit des nombreuses maisons de pierre, la fusée avait été utile, montrant le chemin parcouru depuis la campagne d'Algérie de 1836. Il regretta même qu'il n'y ait pas eu plus de fusées disponibles. Les rares critiques concernèrent la fusée de 7, dont le chapiteau transporté séparément provoquait trop de retard de mise en oeuvre dans le feu de l'action. Il y eut bien sûr un feu d'artifice à Metz pour célébrer la prise de Sébastopol. Le vaincu, Todleben, fut impressionné lorsqu'il visita en 1857 la cité lorraine qui avait tant contribué à sa défaite, non seulement pour ses activités fusées, mais aussi pour tous ses développements en matière d'artillerie.

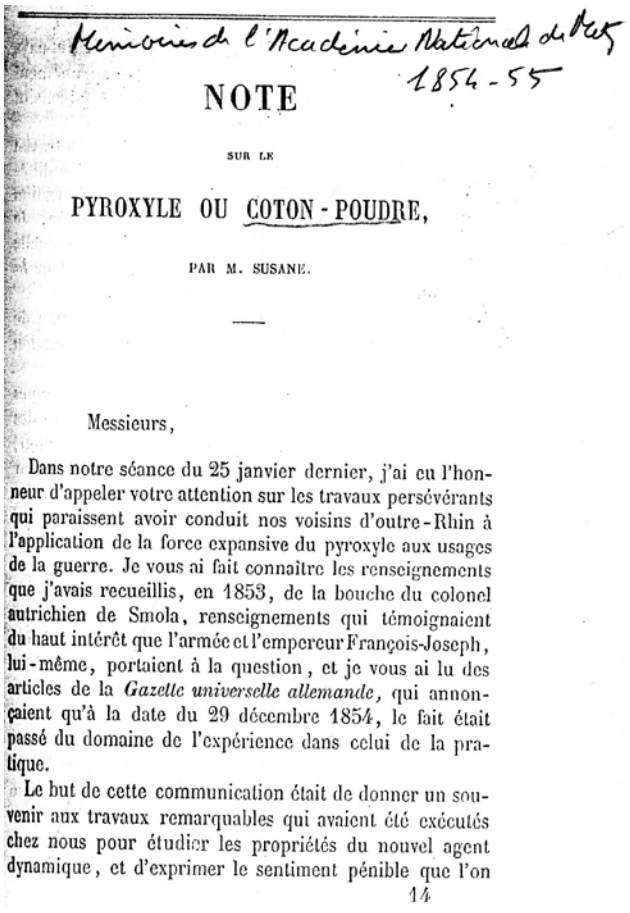
Au total, non moins de 4.000 fusées de Metz furent tirées durant le conflit, avec un taux d'éclatements plutôt faible de 4,37%, sans compter 1.300 fusées de Toulon lancées par la Marine:

Calibre	5	7	9 & 12
Livrées			10.116*
Lancées	300-400	400	3.500

* Dont 6.600 livrées trop tard, et renvoyées (un bilan du 15 novembre 1855 montra 13.000 fusées encore en stock dans l'artillerie)

Encore plus remarquable, pas un seul homme ne fut tué par suite de problèmes liés aux fusées.

C'est en pleine guerre de Crimée que Susane présenta sa première note en 1855 à l'Académie de Metz, sur le coton-poudre, un intéressant bilan de la véritable histoire sur le sujet en France.



Mémoires de l'Académie Nationale de Metz 1854-55

NOTE

SUR LE

PYROXYLE OU COTON-POUDRE,

PAR M. SUSANE.

Messieurs,

Dans notre séance du 25 janvier dernier, j'ai eu l'honneur d'appeler votre attention sur les travaux persévérants qui paraissent avoir conduit nos voisins d'outre-Rhin à l'application de la force expansive du pyroxyle aux usages de la guerre. Je vous ai fait connaître les renseignements que j'avais recueillis, en 1853, de la bouche du colonel autrichien de Smola, renseignements qui témoignaient du haut intérêt que l'armée et l'empereur François-Joseph, lui-même, portaient à la question, et je vous ai lu des articles de la *Gazette universelle allemande*, qui annonçaient qu'à la date du 29 décembre 1854, le fait était passé du domaine de l'expérience dans celui de la pratique.

Le but de cette communication était de donner un souvenir aux travaux remarquables qui avaient été exécutés chez nous pour étudier les propriétés du nouvel agent dynamique, et d'exprimer le sentiment pénible que l'on

14

Note de Susane sur le coton-poudre

LE SYSTÈME DE FUSÉES DE 1856

Le programme lancé par Susane en 1853, prenant en compte l'expérience criméenne, se conclut lorsque l'École de Pyrotechnie introduisit de nouvelles fusées de campagne et de montagne de 5, de campagne et de siège de 7, de siège de 9 et de siège de 12 long. Ce ne fut pas toujours facile, avec son contingent de problèmes: cinq explosions furent enregistrées en 1855/56 lors du chargement de fusées de 12. La vanne de sécurité de la presse n'avait en effet pu empêcher le pression d'augmenter soudainement, ce qui motiva l'emploi - réussi - de dynamomètres pour vérifier en continu ladite pression.

Des essais réalisés en 1856 à Suippes (le Polygone était en effet trop petit) inclurent des fusées rapatriées de Crimée, de la Baltique et d'autres endroits, nul doute afin de vérifier leur tenue au vieillissement, et d'effectuer des comparaisons. Quelques-unes eurent des départs lents, d'autres des trajectoires irrégulières, cependant que des éclatements furent provoqués par le transport et la mauvaise qualité de la tôle des cartouches. Il fut finalement décidé de retenir la poudre grenée en rond,

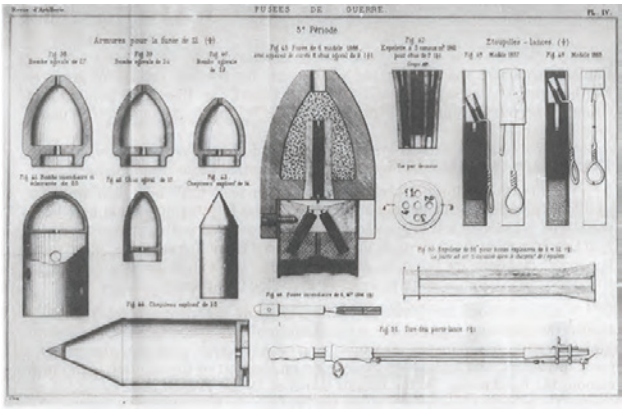
un intermédiaire entre la poudre à canon et la poudre de mine. Le Comité put ainsi décider la création d'un système complet de fusées, pour usage courant par l'Armée, et constitué de:

- fusée de campagne et de montagne de 6 (pesant 7 kg dont 3 kg pour la tête, de 1,7 m de long; la poussée était de 200 kg),
- fusée de siège de 9 (820 mm de long, portée limitée à 4,5 km car suffisante, poussée de 600 kg); une version avec chapeau éclairant fut étudiée,
- fusée de siège de 12 (portée de 6,5 km considérée comme suffisante, poussée de 1.300 kg),
- affût de 16 kg, avec auget en forme de V (pointage en élévation par crémaillère, et en azimut par pivot).

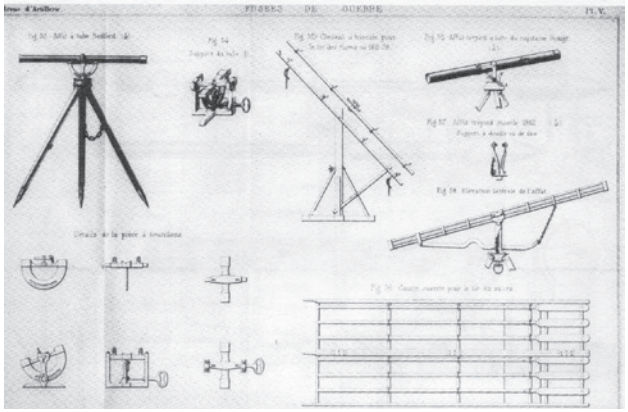
La fusée de 7 ne fut pas poursuivie, car sa longueur fut considérée comme excessive pour le transport en campagne.

La composition de la poudre était de 62% de salpêtre, 20% de soufre et 18% de charbon de bois, la pression de combustion atteignant 30 atmosphères. Le cartouche était soudé. La baguette en bois, incorporant cinq rainures, était protégée par une feuille métallique.

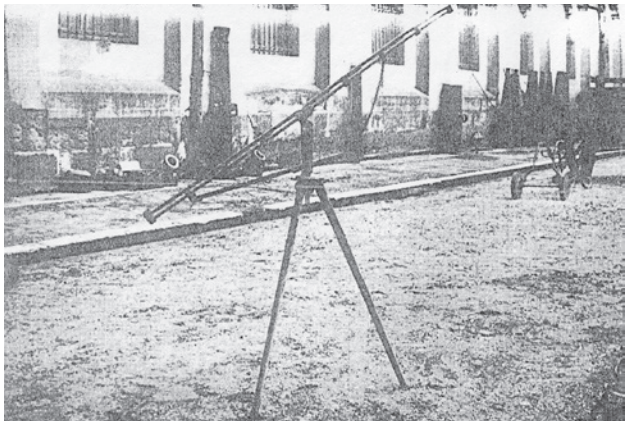
La fusée avait désormais atteint son apogée en France. Caché derrière ces chiffres bruts se trouve le progrès technologique obtenu, notamment grâce à l'emploi des nouvelles tôles laminées de l'industrie lorraine, laquelle fut si importante pendant plus d'un siècle.



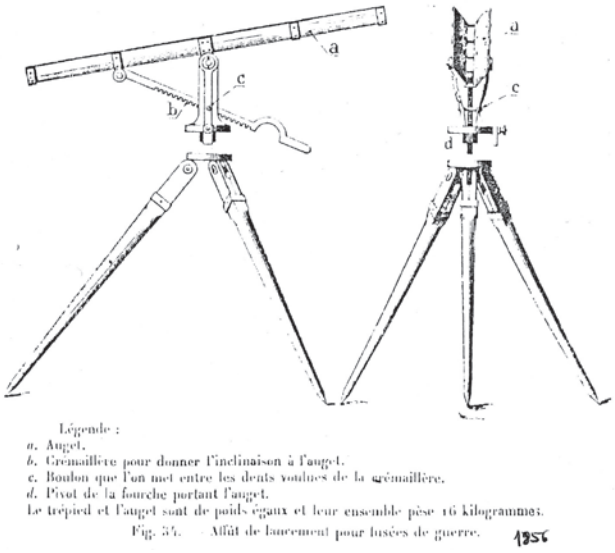
Fusées françaises de la période 1856-72 (Pralon)



Affûts (Pralon - Fusées de guerre (1883))



Affût (Arago - Les fuséens)



Affût de 1856 (Favé - Etude sur le passé & l'avenir de l'artillerie (1868))

LE CONFLIT KABYLE (1857-1860)

Le sempiternel conflit algérien, qui avait vu les ports pacifiés entre 1830 et 1835, puis un progrès appréciable réalisé plus à l'intérieur en 1840, s'enlisait néanmoins en Kabylie depuis 1847. C'est pourquoi, la guerre de Crimée à peine finie, la Batterie fut envoyée à Alger le 24 juin 1856, le capitaine Jacquot ayant remplacé Mauger. Le système Susane allait pouvoir être utilisé opérationnellement. Probablement en guise de préparation, le Comité demanda le 13 mars 1857 l'étude de fusées plus courtes, pour pouvoir rentrer dans les caisses de transport de montagne de 838 mm de long, mais 1 m seulement put être proposé. Il fallut donc construire des conteneurs spéciaux. Un système d'allumage plus pratique fut aussi adopté, employant une étoupille-lance mécanique.

La campagne de Grande Kabylie commença en mai 1857, avec Harel en charge d'une batterie équipée des nouvelles fusées de 6 et d'affûts de 1847. Elle fut divisée en trois sections, une pour chaque division, du général Renault (avec Jacquot), du général Yusuf et du général Mac Mahon. Cette dernière avait 2 officiers, 50 fuséens, 10 chevaux et 23 mules (plus tard 25). Elle disposait de 148 fusées (92 à obus, 24 à balles et 12 incendiaires) et de 4 affûts. Elle montra vite ses qualités, comme mis en évidence par les détails disponibles sur la Division Mac Mahon.

Le 24 mai, les fuséens furent ainsi initialement disposés au centre de l'aile gauche de la colonne, glissant plus tard derrière pour protéger l'arrière-garde attaquée, entre Afensou et Bollias. Lors d'assaults éclairs successifs, le même jour, sur Tacheraich, Bollias, Afensou et Imaiseren, la redition de la tribu des Beni Raten fut obtenue grâce à 121 fusées (85 à obus, 24 à balles et 12 incendiaires). Le 24 juin, après un mouvement de débordement sur la gauche, les fuséens transportant eux-mêmes leur équipement, 96 fusées suffirent à prendre Icheriden. Ce village, situé sur les hauteurs, n'aurait pas pu être atteint par l'artillerie classique. Trois hommes furent cependant mis hors d'action. Le lendemain, environ 60 fusées impressionnèrent les Beni Yenni, aidant Renault et Yusuf sur l'autre flanc. Le 28 juin, Taourirt El Hedjadi fut prise avec 25 fusées, au prix de pertes réduites. Deux jours plus tard, ce fut le tour d'Aguemoun-Isen, encore en hauteur, grâce à la mobilité des fuséens. Finalement, la fusée fut décisive le 11 juillet dans la capture de M'Zien, dans des montagnes escarpées. Jacquot fut décoré, deux fuséens reçurent la Médaille militaire, et deux autres furent cités à l'ordre de l'Armée. Les rapports sur l'usage de la fusée en Kabylie furent dityrambiques. Le seul point négatif concernait le besoin de caisses de transport spéciales, vu l'importante longueur de 1,7 m des fusées. Renault écrivit à Susane que les 540 fusées tirées, sans le moindre accident, constituaient un grand succès, qu'elles pouvaient aller là même où l'artillerie de montagne ne pouvait pas, que l'expérience était concluante, et que la fusée avait sa place aux côtés de l'artillerie légère avec le canon rayé. Cette dernière innovation, d'origine française, allait pourtant avoir de redoutables conséquences pour la fusée…

Ce fut l'occasion pour introduire en 1857 un nouvel affût avec crémaillère. L'auget, en forme de gouttière (faite de deux plaques épaisses en acier de 1 m de long assemblées par des brides), était articulé sur un trépied.

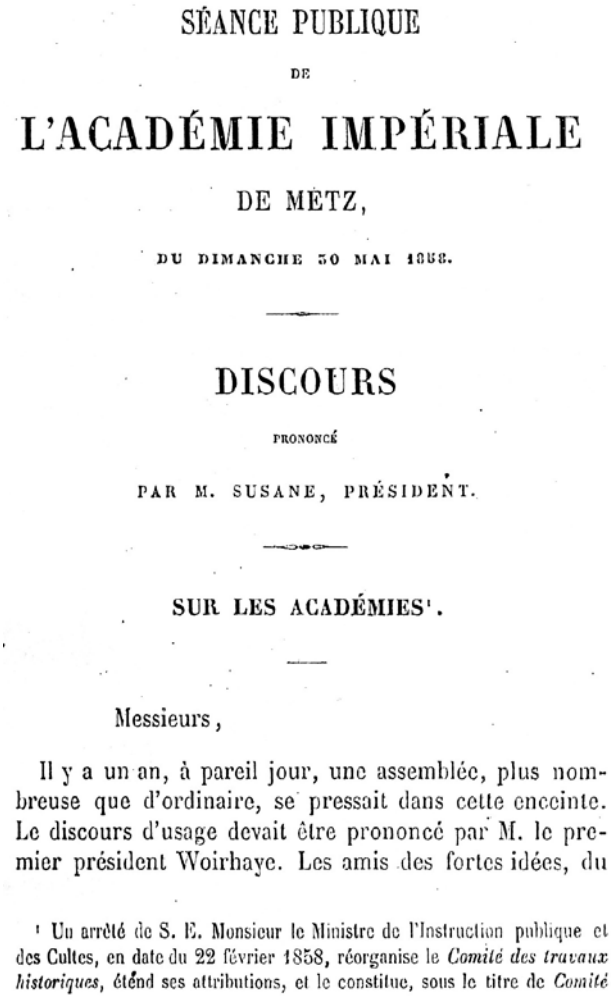
Avec de tels résultats, Susane devint colonel en 1857, trois ans à peine après sa précédente promotion.

SUSANE ÉLU PRESIDENT DE L'ACADÉMIE DE METZ (1857)

Accumulant les honneurs, Susane fut élu président de l'Académie de Metz en 1857. Il y donna un intéressant discours sur les Académies le 30 mai [1]. Il rappela que Colbert avait créé l'Académie des sciences sous Louis XIV, dans une France alors pas très favorable à la science, avec des noms aussi prestigieux que Cassini et Huygens - qui a dit que l'Europe était un concept récent? Il insista ensuite sur l'importance des activités en province, l'Académie de Nancy ayant été à l'origine des bateaux à vapeur en 1755 (avec réalisation en 1776), et l'Académie de Lyon ayant dirigé le premier vol de l'histoire avec l'ascension de Pilâtre de Rozier (né à Metz) dans le ballon des frères Montgolfier en 1783. Puis il s'attarda sur Metz, qu'il qualifia d'érudite, car en pointe en géologie, mécanique et métallurgie, sans oublier les cours industriels. Concluant sur le futur, il proposa d'établir des contacts avec l'Académie à Paris.

1. Séance publique de l'Académie Impériale de Metz du dimanche 30 mai 1858. Discours prononcé par M. Susane, Président, sur les Académies

LOUIS SUSANE, PIONNIER DE LA FUSÉE DU 19ÈME SIÈCLE À METZ



SÉANCE PUBLIQUE

DE

L'ACADÉMIE IMPÉRIALE

DE METZ,

DU DIMANCHE 30 MAI 1858.

DISCOURS

PRONONCÉ

PAR M. SUSANE, PRÉSIDENT.

SUR LES ACADÉMIES[1].

Messieurs,

Il y a un an, à pareil jour, une assemblée, plus nombreuse que d'ordinaire, se pressait dans cette enceinte. Le discours d'usage devait être prononcé par M. le premier président Woirhaye. Les amis des fortes idées, du

[1] Un arrêté de S. E. Monsieur le Ministre de l'Instruction publique et des Cultes, en date du 22 février 1858, réorganise le *Comité des travaux historiques*, étend ses attributions, et le constitue, sous le titre de *Comité*

Discours de Susane sur les Académies le 30 mai 1858 (Académie Impériale de Metz (1857-1858))

L'École de Pyrotechnie avait entretemps commencé en 1858 le développement d'une fusée expérimentale de 6 de 1 m de longueur.

LA BATTERIE PARTOUT (1859-1860)

En prélude à la campagne d'Italie, la Batterie quitta Alger le 19 mai 1859, arrivant à Toulon pour y récupérer 2.000 fusées de campagne. Au grand complet avec ses 4 sections, elle embarqua le 14 juin pour Gênes, avec 4 officiers, 220 hommes, 152 chevaux et mules. Mais elle arriva trop tard, le lendemain de la rapide victoire de Solferino du 24 juin. Il y eut pendant longtemps une controverse sur l'origine du décès d'Auger durant cette bataille, sur un fond de tentatives pour minimiser l'impact de la fusée. Le système autrichien employant des chapiteaux non attachés au cartouche, ceux-ci se séparaient tôt dans le vol, ce qui les rendait difficiles à différencier des obus des canons. Or Susane nota qu'Auger avait été tué par un obus plus petit que d'habitude, et donc probablement par une fusée. il souligna également que l'Autriche avait une forte proportion de batteries de fusées, 20 pour 168 batteries de canons.

La Batterie fut de retour à Alger le 15 août, mais dès le 4 octobre elle était à nouveau en route, cette fois pour le Maroc, avec Jacquot et le lieutenant Dulon, 94 fuséens et 60 chevaux et mules. Au service de la 1ère Division d'Artillerie, elle lança quelques fusées à obus de 6 le 27 octobre. Le lendemain, après avoir repoussé une attaque sur le flanc, 4 fusées à balles et 10 à obus, tirées verticalement 250 m plus haut, réussirent à déloger les Beni Snassen du Col d'Ain Tafouralt. Dulon, le sergent Corbeil et le brigadier Halter furent cités à l'ordre de l'Armée.

À peine la 3ème Section était-elle de retour à Alger le 27 novembre, que la 1ère Section partit pour la Chine le 1er décembre, avec le commandant en second de la Batterie, le capitaine Delaroze. Napoléon III avait à l'époque de grands desseins pour la Chine et l'Indochine. La Batterie embarqua donc le 28 décembre à Toulon sur la Reine des Clippers, avec le lieutenant Donop et 48 fuséens. Un autre bateau transportait 1.000 fusées de 6, 800 de 7, 144 de 9 et 54 de 12. Mais la Reine des Clippers prit feu le 3 juin 1860 au large de Macau. Le personnel fut sauvé de justesse, mais toute la cargaison fut perdue, et dut être remplacée. Tout le monde quitta ensuite Macau sur La Durance et Le Déroulède. Après être arrivés à Tché Fou, ce fut l'embarquement sur La Nive le 26 juillet.

Pendant ce long périple, l'École de Pyrotechnie était toujours aussi active, essayant en 1859 des fusées russes de 2 pouces: elles se révélèrent bonnes, avec des déviations acceptables, et sans éclatements. Susane essaya aussi des fusées autrichiennes, nul doute pour tenter de comprendre la mort de son ami Auger: équipées d'obus de 2 à 3 kg, ou 28 balles de plomb de 55 g, elles avaient une portée ridicule de 600 m sous un angle de tir de 30°. Les fusées françaises de 6 étaient donc très supérieures.

LA BATTERIE DISPARAÎT (1860)

Alors même qu'elle atteignait son apogée, la fusée militaire française commença à tomber en disgrâce, une lente chute qui devait s'étaler sur une décennie, un abandon qui avait en fait commencé bien avant dans le reste du monde - soulignant indirectement l'importance de Susane. Dans le cadre de la réorganisation de l'Artillerie, la Batterie de l'École de Pyrotechnie perdit le 1er avril 1860 tous ses attributs spécifiques de recherche

et de formation, devenant un simple détachement de la 4ème Batterie du 12ème Régiment, avec le lieutenant Boissenot. En cas de besoin, des détachements de fuséens devaient été créés à partir des rangs de l'artillerie. L'on sait maintenant que la principale cause de cette perte de faveur fut le canon, avec cette fois l'apparition de la rayure (inventée en France, vers 1858) et du chargement par la culasse.

Néanmoins, la 3ème Section fut de retour en Grande Kabylie le 2 mai avec Dulon, sous les ordres du général Desveaux. Le lancement le 14 juin de fusées à obus permit le passage du Col Fedj Ménazel, des fusées à balles étant ensuite utilisées pour pousuivre les Kabyles. Quelques fusées supplémentaires réussirent à disperser l'ennemi, qui s'était approché à 2.000 m du bivouac français d'El Arouse. Le lendemain, les Kabyles furent délogés des montagnes Beni Khettod grâce à l'emploi rapide de fusées à obus. Toujours à l'avant, la Section participa à toutes les reconnaissances contre les Oulet-Amar (20 et 25 juin) et les Beni-Mimoun (23, 24 et 28 juin). Après avoir été attachée à la colonne contre les Beni Ita, elle fut de retour Alger le 24 août.

La 1ère Section avait entretemps terminé son long périple, arrivant à l'embouchure de la rivière Peh Tang Ho. Elle contribua à la prise des fortifications en face de Sin Ko le 12 août. Deux jours plus tard, la précision des fusées fut décisive dans la capture du camp de Tang Ho, les tirs ayant débuté à 1.400 m des troupes tartares, pour se terminer à 400 m. Le 18 août, un détachement couvrit la construction d'un pont à Sia O Lentz. Des tirs de fusées depuis la rive droite de la rivière Pei Ho le 21 août démoralisèrent tellement les chinois qu'ils quittèrent Ta Kou, Sin Ko et les forts de Pei Ho. Exactement un mois plus tard, attachée à la Brigade Jamin, sur le flanc droit du corps expéditionnaire franco-anglais, la Section mit en déroute le 21 septembre la cavalerie tartare, pourtant sur le point d'encercler nos troupes. Oua Koua Ye fut prise. Puis l'intervention des fuséens sur l'aile gauche fut décisive pour prendre le pont de Pa Li Kao, pousuivre les chinois puis investir le camp de Pa Li Kao. Le 6 octobre, un camp à 4,5 km de Pékin fut trouvé vide, permettant d'investir en soirée le Palais d'Été à Yuen Mun Yen, toujours avec la Section en pointe. L'ordre fut donné le 10 au Prince Kong de se rendre dans les trois jours, cependant que les fuséens participaient à la construction d'une batterie de siège. Le 13 octobre, la porte de Gan Ting à Pékin fut ouverte, et le rempart nord se rendit.

La Batterie avait montré qu'elle maîtrisait son arme, changeant facilement de missions: contrer les batteries, défense rapprochée contre la cavalerie et pousuite de cette dernière. Le chef d'œuvre de Susane était complètement qualifié au combat.

LA FUSÉE EN DISGRÂCE

Mais ce fut justement le moment où les affaires de la fusée s'aggravèrent pour de bon. La moitié de la Batterie fut transférée à Besançon le 6 octobre 1860, en l'occurrence la 2ème Section et une autre, perdant au passage leurs fusées.

Tout ceci n'empêchait pas l'École de Pyrotechnie de continuer à travailler, développant en 1860 une caisse de montagne pour la fusée de 6, et un obus amélioré pour la fusée de 12. Un chapeau éclairant fut aussi essayé à Châlons: la tête fut écrasée à l'impact par le cartouche, désorganisant celle-ci. Une nouvelle fusée proposée par le fils de Hale, avec des évents de profil différent situés près du centre de gravité, ne donna pas de bons résultats durant ses essais initiaux, éclatant peu après le lancement. Après que les évents aient été déplacés sous le chapiteau, les résultats devinrent satisfaisants.

Susane fit en 1860 une très intéressante présentation à l'Académie de Metz, sur l'histoire probable de la poudre [2]. Elle débuta dans des temps reculés, lorsque les prêtres et leurs homologues utilisèrent astucieusement un mélange de bois plus ou moins sec avec du salpêtre (alors un élément rare) pour transmettre les "messages des dieux", tels que conseils, approbations ou refus. On trouve ainsi des liens avec les buissons ardents, l'autel de Vichnou et l'enfer. Susane expliqua que la poudre est un mélange intime assurant la combustion d'une part de soufre et trois parts de charbon de bois par une part de salpêtre. Ce dernier, aussi appelé neige indienne (on le trouve en effet à l'état naturel en Inde), était le produit de la décomposition d'oxyde de potasse par de l'acide azotique (notre acide nitrique actuel). Il était important que la poudre soit grenée (sous forme de grains). La vitesse de combustion était d'environ 10 m/s. Susane place l'étape suivante 1.000 ans avant son discours, avec l'apparition du feu grégeois, ou roche à feu (comme la "rochetta" italienne). Un jour, dit-il, quelqu'un préparant sa composition dans un pot, pour usage avec des arcs ou des catapultes, dut connaître une explosion imprévue. Ainsi apparut l'idée d'utiliser cette poudre comme agent propulsif, naturellement

2. L'invention de la poudre (Académie de Metz 1859) – Colonel Susane

chargée dans un tube de bambou creux: la lance à feu. Il ne restait plus qu'à introduire l'âme, pour obtenir la fusée ou serpenteau.

Mémoires de l'Académie Nationale de Metz
1859-60

L'INVENTION DE LA POUDRE,

1859-60,

PAR M. LE COLONEL SUSANE.

Messieurs,

Nul n'a complétement le droit de se croire à l'abri d'une méchante accusation, celle de n'avoir pas inventé la poudre. J'ai pensé qu'il serait agréable à tout le monde de savoir que la poudre n'a été inventée par personne.

Disons d'abord ce que l'on doit entendre essentiellement par le mot *poudre*.

La poudre est un mélange de salpêtre, de soufre et de charbon. Ce mélange doit être très-intime : ce qui exige une trituration énergique et prolongée.

Il est nécessaire que le salpêtre et le soufre soient purs, que le charbon provienne d'un bois tendre, ramené par une distillation savante à un degré précis de carbonisation.

Ces trois substances, pour donner lieu à une réaction complète, doivent être employées en certaines proportions comprises dans des limites étroites. Le dosage, auquel une longue suite de tâtonnements avait conduit, bien avant l'établissement des formules de la science moderne, correspond, à très-peu près, à un équivalent chimique de

Histoire de la poudre par Susane

LA FIN DE LA FUSÉE EN ANNAM ET AU MEXIQUE (1861-1863)

Fin janvier 1861, un détachement de la Batterie fut envoyé en Annam avec des fusées de 9, sous les ordres d'un simple maréchal des logis. Il fut rattaché au vice-amiral Charner au sein du corps franco-espagnol, pour attaquer les lignes de Chi Hoa. Ce qui restait de la Batterie fut envoyé à Besançon: la fin était en vue...

De nombreuses fusées furent lancées contre les camps annamites entre le 23 et le 25 février. Le 24, des tirs efficaces et précis débutèrent à 1.100 m, se rapprochant jusqu'à 200 m. Le lendemain, les fusées épaulèrent avec succès l'infanterie. Pendant la campagne de Mytho, un grand camp fut rapidement incendié le 9 avril, le détachement étant aux avants-postes quand la ville se rendit le 13 avril.

Une nouvelle version de la fusée du fils de Hale fut cependant encore essayée, cette fois avec trois évents de 10 mm situés juste sous le centre de gravité. Les résultats étant bons, mais pas supérieurs à ceux de la fusée de 6, il n'y eut pas de suites. Hale lui-même revint à la charge, mais ses propositions furent jugées trop chères. Le chapitre de la famille Hale en France se conclut là.

D'autres essais eurent lieu en 1861 avec le système éclairant, couplé à une intéressante innovation de l'École de Pyrotechnie: une petite charge de poudre était utilisée pour séparer le chapiteau au sommet de la trajectoire, en un certain sens un pas vers la fusée à deux étages! Les résultats furent bons, si bien que ce chapiteau éclairant (de 25 cm et pesant 50 kg) fut mis en service avec les fusées de 9 et de 12. Un impressionnant essai de charge eut aussi lieu en 1861, avec une fusée de 12 surmontée de deux barils de poudre remplis par un total de 150 kg de sable: lancée sous un angle de 60°, elle culmina à 30 m, parcourant 400 m!

En 1862, les fusées firent partie du corps expéditionnaire envoyé en Chine, avec le nouvel affût développé en novembre 1861. Pesant moins de 100 kg, il était construit en deux parties. Son auget articulé de 5,5 m de long était fabriqué en bois recouvert de deux feuilles de métal. Le piédestal incorporait six douilles pour pointer en élévation. Le pointage en azimut était réalisé par une tige et des écrous. Les derniers essais de l'École de Pyrotechnie paraîssent avoir eu lieu en 1862, avec les tirs de la fusée expérimentale de 6 de 1859 à Châlons, toujours par suite des limitations du Polygone. Elle fut adoptée en tant que modèle de 1862, avec un affût de montagne de 16 kg, transportable en deux parties.

Fusée de 6 de 1862 (Alexandre Ananoff - Des premières fusées au V 2 (Elsevier, 1947))

Mais le chapitre final de la fusée militaire française du 19ème siècle allait s'écrire lorsqu'un détachement mixte incluant ce qui restait de la prestigieuse Batterie embarqua à Alger le 8 septembre 1862 pour le Mexique. Les quelques fuséens, sous-entraînés, arrivèrent à Vera Cruz le 2 novembre. Les officiers de la Batterie n'étaient même pas entraînés aux artifices. Un nombre anémique de fusées fut utilisé: 2 pendant le siège de Ventilla, 3 durant le siège de Puebla et 3 durant la bataille de Guadalajara le 23 février 1864, les dernières fusées lancées par l'Armée

française au 19ème siècle. Le retour en France se fit en 1866. Quant aux toutes dernières fusées françaises de la période, c'est la Marine qui les tira en juin 1867 contre le camp de Vinh Long en Indochine.

UN FINAL BRILLANT POUR SUSANE

En 1862 une excellente histoire de la fusée fut présentée par Susane à l'Académie de Metz. C'était en fait une première partie, couvrant la période 1428-1852, qui n'eut jamais de suite [3]. C'est fort dommage, car la très importante période de sa responsabilité ne put ainsi être couverte. Cela aurait probablement donné quelques clés sur la façon dont la fusée disparut de Metz, et l'opinion du grand pionnier sur le sujet. Susane donna cependant ses notes à Favé, qui écrivit avec Napoléon III une histoire de l'Artillerie (un chapitre sur les fusées est inclus dans le Tome V) [4].

LES

FUSÉES DE GUERRE,

PAR M. SUSANE.

PREMIÈRE PARTIE.

Messieurs,

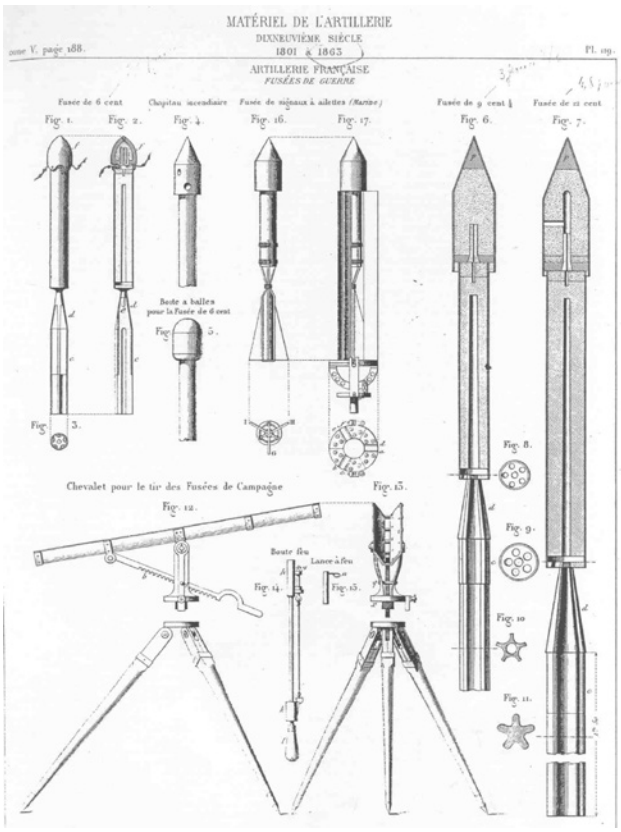
Vous m'avez permis, il y a deux ans, de vous raconter l'histoire probable de l'invention de la poudre.

Après avoir établi que le premier artifice fondé sur l'emploi et les propriétés des mélanges salpétrés fut une fusée, et que la fusée avait été le moule au moyen duquel on était arrivé peu à peu, d'expérience en expérience, ou plutôt d'accident en accident, et à mesure que la fabrication de la poudre se perfectionnait, à l'idée beaucoup plus simple du canon, je m'étais arrêté au seizième siècle, au moment précis de cette bifurcation, qui devait conduire le canon à la gloire et la fusée au néant.

Je demande aujourd'hui à l'Académie la permission de lui dire l'histoire des fusées.

Il arrive fréquemment que des choses, que l'on croyait mortes et enterrées, reparaissent tout à coup sur l'horizon, et cherchent à reprendre place au soleil. De semblables résurrections ont l'inconvénient de déranger des idées, de contrarier des habitudes. On s'indigne contre les revenants ; on les repousse. Mais le mauvais accueil

Les fusées de guerre par Susane
(Mémoires de l'Académie de Metz)



Histoire de l'artillerie par Favé (Étude sur le passé & l'avenir de l'artillerie (1868))

Ses activités fusées maintenant moribondes, Susane se devait de voler vers d'autres cieux, qu'il trouva rapidement avec sa brillante nomination en 1863 comme directeur de l'Artillerie au ministère de la Guerre. Il fut remplacé à l'École de Pyrotechnie par le colonel Virlet, lequel fut élu vice-président de l'Académie de Metz en 1871, puis son président honoraire en 1877, devenant également membre du conseil municipal. Susane garda des liens étroits avec Metz, puisqu'il sollicita la possibilité d'être un membre libre non résident de l'Académie, ce qui motiva son élection par acclamation comme membre honoraire.

Dès 1864, il fut promu général de brigade.

Il y avait déjà eu en 1864 des rumeurs sur le déménagement de l'École, ce qui n'avait nullement empêché quelques activités, telles le développement du modèle 1866 de la fusée de 6, et la même année essayer de rendre les affûts plus sûrs: le capitaine Rovel réussit à éviter les éclatements juste après allumage, alors que la fusée

3. *Les fusées de guerre (Académie de Metz 1862) - Susane*
4. *Étude sur le passé et l'avenir de l'Artillerie (1868) - Général Favé*

était encore sur l'affût, ou venait juste de le quitter. Le coup fatal tomba début 1870, avec le transfert de l'École de Pyrotechnie à Bourges, outillages compris. Les conséquences furent en fait profondes pour Metz, puisque l'École d'Application partit également en janvier 1870. Metz l'érudite ne devait plus jamais se remettre de la perte de son statut de plus grand pôle de recherche français, vu les relations avec la Prusse, située géographiquement trop près…

L'Empereur déposé suite à la bataille de Sedan le 2 septembre 1870, Susane fut chargé de faire fonctionner le ministère de la Guerre, et d'analyser les causes de la défaite au niveau de l'artillerie. Il en résulta un différend avec une commission d'enquête de l'Assemblée Nationale, mais Susane fut défendu par le Président Thiers.

Susane devint membre du Comité de l'Artillerie en 1872, une triste année pour les fusées, avec la décision du Comité des fusées le 27 juillet d'arrêter la fusée de guerre. Plus stupéfiant encore, tous les outillages furent démontés et partiellement ferraillés, et les fusées détruites!

Susane, dont on aurait vraiment voulu connaître l'opinion sur la fin de la fusée, devint inspecteur général, avant d'entrer dans la réserve en 1875, en tant que général de division. Il avait été fait grand officier de la Légion d'honneur le 22 mai 1873. Il était alors l'auteur de non moins de trois livres, sur l'histoire de l'artillerie, de l'infanterie et de la cavalerie françaises.

Mais le grand homme avait fait l'objet d'accusations calomnieuses injustifiées, contre lesquelles il n'avait pas été en mesure de se défendre lui-même. Des reproches liés au fait qu'il n'avait jamais commandé de troupes, ni participé à aucune campagne de guerre, l'affectèrent au point qu'il mourut le 30 septembre 1876 à Meudon (qui vit l'année suivante la création du premier laboratoire aéronautique au monde). Il travaillait alors à une nouvelle version de son histoire de l'infanterie. Son éloge funèbre fut prononcé par le général Canu.

CONCLUSION

Après des décennies d'atternoiements, le brillant chef de programme que fut Susane, durant un court séjour de 11 ans dans le grand pôle de recherches de Metz, créa un système de fusées militaires opérationnel et qualifié au combat dans le monde entier, faisant de la France la première nation au monde en la matière durant la deuxième moitié du 19ème siècle. Mais l'émergence en 1858 d'une nouvelle innovation française majeure, le canon rayé, entraîna la disparition de la fusée militaire, jusqu'à sa renaissance, encore en France, au début du siècle suivant, avec Le Prieur.

Année	Cne en 1er	Cne en 2è	Lt en 1er	Lt en 2è/SLt
1843	Rougé	Moisson	Degironde	SLt Guivel
1844				
1845		Hugon	Poulin	Maucourant
1846				
1847		Deschamps	Norès	Archambault de Monford
1848				
1849	Gerbaut	Norès	Maucourant	Harel
1850				
1851			Harel	Lavialle de Lameillière
1852				
1853				SLt Bernard
1854	Mauger	Harel	Naguet de St Volfran	
1855				
1856	Jacquot		Lauly	SLt Prunot
1857				
1858				
1859		Delaroze	Donop	Dulon
1860				Boissenot & SLt Carrière

La Batterie de l'École de Pyrotechnie de Metz

Voir aussi:

[1] Congreve and Toulouse (IAF-88-610) - Jean-Paul Escalettes, Philippe Jung
[2] Metz, centre des recherches françaises sur les fusées au XIXe siècle (Académie de Metz 1993) - Jacques Jung

Correction lettre N° 46 page 80, 2ème colonne, 2ème paragraphe …innovation majeure en 1815,… ■

HISTOIRE

IL Y A 60 ANS, NAPOLÉON EN SOUFFLERIE

par **Marie-Claire Coët**, membre senior 3AF et **Bruno Chanetz**, membre émérite 3AF

En novembre 1961, il y a 60 ans, l'ONERA reçut une singulière demande, formulée par la Grande chancellerie de la Légion d'honneur : il s'agissait d'étudier l'aérodynamique d'une statue de Napoléon devant prochainement être érigée au sommet de la colonne de la Grande Armée à Boulogne-sur-Mer. L'objectif était d'estimer les efforts auxquels la statue serait soumise une fois en place au sommet de la colonne. En effet, après plus d'un siècle et demi de vicissitudes dues à l'histoire, on voulait s'assurer, que le troisième bronze de l'Empereur, destiné à coiffer le monument, résisterait au vent du large.

crédit Roger Davies – 2004

HEURS ET MALHEURS DE L'HISTOIRE

Le 16 août 1804, devant les cent vingt mille hommes de la Grande Armée rassemblés au cœur de l'amphithéâtre des falaises et des collines de Boulogne, Napoléon remet, pour la première fois à l'armée, l'Étoile de la Légion d'honneur, décoration qu'il a créée en 1802 pour récompenser les services civils et militaires rendus à la Nation. Cette cérémonie revêt le caractère d'un événement historique. Très vite, l'idée de fixer de façon impérissable dans le bronze et la pierre le souvenir de cette remise des « croix », germe collectivement au coeur de l'Armée. Et, la décision d'élever un monument en hommage à Napoléon est prise ; le maréchal Soult annonce à l'Empereur « le voeu des soldats » de mettre en place aux frais de la légion une colonne en marbre avec à son sommet une statue de Napoléon. Les soldats feront le sacrifice d'une demi-journée de solde par mois et les officiers d'une journée entière [1].

UN PROJET DE COLONNE MONUMENTALE POUR LE CAMP DE BOULOGNE

Un mois plus tard, le maréchal Soult met à l'ordre du jour du camp de Boulogne, l'érection d'une colonne monumentale dédiée à Napoléon, sur les lieux mêmes qui furent témoins de la première distribution des croix de la Légion d'honneur : « L'armée veut ériger un monument capable de résister aux siècles, pour consacrer la gloire de Napoléon et commémorer la grande fête du 16 août… » Le projet est celui d'une colonne rappelant la colonne Trajane de Rome, surmontée d'une statue en bronze de Napoléon, dressée sur un bouclier antique supporté par cinq aigles aux ailes déployées. Elle aura cinquante mètres de hauteur et la statue près de cinq mètres. Quelle tenue revêtira l'empereur ? Pour les maréchaux, l'état major et l'armée toute entière, il faut que l'empereur soit en Petit Caporal ou colonel de la Garde car c'est dans cet uniforme légendaire qu'il a présidé la grande cérémonie du 16 août. Mais les hauts dignitaires du régime en décident autrement : Napoléon sera en « Imperator », revêtu de son manteau de sacre, ayant sur la poitrine le grand collier de l'ordre de la Légion d'honneur et la tête ceinte d'une couronne de laurier.

La construction du monument est mise au concours. C'est l'architecte Eloi Labarre auquel depuis, nous avons dû le monument de la bourse de Paris, qui l'emporte sur ses rivaux, son projet répondant parfaitement à l'intention des fondateurs [2]. Le maréchal Soult pose la première pierre du monument le 9 novembre 1804, en plaçant dans les fondations de son soubassement un bloc de marbre gravé de l'inscription : « Première pierre du monument décerné par l'armée expéditionnaire de Boulogne et de la Flottille à l'empereur Napoléon. Posée par le maréchal Soult, commandant en chef, 18 brumaire an XIII (9 novembre 1804), anniversaire de la régénération de la France ». La première pierre étant posée, les travaux, dont la durée est estimée entre trois et quatre ans, peuvent commencer : la statue de l'empereur sera exécutée par Jean-Antoine Houdon, l'un des plus grands sculpteurs de son temps. La colonne sera en marbre Boulonnais, car il est de si bonne qualité qu'on renonce à en faire venir de Carrare.

Dessin du monument par l'architecte Labarre en 1804 [1]

LA COLONNE DÉTOURNÉE

Mais à la chute de l'Empire, alors que la colonne s'élève environ au tiers de sa hauteur, la sculpture de l'empereur par Houdon, déjà réalisée et en attente d'être posée, est brisée et jetée à la fonte pour celle de Henri IV sur le Pont-Neuf ; les travaux sont arrêtés. Ils reprennent en 1819, toujours sous la direction d'Eloi Labarre, une fois que la décision est prise par les deux chambres que la colonne de la Légion d'honneur deviendrait la colonne des Bourbons, afin de commémorer la restauration de la monarchie. Le 2 juillet 1821, on pose la dernière pierre de la colonne, en scellant à son sommet une plaque de bronze gravée d'une inscription à la gloire de la Restauration « ... Devenue un monument de Paix, Par la restauration du trône des Bourbons, Elle a été achevée sous les auspices de S.M. Louis XVIII et consacrée au souvenir toujours cher aux Français de son heureux retour dans ses états en 1814... » Une fois la colonne achevée, on place à son sommet le « globe de la légitimité » : en bronze doré ceinturé de quatre fleurs de lys et surmonté d'une couronne ; le tout est inauguré le 24 août 1823, veille de la Saint-Louis.

LA COLONNE RETROUVÉE

Avec l'arrivée au pouvoir en 1830 de Louis-Philippe, fils du régicide Philippe-Égalité, la couronne royale et les fleurs de lys sont enlevées ; les lys sont remplacés par quatre étoiles. Le 4 juin 1831, la colonne retrouve sa vocation d'origine en prenant officiellement le nom de « Colonne de la Grande Armée ». Mais il faut attendre le 14 mai 1838, pour que, sous la pression du maréchal Soult alors ministre de la Guerre, la Chambre des députés vote enfin le crédit nécessaire à la pose d'une statue de l'Empereur et à l'achèvement des travaux. En août 1838, la réalisation d'une nouvelle statue est confiée à François-Joseph Bosio ; celle-ci est achevée juste à temps en novembre 1840, pour être placée sur les bords de Seine, face aux Invalides, le 15 décembre 1840, jour de l'entrée dans la capitale des cendres de l'Empereur, revenant de Sainte-Hélène. Le 20 juillet 1841, la statue prend la route de Boulogne ; le voyage dure six jours. Pendant la première quinzaine d'août, le temps détestable et de forts vents ralentissent le travail des ouvriers, de sorte que la statue n'est hissée au sommet de la colonne que le matin du 15 août. Elle est en place à midi pour la cérémonie triomphale d'inauguration de l'après midi. Du haut de sa colonne, l'Empereur commence une veille qui va durer cent ans...

LA COLONNE MUTILÉE

Si la Grande Guerre laisse la colonne de la Grande Armée intacte, il n'en est pas de même de la guerre de 1939-1945. En mai 1940, lors des combats pour la défense de Boulogne, les Allemands prennent le parc de la colonne comme point de rassemblement de leurs convois. C'est ainsi qu'un obus, tiré contre ces rassemblements ennemis d'un des contre-torpilleurs alliés qui croisent au large, traverse la statue de part en part à hauteur de la poitrine. Pendant l'occupation, les Allemands respectent le monument : ils inhument même au pied de la colonne plus de trois cents de leurs marins morts en mer au cours des combats contre la Grande-Bretagne. En 1944, lors de la libération de Boulogne, les troupes britanniques bombardent impitoyablement ce sanctuaire et atteignent gravement la colonne de sorte que la statue, déchiquetée par les obus, s'effondre en partie. La statue décapitée de l'Empereur n'est plus qu'un bloc de bronze informe, une épave branlante sur le faîte de la colonne.

Photo de l'épave de la statue de l'Empereur prise en 1959 [1]

Tête de Napoléon, retrouvée dans le cimetière le la Kriegsmarine du parc de la Colonne, où elle avait été projetée par les bombardements [1]

LA COLONNE RESSUSCITÉE

Après la guerre, c'est le général de Gaulle qui signe l'autorisation de remplacer la statue. Partageant l'idée première de la Grande Armée, il décide que Napoléon porterait sa redingote légendaire de petit caporal et l'épée d'Austerlitz. Le 8 mai 1962, une nouvelle statue, œuvre de Pierre Stenne, est hissée au sommet de la colonne ; elle est inaugurée le 2 juin, en présence de Pierre Messmer, alors ministre des Armées. Mais auparavant, on avait tenu à s'assurer que ce monument, venant de subir les affronts de l'histoire durant plus de cent cinquante ans, serait désormais, conformément au vœu de la Grande Armée, capable de résister aux siècles…

A l'automne 1961, l'ONERA est mandaté pour estimer les efforts et moments aérodynamiques globaux auxquels cette nouvelle statue, une fois en place au sommet de la colonne, sera soumise [3].

NAPOLÉON EN SOUFFLERIE À L'ONERA-MEUDON

Des essais aérodynamiques ont donc été effectués dans la soufflerie S3Ch du centre ONERA de Meudon. Cette installation date de 1948 et fût, à l'époque de sa construction, « une prime à la grande soufflerie de Modane » [4], elle-même prise de guerre de la France à l'Allemagne après le second conflit mondial. La soufflerie transsonique S3Ch, réplique à l'échelle 1/8 de celle de Modane, comporte en 1962 une veine d'essai circulaire de 1 m de diamètre. La maquette fournie à l'Onera est la réplique à l'échelle 1/13ème du projet de statue. Elle mesure 36,5 cm de hauteur, la statue mesurant 4,75 m en vraie grandeur. De tels essais auraient bien sûr pu être effectués sur la statue à l'échelle 1 dans la grande soufflerie de Modane, mais pour des coûts bien supérieurs…

La vitesse maximale du vent envisagé au sommet de la colonne était de 200 km/h. Cette limite n'était nullement surdimensionnée, comme le prouvera la grande tempête de Noël 1999, où de telles vitesses furent atteintes sur les côtes françaises. Toutefois les essais furent effectués à une vitesse deux fois et demi supérieure, soit à 500 km/h. En effet, cette vitesse correspond à un nombre de Mach de 0,4, commodément atteignable dans cette soufflerie, dont la plage accessible de nombre de Mach était à l'époque comprise entre 0,3 et 1,02 [5]. Les essais simulent un vent horizontal, c'est-à-dire parallèle au plan du socle de la maquette, pour une pression voisine de la pression atmosphérique et une température de 20°C.

Le socle de la maquette était fixé sur une balance aérodynamique - elle même intégrée au sol de la soufflerie - au moyen de huit trous uniformément répartis tous les 45°, ce qui autorisait, en décalant la maquette, huit positions différentes par rapport à l'axe de la soufflerie et à la direction du vent. Une variation continue possible de l'angle de la balance entre -15° et +30 ° permettait d'effectuer des mesures pour toutes les orientations de la maquette par rapport au vent, entre 0° et 360°.

Pour un aéronef, la connaissance du torseur aérodynamique complet est requise, c'est-à-dire que l'on mesure les trois forces et les trois moments, auxquels est soumis l'objet testé, ce qui nécessite l'emploi d'une balance à

six composantes. Mais dans le cas de cet essai, l'effort vertical F_Z n'a pas été mesuré, la portance engendrée par le vent sur le célèbre bicorne étant négligeable devant le poids de la monumentale statue de bronze. La balance à cinq composantes employée permettait de mesurer la force de traînée F_X et de la force latérale F_Y, ainsi que les trois moments associés à F_X, F_y et F_Z (non mesurée). Les deux composantes horizontales de la résultante aérodynamique et les trois composantes du moment aérodynamique sont données dans un système d'axes passant par la section des chevilles de la statue, laquelle correspond à la section d'aire minimum.

Les résultats des essais montrent que l'effort maximum appliqué à la statue est obtenu par vent de face ou de dos. Une prudente conclusion recommande cependant d'appliquer un coefficient de sécurité aux valeurs données, en vue d'effectuer les calculs de résistance des matériaux…

LE MONUMENT RENDU AU PUBLIC

Endommagée pendant la Seconde Guerre mondiale, la colonne de la Grande Armée fut restaurée dans les années 1950. La mutilation la plus grave concernait la statue de l'Empereur, à tel point qu'il fallu la remplacer. L'oeuvre nouvelle, réalisée par Pierre Stenne et qui représente Napoléon dans son habit légendaire est maintenant en place depuis cinquante ans. L'ancienne statue fut néanmoins restaurée en 1984 et disposée dans l'un des pavillons de l'entrée du domaine [7]. Le site continue aujourd'hui de faire l'objet d'une revalorisation, avec notamment, la sécurisation du belvédère. Après avoir gravi les deux cent soixante trois marches qui mènent au sommet de la colonne, on peut, par temps clair, découvrir un très beau panorama et admirer les côtes anglaises, auxquelles la statue de Napoléon tourne le dos.

La statue de L'empereur érigée au sommet de la colonne en 1962 est l'œuvre de Pierre Stenne. Napoléon est vêtu de son uniforme de campagne et coiffé de son célèbre chapeau ; il glisse sa main droite à l'intérieur de son gilet et rejette l'autre derrière son dos. Cette représentation stéréotypée de l'Empereur permet d'identifier immédiatement le personnage, même de loin. crédit www.mincoin.com

Erigée à Wimille, au lieu dit du Camp de Boulogne, à proximité de Boulogne-sur-Mer, la colonne de la Grande Armée a été classée monument historique par arrêté du 31 mars 1905. (crédit Marc Ryckaert – 2007)

Références

[1] A. Chatelle
La Colonne de la Grande Armée
Ouvrage « publié au profit de la restauration de la statue de l'Empereur sur la Colonne de la Grande Armée et pour lequel il a été fait appel à tous les membres de l'Ordre National de la Légion d'Honneur... Comme en 1804, le Maréchal Soult avait fait appel, pour sa construction, à toutes les troupes de la Grande Armée et de la Flottille Impériale du Camp de Boulogne. » Août 1959.

[2] Lavigne, éditeur
La Colonne de la Grande Armée à Boulogne-sur-mer. 1941, pp. 5-35

[3] B. Chanetz, M.-C. Coët et J. Tensi
La Grande Soufflerie de Modane
PEGASE n°137. Juin 2010, pp. 13-29

[4] M. Flament, J. Monin, P. Rebuffet
Mesures des efforts et moments dus au vent agissant sur la statue de Napoléon 1er (échelle 1/13ème). Onera - Procès Verbal d'essais 1/810/AY. Mars 1962

[5] Soufflerie de recherches de la Direction de l'Aérodynamique et soufflerie Industrielles de la Direction des Grandes Soufflerie de Modane-Avrieux
Avril 1969 – dépôt légal 2ème trimestre 1969 – n° 329.

[6] Sur les traces des fondeurs de Malakoff
Malakoff infos. Décembre 2007-Janvier 2008

[7] F. Debussche
Les monuments de Boulogne-sur-Mer : guide historique et architectural. 1998

DE LA SIMULATION SUR MAQUETTE À L'ESTIMATION DES EFFORTS RÉELS

Les efforts obtenus sur la maquette ont été traduits en coefficient adimensionnés, du type
Le $C_X = F_X/0{,}5\ \rho\ S_{maq}\ V^2$ et $C_Y = F_y/0{,}5\ \rho\ S_{maq}\ V^2$, où :

- ρ est la masse volumique de l'air ;
- V = 500 km/h la vitesse du vent en soufflerie ;
- S_{maq} = 0,0296 m² la surface frontale de référence de la maquette.

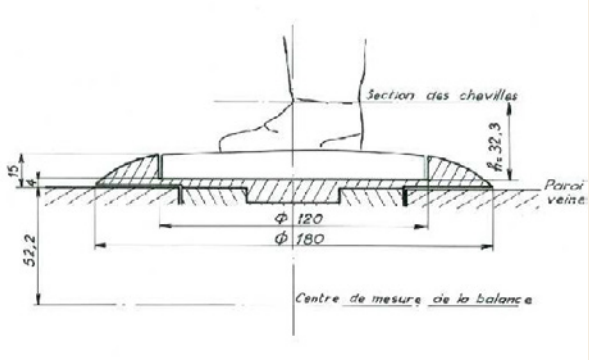
Le calcul du coefficient de résultante aérodynamique C_R (défini comme étant la moyenne quadratique de C_X et C_Y) conduit à la valeur C_R = 0,92, lorsque la statue est face ou dos au vent.

Notons que ce résultat est proche de la valeur connue (C_R = 0,8) pour un corps cylindrique d'allongement relatif (rapport hauteur/diamètre) de l'ordre de 2,5 auquel peut être grossièrement assimilée la statue.

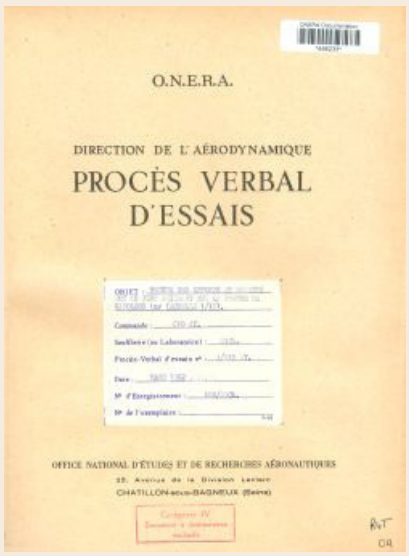
À partir des coefficients aérodynamiques obtenus en soufflerie, il est possible d'estimer les efforts à redouter sur la statue réelle pour un vent horizontal de 200 km/h. L'effort maximal résultant sera alors égal à $R_{max} = C_{Rmax} . S . 0{,}5\ \rho\ V^2$, où

- ρ est la masse volumique de l'air,
- S = 5 m² la surface frontale réelle de la statue
- V = 200 km/h la vitesse maximale du vent, envisagée au sommet de la colonne.

Cet effort maximal atteint 9025 N lorsque la statue est face ou dos au vent. Il s'applique au centre de poussée, située à 2,15 m au-dessus de la semelle inférieure du socle. Les moments maximums de flexion et de torsion que la statue pourrait subir furent également estimés.



La maquette est fixée sur la balance par l'intermédiaire d'une couronne profilée ayant pour but d'éviter les décollements de couche limite que produirait, dans un montage en soufflerie, le flanc vertical du socle en présence de la paroi de la veine. (crédit ONERA)

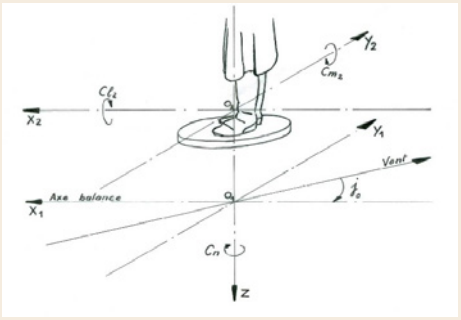

O.N.E.R.A.

DIRECTION DE L'AÉRODYNAMIQUE

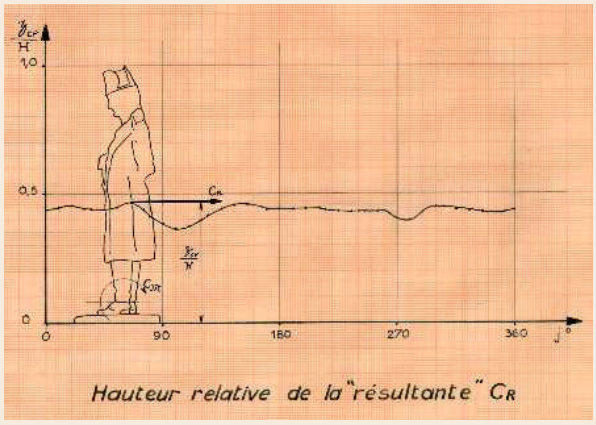
PROCÈS VERBAL D'ESSAIS

OFFICE NATIONAL D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES AÉRONAUTIQUES

Daté de mars 1962, le PV d'essais de l'ONERA est co-signé par tros personnes : le responsable de l'essai, le chef de la soufflerie et le directeur scientifique adjoint de la direction de l'aérodynamique



Définition du système d'axes dans lequel sont données les trois composantes du moment aérodynamique. crédit ONERA



La position du centre de poussée au dessus de la semelle inférieure du socle est donnée relativement à la hauteur totale de la statue, en fonction de l'orientation du vent. crédit ONERA

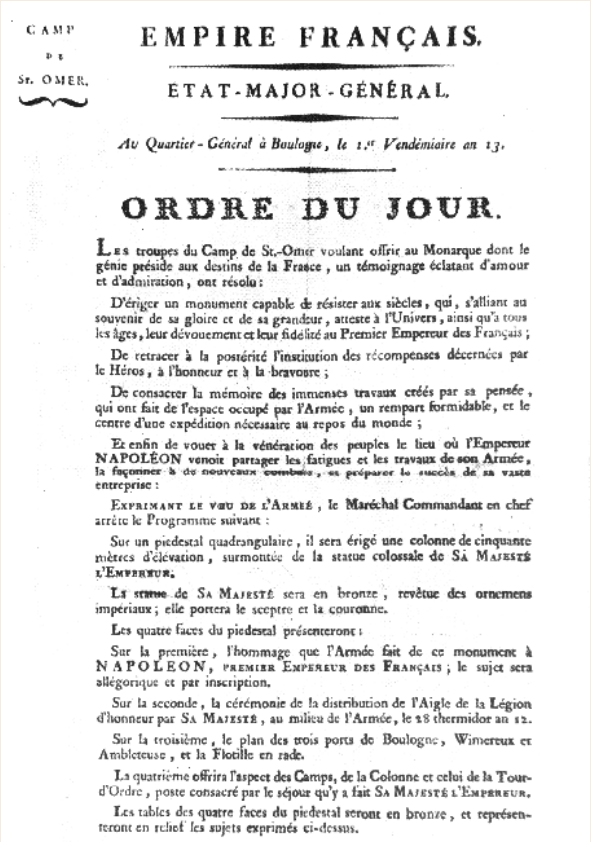
La maquette pour les essais en soufflerie, réplique à l'échelle 1/13ème du projet de statue due au ciseau de Pierre Stenne, est un bronze d'art de 36,5 cm de hauteur, fabriqué à la cire perdue par Georges Rudier, dernier représentant d'une dynastie de fondeurs, installé à Châtillon et qui avait par ailleurs la clientèle des musées Maillot et Rodin [6]. crédit ONERA

LE BRONZE DE SOULT

« Sire, prêtez-moi du bronze, je vous le rendrai sur les champs de bataille ». C'est en ces termes que le maréchal Soult s'adresse à l'Empereur, pour obtenir le bronze nécessaire à la statue et aux bas-reliefs du socle.

Lors de la Restauration, le bronze de Houdon et les grands bas-reliefs sont fondus afin de couler la statue d'Henri IV pour le Pont Neuf. Toutefois, on épargne la partie du bas-relief représentant le maréchal Soult soumettant les plans de la colonne à l'Empereur et on la lui adresse en « port dû ». Le maréchal s'acquitte des 283,45 francs demandés en accompagnant la somme de ce billet : « Ce sera, Monsieur, la troisième fois que j'aurai payé le même bronze, la première ce fut de ma personne quand nous le prîmes sur les ennemis, la deuxième lors de la souscription pour fournir aux frais quelconques du monument de Boulogne et la troisième entre vos mains ».

En juin 1838, sous la Monarchie de Juillet, le maréchal Soult revenant de Londres où il représentait la France au couronnement de la jeune Reine Victoria, s'arrête à Boulogne, satisfait de revoir son monument, qu'il sait désormais devoir être achevé, puisqu'il a fait voter les subsides nécessaires, le mois précédent. ■



CAMP DE St. OMER.

EMPIRE FRANÇAIS.

ETAT-MAJOR-GÉNÉRAL.

Au Quartier-Général à Boulogne, le 1.er Vendémiaire an 13.

ORDRE DU JOUR.

Les troupes du Camp de St.-Omer voulant offrir au Monarque dont le génie préside aux destins de la France, un témoignage éclatant d'amour et d'admiration, ont résolu :

D'ériger un monument capable de résister aux siècles, qui, s'alliant au souvenir de sa gloire et de sa grandeur, atteste à l'Univers, ainsi qu'à tous les âges, leur dévouement et leur fidélité au Premier Empereur des Français ;

De retracer à la postérité l'institution des récompenses décernées par le Héros, à l'honneur et à la bravoure ;

De consacrer la mémoire des immenses travaux créés par sa pensée, qui ont fait de l'espace occupé par l'Armée, un rempart formidable, et le centre d'une expédition nécessaire au repos du monde ;

Et enfin de vouer à la vénération des peuples le lieu où l'Empereur NAPOLÉON venoit partager les fatigues et les travaux de son Armée, la façonner à de nouveaux combats, en préparer le succès de sa vaste entreprise :

EXPRIMANT LE VŒU DE L'ARMÉE, le Maréchal Commandant en chef arrête le Programme suivant :

Sur un piedestal quadrangulaire, il sera érigé une colonne de cinquante mètres d'élévation, surmontée de la statue colossale de SA MAJESTÉ L'EMPEREUR.

LA STATUE de SA MAJESTÉ sera en bronze, revêtue des ornemens impériaux ; elle portera le sceptre et la couronne.

Les quatre faces du piedestal présenteront :

Sur la première, l'hommage que l'Armée fait de ce monument à NAPOLEON, PREMIER EMPEREUR DES FRANÇAIS ; le sujet sera allégorique et par inscription.

Sur la seconde, la cérémonie de la distribution de l'Aigle de la Légion d'honneur par SA MAJESTÉ, au milieu de l'Armée, le 28 thermidor an 12.

Sur la troisième, le plan des trois ports de Boulogne, Wimereux et Ambleteuse, et la Flotille en rade.

La quatrième offrira l'aspect des Camps, de la Colonne et celui de la Tour-d'Ordre, poste consacré par le séjour qu'y a fait SA MAJESTÉ L'EMPEREUR.

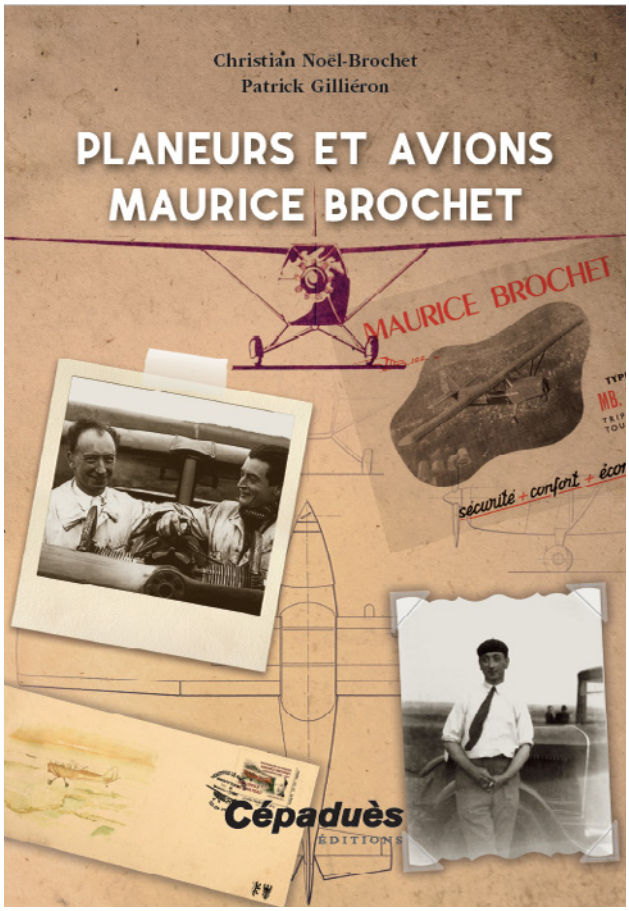
Les tables des quatre faces du piedestal seront en bronze, et représenteront en relief les sujets exprimés ci-dessus.

L'ordre du jour du maréchal Soult, pour l'érection de la colonne [1]

NOTES DE LECTURE

PLANEURS ET AVIONS MAURICE BROCHET

par **Patrick Gilliéron**, président du GR Ile-de-France



Maurice Brochet fait partie des hommes qui ont fait et marqué l'histoire de l'aviation légère. Après un premier vol plané effectué sur les terrains de l'Institut aérotechnique de Saint-Cyr-l'École, Maurice Brochet réalise un planeur de sa conception et obtient son brevet de pilote d'avion sans moteur le 22 novembre 1931. Il construit ensuite trois planeurs Avia 32-E en 1933, transforme un planeur Avia 15-A en planeur à moteur auxiliaire propulsif baptisé MB 20 (MB pour Maurice Brochet) puis une version à moteur tractif désigné MB 30. Maurice Brochet se spécialise ensuite dans la construction et la réparation de planeurs et commence la réalisation d'une version biplace du MB 30 qui restera inachevée à la veille de la Seconde Guerre mondiale.

Après 1945, Maurice Brochet reprend ses activités de réparation et achève en 1947 la réalisation d'un appareil monoplace désigné MB 50. Le 24 juin de l'année suivante, une version biplace en tandem désignée MB 60 décolle de l'aérodrome de Chavenay. Suivent ensuite les MB 70 et MB 71 qui effectuent leurs premiers vols en 1950 puis une version améliorée et élargie du MB 70, le MB 90 pour le remorquage de planeurs. Seront enfin proposés les MB 100 et MB 120 pour le voyage puis le MB 110, un quadriplace équipé d'un moteur SNECMA de 170 ch.

Plusieurs avions Brochet volent encore aujourd'hui dont un MB80 immatriculé F-PGLA basé à Montdidier, un MB83 immatriculé F-PGLF basé sur l'aérodrome d'Uzès, un MB83 immatriculé F-PGLH basé à Marmande Virazeil ... et d'autres encore en Angleterre !

Maurice Brochet est un artisan ingénieur ingénieux ; sa créativité et sa volonté sont à comparer à celles des Jean Délémontez (JoDel) et Jean Chapeau (Indraéro 101) dont les productions ont très largement contribué au développement de l'aviation légère en France.Ses travaux et ses réalisations sont, dans cet ouvrage, replacés dans le contexte historique des débuts du vol sans moteur et des petits avions jusqu'à l'aviation populaire, la période d'occupation puis la relance de l'Aviation Légère.

Quelques mots sur la réalisation de l'ouvrage *– L'ouvrage résulte d'un travail commencé il y a plus de 10 ans par Christian Noël-Brochet, le petit-fils de l'avionneur. Les planeurs et avions Maurice Brochet n'ayant pu être réalisés sans le travail et la passion de ceux qui avaient précédé l'avionneur, l'auteur a souhaité replacer les réalisations de son grand-père dans le contexte historique des débuts du vol sans moteur jusqu'à l'aviation populaire, la période d'occupation puis la relance de l'Aviation Légère (voir l'introduction et la quatrième de couverture). L'ouvrage compte plus de 600 photos dont plusieurs sont sans doute inédites.*

La première de couverture a été imaginée par l'éditeur Cépaduès et mon travail n'a consisté qu'à relire, adapter les textes, imaginer une présentation puis mettre en page l'ensemble en essayant de trouver le meilleur équilibre entre les textes et les photos. Tous les droits d'auteurs ont été abandonnés pour réduire au mieux le prix de l'ouvrage. ■

LES PROCHAINS ÉVÉNEMENTS

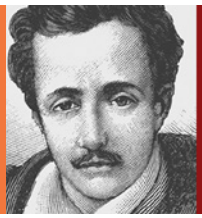
25 JUIN 2021

LE FUTUR DE L'AÉROSTATION ET DES DIRIGEABLES

Vendredi 25 juin 2021
au Centre d'arts et de culture de Meudon

3AF Association Aéronautique Astronautique de France
ONERA LUMNI

8 OCTOBRE 2021



Antoine d'Abbadie
Savant, explorateur, écrivain
Sa vie, son œuvre

Colloque
à Hendaye
Vendredi
8 octobre 2021
9h00-16h30

3AF Association Aéronautique Astronautique de France
ONERA LUMNI

9-10 NOVEMBRE 2021

9-10 Novembre 2021
Versailles - Palais des Congrès
www.3af-CAT2035.com

COMBAT AEROTERRESTRE 2035

3AF Association Aéronautique et Astronautique de France

7-9 DÉCEMBRE 2021

3AF Association Aéronautique et Astronautique de France

14th 3AF INTERNATIONAL CONFERENCE
INTEGRATED AIR AND MISSILE DEFENCE
DECEMBER 07-09, 2021 - NICE, FRANCE

IAMD 14

1-3 FÉVRIER 2022

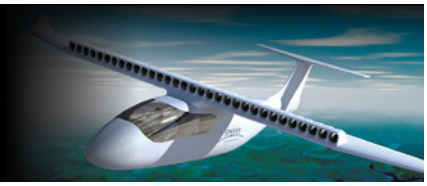
3AF Association Aéronautique et Astronautique de France

OPTRO 2022
10th International Symposium
on Optronics in Defence & Security
OECD · Paris · France · 01-03 February 2022

28-30 MARS 2022

3AF Association Aéronautique et Astronautique de France

56th 3AF International Conference
AERO2022
Toulouse, France – March 28-29-30, 2022



9-13 MAI 2022

8TH EDITION OF THE SPACE PROPULSION CONFERENCE

3AF Association Aéronautique et Astronautique de France

SPACE PROPULSION 2022

esa

09-13 MAY 2022 - ESTORIL • PORTUGAL
WWW.3AF-SPACEPROPULSION.COM

3 JUIN 2022

Ismaël Boulliau, sa vie, son œuvre
Mathématicien
astronome
météorologue

Colloque à Loudun
Vendredi 3 juin 2022
9h00-17h00

3AF Association Aéronautique Astronautique de France
ONERA LUMNI

Association Aéronautique
et Astronautique de France

www.3af.fr