

SOMMAIRE

P.1 EDITO

Par Gilles MARCOIN

P.2 EN DIRECT

- Assemblée Générale 2015
- 11th International Conference on Missile Defence, June 6th to 12th 2015

P.4 INTERVIEW

- Cybersécurité: Marc Darmon, Directeur Général Adjoint de Thales, Systèmes d'information et de communication sécurisés

P.7 DOSSIER

- Aérodynamique navale : état de l'art des techniques de mesure et de simulation - Partie II

P.10 SCIENCES ET TECHNOLOGIES

- Moteurs LEAP
- Le « Friction Stir Welding » ou Soudage par Friction-Malaxage
- Quelques remarques relatives à l'utilisation de batteries pour la propulsion des avions

P.18 OPINION

- L'industrie aéronautique en Chine: Aperçu et perspectives
- Evoluer dans un milieu international : échanges et veille multilingue

P.24 AGENDA



INTERVIEW

MARC DARMON,
DIRECTEUR GÉNÉRAL
ADJOINT DE THALES,
SYSTÈMES D'INFORMATION
ET DE COMMUNICATION
SÉCURISÉS



**SCIENCES ET
ETCHNOLOGIES
MOTEURS LEAP**





Chères lectrices, chers lecteurs,

1er octobre à Toulouse.

Je voudrais tout d'abord saluer une avancée européenne dans le domaine de l'armement qui me semble particulièrement importante. Suite à l'initiative industrielle prise en 2013 d'Airbus Defence and Space, Dassault Aviation et Finmeccanica, l'Allemagne, la France et l'Italie ont signé le 18 mai 2015 une déclaration d'intention tri-nationale pour l'étude de la définition d'un drone européen MALE (Medium Altitude Long Endurance), prélude au lancement du développement et à l'acquisition des matériels. Un tel programme est fondamental pour l'indépendance opérationnelle des pays européens et pour le maintien d'une Base Industrielle et Technologique de Défense (BITD) en Europe.

Pour le futur, 3AF organise un colloque international particulièrement important du 12 au 14 avril 2016 à Paris. Le sujet de ce colloque est fondamental pour l'aéronautique civile mondiale car il porte sur la meilleure utilisation de l'avion dans l'espace aérien global. Le comité de programme est présidé par Robert LAFONTAN, Senior Vice President Engineering d'AIRBUS, et comprend des représentants de la DGAC, SAFRAN, THALES et ZODIAC AEROSPACE, d'AIR France, de l'Union des Aéroports Français (UAF) et de sociétés étrangères.

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

Directeur de la Publication
Michel Scheller

Rédacteur en chef
Gilles Marcoin

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

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

Conception
Ici la Lune

Impression
Impression Design
Dépôt légal : 2nd trimestre
2015

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

Nous continuons à saluer le succès du RAFALE, le QATAR ayant signé un contrat d'acquisition de 24 exemplaires de ce système d'armes le 4 mai à Doha en présence du Président de la République François Hollande.

Mais revenons à notre Lettre 3AF. Nous avons voulu rassembler dans celle-ci des articles assez différents que vous découvrirez, j'espère, avec intérêt.

L'interview de Marc Darmon Directeur Général Adjoint de Thales, Systèmes d'information et de communication sécurisés porte sur un sujet d'actualité, la cybersécurité.

Sur le plan de notre association, je souhaite que les membres 3AF se mobilisent et viennent nombreux à la prochaine Assemblée Générale 3AF qui se tiendra le lundi 22 juin 2015 de 15 heures à 16 heures 30, à la Fédération Française du Bâtiment Grand Paris, 10, rue du Débarcadère, PARIS 17ème. Par ailleurs, je vous informe que cette Assemblée Générale sera suivie, de 16 heures 30 à 19 heures, d'une présentation des activités du groupe régional Ile de France de la 3AF, puis d'une cérémonie où seront remis des Grades et des Palmes 3AF ainsi que des distinctions nationales à des membres 3AF.

Les articles techniques sont variés : l'article de M. Dessaulty est très informatif sur le moteur LEAP, successeur du CFM56, et sur la R&T chez SAFRAN/SNECMA.

P. Kuentzmann et G. Théron nous font part de leurs remarques sur l'utilisation des batteries sur les avions, cet article fait suite à l'article de Patrice Simon, Le stockage électrochimique de l'énergie, paru dans la Lettre 3AF de décembre 2014. Ce sujet est d'actualité (d'autant plus que Solar Impulse 2 a pris son envol !).

Dans le domaine des techniques de production, vous avez l'article de Gilles Surdon de Dassault Aviation, membre Senior de la Commission Technique « Matériaux de la 3AF, sur le soudage par friction-malaxage (en anglais : Friction Stir Welding) un procédé « écologique » très prometteur déjà utilisé dans d'autres secteurs.

Vous lirez également avec intérêt la seconde partie de l'article de Christophe Verbeke

et Bruno Mialon du Centre Onera de Lille: état de l'art des techniques de mesure et de simulation en aérodynamique navale.

Dans un tout autre domaine, Jean-Paul PERRAIS, de la Commission Stratégie et Affaires Internationales de la 3AF (CSAI), nous propose un résumé de l'étude menée par la CSAI

sur l'industrie aéronautique chinoise, dont le rapport est paru dans les cahiers 3AF.

Aurélien RIGOLLET, fondateur d'AeroTranslation.com, et membre très actif de la 3AF, nous propose un article à l'attention des PME : Evoluer dans un milieu international : échanges et veille multilingue.

Il ne me reste plus qu'à vous souhaiter bonne lecture. N'hésitez pas à donner votre avis sur les articles de la Lettre 3AF et sur le site 3AF.

GILLES MARCOIN
Secrétaire Général 3AF

[VOIR LA VERSION EN LIGNE](#)

EN DIRECT

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE 2015

Cher Membre,

J'ai le plaisir de vous informer que la prochaine Assemblée Générale de la 3AF se tiendra le lundi 22 juin 2015 de 15 heures à 16 heures 30, à la Fédération Française du Bâtiment Grand Paris, 10, rue du Débarcadère, PARIS 17ème.

D'ores et déjà, je vous informe que l'ordre du jour comprendra les points suivants : rapport moral, comptes de l'exercice 2014, budget de l'exercice 2015, barème des cotisations 2016 et information sur l'avancement du plan stratégique 2012-2016. Tous ces points seront soumis au vote à l'exception du dernier.

Je vous rappelle que, pour prendre part aux votes, la cotisation 3AF 2015 doit avoir été acquittée.

Je vous encourage donc, si nécessaire, à vous rendre sur notre site www.3af.fr qui vous permet de payer votre cotisation en ligne. Si vous n'avez pas internet, vous avez toujours la possibilité de payer par chèque. Carole LEVY se tient à votre disposition pour tout complément d'information par téléphone au 01 56 64 12 30.

Par ailleurs, je vous informe que cette Assemblée Générale sera suivie, de 16 heures 30 à 19 heures, d'une présentation des activités du groupe régional Ile de France de la 3AF, puis d'une cérémonie où seront remis des Grades et des Palmes 3AF ainsi que des distinctions nationales à des membres 3AF.

Recevez, Cher Membre, l'expression de mes sentiments les plus cordiaux.

GILLES MARCOIN
Secrétaire Général 3AF

[VOIR LA VERSION EN LIGNE](#)

11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MISSILE DEFENCE, JUNE 6TH TO 12TH 2015



6th to 12th June, Palau de Congressos de Catalunya, Barcelona, Spain

OBJECTIVES

By and large, the ballistic missile threat assessment is shared by NATO, its partners and its members' allies. Thanks to technological and industrial improvements, the ballistic missile arsenal is increasing both in numbers and operational effectiveness in rogue and proliferating states. Instability is growing in some areas, and there is a concern that non-state actors may acquire sophisticated missiles with greater range and accuracy than the rockets currently in use. The use of missiles, ballistic and non ballistic is a fact in different regions of the globe.

Nations around the world are reacting by improving, developing or acquiring missile defence capabilities, alone or through alliances. In this context, international cooperation is indeed of great value to share the costs and benefits of these systems:

- The NATO BMD programme is under way, with an interim capability in place since 2012.
- The US EPAA, that will form the basis of the NATO architecture, will complete Phase 1 next year with the arrival of the first two Aegis ships in Rota, Spain and Phase 2 will be operational with the Aegis ashore deployment in Romania.
- Turkey and Poland have decided to acquire national Air & Missile defence capabilities through

competition: US Patriot and French/Italian SAMP/T are candidates.

- Israel is improving its layered defence, with the David's sling and Arrow 3 under development.
- The Gulf states have already bought or are considering the acquisition of missile defence capabilities.
- In Asia, Japan is strengthening its missile defences while South Korea is considering implementing one, beyond the existing assets.
- India is developing its own upper layer capability in complement of the lower dual layer already developed.

The need for cooperation in Missile Defence is central since the NATO summit in Lisbon. The 2014 NATO summit in Newport invited once again in its conclusions the nations to a global interoperability initiative through multinational cooperation, including with partner nations outside NATO. A renewed call to invest into defence was also made.

The 10th 3AF Missile defence conference that took place in Mainz from 17 to 20 June 2014 gathered all the actors of the missile defence community, coming from NATO and 13 countries, among which the USA, Europe (France, Germany, Netherlands,...), Israel, South Korea and Turkey. All the challenges of missile defence were addressed in an open forum inviting the exchange of views. Panels were organised, using the latest technology to better interact with the audience, on current key topics:

- The NATO panel focused on operations. Now that the systems are coming online and are used in operations, feedback from the operational community is available to adapt and better use them.

- A debate on the future of European BMD took place, where actors from industry, research institute or agencies and from the forces presented the challenges they face and how the interactions with each other could help. More participation of the industry to collective testing was part of the recommendations. Policy makers, key stakeholders in the debate, will be invited to a new forum at the next conference.
- Given its necessity in the current environment, cooperation was addressed in two panels: from a technical approach focused on multisensor networks and operations to improve the architecture performances, to a more political approach of NATO/European BMD cooperation.
- Finally and as usual for the conference, an update of the threat was made, as perceived by different actors monitoring its evolution.

We need to continue the dialogue to achieve a Missile Defence capability in NATO and in Europe, and deal with the difficulties ahead:

How will NATO build on the interim capability to integrate EPAA phase 2 and other national contributions? Could the European Nations cooperate on DAMB with the objective to act as a force multiplier to the EPAA contribution?

Could there be a joint European effort, fostered by NATO's smart defence initiative, or the call for a European defence? What will be the role of European industry? Is multisensor cooperation a winning theme for the "smart and collective" cooperation? Can we work out common standards? How will the situation evolve between NATO and its partners and neighbours?

11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MISSILE DEFENCE, JUNE 6TH TO 12TH 2015

What are the new functionalities that the NATO BMC3I systems will need to implement and when? – How can we benefit from users, industry and research experience to be more efficient in capability development? How will missile defence developments across the globe affect the technological landscape?

The competitive balance?

How can the return of experience from the various developments of systems and technologies by the US, Europe, the Middle East and Asia be shared and common efforts be initiated?

The 11th 3AF Conference will build on the previous editions to address these

questions and discuss the influencing factors of missile defence capability development in and outside Europe. Once again, a mix of technical and non-technical, contributed and invited papers, and status of the many existing BMD programmes will be presented, including VIPs' talks and specific plenary sessions.

Sponsored by industry, the conference includes an exhibition where companies will showcase their systems and technologies. It is an unrivalled opportunity to meet customers, suppliers and decision makers, to exchange facts and opinions, and to listen to papers

presented by world experts in missile defence.

Missile Defence is taking place in Barcelona, 9th to 12th of June

[VOIR LA VERSION EN LIGNE](#)

INTERVIEW

CYBERSÉCURITÉ: MARC DARMON, DIRECTEUR GÉNÉRAL ADJOINT DE THALES, SYSTÈMES D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION SÉCURISÉS



Trains et centrales nucléaires paralysés, données du Ministère des Finances piratées, informations stratégiques détruites... si un scénario de piratage total des systèmes d'information du territoire

est encore fictif, la capacité de nuisance des cyberattaques ne cesse de croître, faisant du cyberspace un véritable nouveau champ de bataille. Les enjeux de la cybersécurité dépassent en effet largement la simple défiguration de site internet, et la menace pour la sécurité des administrations, des entreprises et des personnes est bien réelle : usurpation d'identité, transferts bancaires frauduleux, paralysie des transports et d'unités de production stratégiques, vol ou destruction de données confidentielles.

Marc Darmon, Directeur Général Adjoint de Thales, Systèmes d'information et de communication sécurisés, décrypte les grands enjeux de la cybersé-

rité : « les tentatives de cyberattaques vont incontestablement progresser en termes d'intensité, mais la cybermenace n'est pas une fatalité ».

Sophie Videment : Le nombre de cyberattaques ne cesse de croître et l'ampleur du récent piratage de TV5 Monde a démontré une capacité de nuisance considérable. Qu'est-ce que recouvre le terme de cybersécurité, en quoi est-ce devenu un sujet de préoccupation aussi important pour les entreprises et les administrations?

Marc Darmon : L'importance du sujet de la cybersécurité vient aujourd'hui de l'interconnexion généralisée des acteurs, des systèmes d'information

et des objets. Les systèmes d'information sont quasiment tous interconnectés et sont au cœur du fonctionnement de nos entreprises et de nos administrations. Les risques liés au piratage de ces systèmes d'information deviennent dès lors plus importants et nécessitent de mettre en œuvre des moyens de protection.

Nous catégorisons trois grandes familles de menaces :

1 – Les menaces visant un impact sur un particulier ou sur l'image d'une organisation : cette première famille de menaces pourrait s'assimiler au « bruit » dans le domaine informatique. Il s'agit ici par exemple de la modification de la page d'accueil d'un site, ou de l'usurpation d'un compte gmail. Pour la personne concernée, c'est très pénalisant, mais cette attaque n'a pas de conséquences « stratégiques ». Ce type d'attaques est la plus courante ; elle existe depuis le développement d'internet, est visible, et représente essentiellement un outil de communication pour les pirates.

2 – La récupération ou le vol de données sensibles : L'attaque en espionnage vise à s'insinuer dans le système d'information de l'organisation et à extraire des données stratégiques ou confidentielles de façon insidieuse. Sans moyens adhoc qui pourtant existent, l'organisation ne s'en aperçoit bien souvent que tardivement et souvent par hasard, et ce alors que l'attaquant est déjà en action depuis des semaines ou plusieurs mois.

3 – L'attaque au cœur des systèmes opérationnels (système de production ou systèmes industriels par exemple) : c'est un cas d'agression qui vise à provoquer des dysfonctionnements voire des destructions. C'est le type d'agression qu'ont subi TV5 Monde, SONY ou Aramco.

SV : Quels sont les moyens à mettre en œuvre face à ces différents types de menaces ?

MD : Les techniques de protection diffèrent bien entendu en fonction de ces différents types de d'attaques. Mais dans tous les cas j'insiste sur le fait que de nombreuses attaques seraient bien moins efficaces si des mesures de prévention étaient appliquées dans les phases de conception et de réalisation des systèmes d'information.

Pour se protéger contre l'usurpation d'identité, les modifications de page d'accueil d'un site, il suffit souvent de respecter des mesures de précaution classiques : changer les mots de passe régulièrement, avoir des mots de passe différents selon les différents types d'application, mettre à jour les systèmes informatiques. Nous ne sommes pas dans le domaine de la cybersécurité proprement dite pour lequel l'entreprise doit faire appel à des experts tels que ceux de Thales. Néanmoins, nous participons, avec l'administration française, à la sensibilisation des entreprises sur ces règles simples permettant d'éviter les attaques les plus courantes.

Des attaques informatiques dans lesquelles des données sont pillées sont assez fréquentes et, comme je l'ai mentionné, avec des conséquences qui peuvent être très importantes pour les organisations. C'est ainsi que l'Etat a décidé d'imposer aux entreprises stratégiques pour la nation de se protéger contre ces cyberattaques et l'a inscrit dans le Livre Blanc de la Défense et de la Sécurité depuis 2 ans. Cela concerne par exemple des grandes entreprises de transport, d'énergie, de sécurité, de santé, ou des très grands groupes français.

Ces mesures de cybersécurité consistent à :

- Mesurer et connaître la vulnérabilité de l'organisation : il s'agit de faire effectuer des audits par des prestataires de confiance et certifiés qui vont réaliser des tests de pénétration, des tests d'intrusion. Ces audits permettent d'identifier les zones de risque, et de prioriser les actions à mener pour protéger l'organisation de la manière la plus appropriée.

- Superviser : la supervision consiste à disposer, à certains points d'accès, des « sondes » qui agissent comme des sortes de caméras pour surveiller à distance le système d'information et proposer si nécessaire des corrections, soit à distance, soit avec une équipe spécialisée agissant sur place. La surveillance du système de sécurité d'une entreprise ou d'une administration est très importante car elle permet d'être réactif en cas d'attaque, et de minimiser considérablement son impact.

Dans le troisième cas, les solutions pour se protéger sont les mêmes : mesures de précaution classiques, tests de pénétration et supervision.

On peut en effet, pour parer ce type d'attaques, mener des actions en amont pour repérer des attaques potentielles et, de la même manière que pour les plans vigipirate dont les niveaux sont relevés en cas d'alerte, remonter le niveau de vigilance si la sensibilité apparaît plus forte. Cela se traduit par exemple par des actions de supervision en temps réel en cas d'alerte avec une augmentation des effectifs des équipes de surveillance.

L'augmentation du risque de cyberattaques est incontestable. Le cadre réglementaire oblige certains acteurs – quelques centaines – à s'en protéger. Cependant, si la prise de conscience des organisations est de plus en plus forte, elle n'est pas encore complète vis-à-vis du niveau de risque auquel les entreprises sont susceptibles d'être confrontées.

SV : En quoi l'attaque subie par TV5 Monde est-elle particulièrement importante ?

MD : En termes de cybersécurité, cette attaque marque un véritable tournant ; c'est la première fois en France qu'un système opérationnel est à ce point attaqué en profondeur.

Il est très probable que l'attaque que TV5 Monde a subie ait été longuement préparée. Différentes attaques ont été combinées et lancées de manière simultanée, à la fois sur le site internet, le compte Facebook, le système d'information et la capacité à émettre. Ce type d'attaque a tout d'une opération militaire : elle est préparée, il y a une recherche d'effet opérationnel, médiatique, politique, et elle a nécessité des moyens importants. La réponse à ce type d'agression mérite une véritable stratégie de défense qui peut amener l'organisation à repenser entièrement ses solutions techniques et processus organisationnels. Pour les entreprises les plus sensibles, cela peut conduire à utiliser des systèmes de communication très résistants, avec des solutions de chiffrement à des niveaux proches de ceux qui sont utilisés dans les systèmes de télécommunication de défense.

SV : Les virus ont toujours un temps d'avance sur les anti-virus ; les systèmes de cybersécurité fonctionnent-ils de manière identique ?

MD : Il existe en effet une analogie entre les anti-virus et la cybersécurité. Les virus sont faciles à élaborer, mais ils évoluent en permanence, et l'antivirus doit être constamment mis à jour pour être capable de gérer une base de virus très importante et protéger ainsi les utilisateurs.

L'analogie tient à ce que nos équipes doivent constamment être à la pointe des différents types de

menaces susceptibles d'attaquer nos clients afin de les protéger de manière efficace. Cela nécessite une taille critique pour qu'elles soient confrontées en permanence à des problèmes de différente nature, auprès de différents clients. Nos équipes communiquent constamment entre elles sur les nouveaux problèmes rencontrés.

SV : Les attaques sont-elles permanentes ? Comment vos équipes interviennent-elles ?

MD : Les attaques sont en effet permanentes. Comme nous l'avons vu, toutes ne sont pas aussi stratégiques les unes que les autres. 5 000 personnes chez Thales travaillent sur les systèmes d'information protégés et parmi elles, 1 500 sont des experts en cybersécurité. Ils interviennent à tous niveaux, principalement en amont :

En effectuant des tests de pénétration, de vulnérabilité, de l'audit, du consulting.

En élaborant et proposant des systèmes d'information protégés : des systèmes de chiffrement, de protection des transactions bancaires, des téléphones et tablettes sécurisés.

En aval, ils effectuent des actions de supervision ; en cas d'attaque, les équipes prennent les premières mesures nécessaires, effectuent des repérages, identifient les zones qui ne sont pas contaminées pour que certaines parties de l'entreprise puissent continuer à travailler, puis elles s'attellent à la correction proprement dite.

Les tentatives d'attaques vont incontestablement progresser en termes d'intensité. Le fait d'être attaqué est une banalité. Ce qu'il faut s'est y résister, détecter et résoudre.

Le risque est considérablement réduit pour les organisations lorsqu'elles effectuent des mesures de protection de base (telles que les changements de mots de passe), des mesures de risques, qu'elles se dotent de systèmes nativement protégés et mènent des actions de supervision de leurs systèmes d'information.

SV : Avez-vous un message à transmettre à nos membres étudiants et jeunes ingénieurs ?

MD : Le domaine de la cybersécurité est passionnant et fait aujourd'hui partie intégrante de la vie numérique. Les ingénieurs qui travaillent au sein des équipes de Thales doivent maîtriser les technologies liées à internet, à la 4G/ 5G, les techniques de brouillage... ces domaines sont très attirants pour les jeunes ingénieurs, et les ressources sont insuffisantes en France.

La France est à la pointe du domaine de la cybersécurité et la cryptographie est d'ailleurs une activité historique française. Thales se situe depuis longtemps parmi les leaders mondiaux. Par exemple, à titre d'anecdote, ce sont les équipes de Thales - installées en Norvège car c'était alors un pays neutre entre l'Est et l'Ouest - qui ont élaboré le téléphone rouge reliant Khrouchtchev et Kennedy pendant la guerre froide !

Par **SOPHIE VIDEMENT**

Directrice de la Communication Institutionnelle et des Relations Presse 3AF

VOIR LA VERSION EN LIGNE

AÉRODYNAMIQUE NAVALE : ÉTAT DE L'ART DES TECHNIQUES DE MESURE ET DE SIMULATION - PARTIE II

Partie II de l'article suivant

<http://www.3af.fr/article/sciences-et-technologies/aerodynamique-navale-etat-de-l-art-des-techniques-de-mesure-et-de>

4. FONCTIONS DE TRANSFERT DES ANÉMOMÈTRES

L'intégration de véhicules aériens ne peut se faire sans une bonne connaissance des conditions locales de vent. En opération, il est très difficile d'obtenir une mesure fiable du vent au niveau des ponts en raison des nombreuses interactions. Le plus souvent, la mesure du vent est reportée en mâture afin de réduire l'impact des interactions. Sur les navires, le vent est mesuré au moyen de plusieurs anémomètres et girouettes. Cet ensemble constituant le « réseau vent » peut être complété avec un anémomètre de référence localisé en haut d'un mât. Les distorsions importantes du champ aérodynamique requièrent de définir les fonctions de transfert d'une part entre la mesure brute du « réseau vent » et le vent relatif réel, d'autre part entre le « réseau vent » et le vent local sur les spots et pistes d'appontage.

La connaissance de ces fonctions de transfert revêt la plus haute importance. Le « réseau vent » fournit la mesure du vent relatif via la fonction de transfert identifiée. Le navire a également sa propre vitesse d'avance. La conjonction des deux informations permet alors de déterminer le vent météo, paramètre important pour l'aviation évoluant au voisinage du pont d'envol du navire. Dès que l'aéronef est en contact avec le pont, c'est le vent relatif local qui doit être pris en compte pour l'évaluation de ses coefficients aérody-

namiques globaux, en particulier durant les phases de manœuvres au sol, celles préparatoires au décollage ou en approche finale juste avant le touché.

Pendant les essais en mer, il est difficile d'identifier précisément les conditions de vent météo et par conséquent, le vent relatif. Les fonctions de transfert peuvent être déterminées facilement en soufflerie où le vent relatif est parfaitement connu, tant en module qu'en direction.

Localisation des mesures. Le « réseau vent » doit être localisé aussi haut que possible, afin de minimiser l'impact de perturbations ou d'interactions aérodynamiques. D'un autre côté, les capteurs doivent pouvoir être accessibles pour des opérations de maintenance notamment. Comme mentionné plus haut, le « réseau vent » est composé de quelques anémomètres (pour la redondance) en général répartis sur un cercle virtuel autour du mât. L'effet de géométrie du mât n'est pas neutre car il peut ne pas permettre de placer les capteurs dans des zones suffisamment non perturbées.

En soufflerie, au lieu de mesurer le vent local à une position précise de l'anémomètre, il est préféré de cartographier une grille (typiquement 25 points de mesure) dans le plan du cercle virtuel des anémomètres (voir figure 9). Ceci permet, en cas de mauvais positionnement d'un anémomètre, de trouver une nouvelle position acceptable sans avoir à réaliser un nouvel essai.

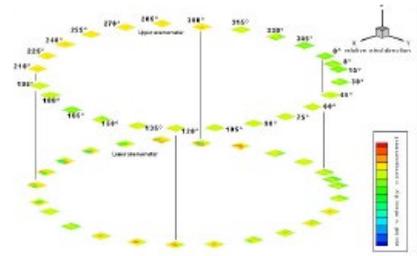


Figure 9. Réponses des anémomètres du navire mesurées par fils chauds

Les composantes de vitesse sont identifiées dans le repère du vent relatif selon des conventions habituelles. Malheureusement, les réponses des anémomètres sont souvent altérées par la proximité des superstructures ou d'équipements électroniques, comme des antennes, qui génèrent des déflexions latérales ou verticales de l'écoulement. Il convient de remarquer que (voir figures 10 et 11) :

l'hétérogénéité des composantes de vitesse et turbulence indique qu'une petite variation de la localisation de l'anémomètre peut engendrer des variations importantes de coefficients ;

les différences entre des directions de vent successives peuvent compliquer la modélisation et poser des problèmes de continuité des formulations ;

les deux points précédents conduisent à une incertitude accrue liée à la fonction de transfert.

5. CHARGEMENTS AÉRODYNAMIQUES

Contexte. L'action du vent sur le haut des superstructures peut engendrer des charges considérables qui doivent être prises en compte dans le processus de conception

AÉRODYNAMIQUE NAVALE : ÉTAT DE L'ART DES TECHNIQUES DE MESURE ET DE SIMULATION - PARTIE II

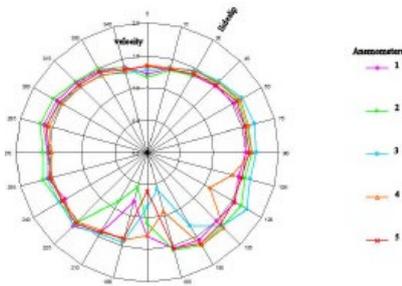


Figure 10. Fonction de transfert : vitesse du "réseau vent"

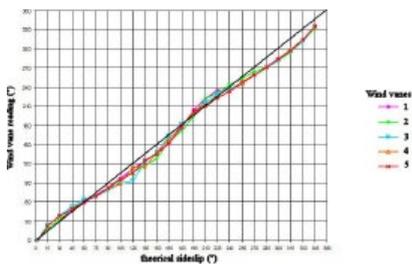


Figure 11. Fonction de transfert : dérapage "réseau vent"

[9,10]. Les charges aérodynamiques interviennent dans le dimensionnement du système propulsif et sont aussi un paramètre d'entrée pour les dispositifs de compensation de houle. En cas d'endommagement, ces efforts peuvent être déterminants pour la survie du navire et de son équipage. Les chargements aérodynamiques peuvent aussi être affectés par la proximité d'autres navires ou structures offshore.

Un bâtiment naviguant par mer et météo calmes voit une résistance aérodynamique liée à la pénétration dans l'air de sa coque et de ses superstructures. Cette résistance dépend de la vitesse d'avance et de la géométrie (surface exposée, formes) du navire. En présence de vent, la résistance dépend aussi de la vitesse du vent météo et de sa direction relative. En raison des nombreuses fonctions assignées aux superstructures et du fait que le vent relatif peut venir de toutes les directions, leurs formes ne peuvent être optimisées aérodynamiquement.

Par conséquent, la conception du navire ne laisse que peu de marges de manœuvre pour la réduction de la résistance aérodynamique.

Le contributeur principal à la résistance aérodynamique des superstructures est leur surface exposée, la résistance variant avec le carré de la vitesse. L'Amiral Taylor a suggéré que la résistance aérodynamique pour un navire conventionnel par vent de face pouvait être assimilée à l'effort sur une plaque plane orthogonale au vent relatif de largeur égale à la largeur du navire et de hauteur moitié. Par ailleurs, une étude exhaustive de la résistance aérodynamique des superstructures de navires a été réalisée par Hughes. Ces approches ne tiennent pas compte des couches limites se développant au dessus de la mer. La British Ship Research Association (BSRA) a réalisé des essais sur des maquettes de bâtiments modernes du même type que ceux de Hughes. Les superstructures étaient typiques des navires actuels, sans recherche aérodynamique particulière. Les essais ont été conduits dans une grande soufflerie et l'influence de la couche limite marine a été analysée avec un gradient de vitesse très comparable aux mesures réalisées en mer. Les résultats ont montré une diminution de la résistance aérodynamique de 20 à 45% par rapport à l'absence de couche limite marine.

Il convient de rappeler que certaines hypothèses sont émises dans les comparaisons entre résultats de soufflerie et en situation réelle ; en particulier le vrillage du profil de vitesse relatif, lié à la combinaison du vent météo (et de la couche limite marine) et de la vitesse d'avance du navire, n'est pas représenté en soufflerie. Néanmoins, certaines simulations réalisées pour déterminer les valeurs de vrillage du profil de vitesse montrent que les angles les plus forts sont localisés au

voisinage de la surface libre.

Les coefficients aérodynamiques des œuvres vives peuvent aussi être déterminés en soufflerie par utilisation de maquettes miroir afin de s'affranchir des effets de couche limite se développant sur le pont.

Procédure expérimentale. Une maquette de navire peut générer une obstruction de la veine d'essai significative, particulièrement en cas d'essais en vent de travers. Les bonnes pratiques développées à l'Onera montrent que la taille maximale de maquette à 90° de dérapage doit respecter une distance entre la proue ou la poupe et les parois de la soufflerie supérieure à une demi-longueur de navire. Par conséquent, les longueurs de maquette ne doivent pas excéder la demi-largeur du plancher de la soufflerie.

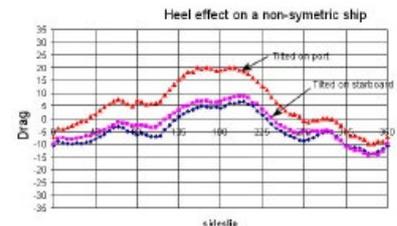


Figure 12. Charges aérodynamiques sur un navire. Effet de gîte

La détermination du chargement aérodynamique sur le navire est réalisée à l'aide d'une balance de pesée à six composantes fixée sous le plancher de la soufflerie. La contribution aérodynamique est obtenue classiquement par différence entre des essais avec et sans vent (voir figure 12). Les essais sont généralement réalisés avec et sans couche limite marine et pour différents nombres de Reynolds afin d'évaluer l'effet de ces paramètres et de s'assurer que l'influence de ce dernier est marginale.

AÉRODYNAMIQUE NAVALE : ÉTAT DE L'ART DES TECHNIQUES DE MESURE ET DE SIMULATION - PARTIE II



6. CONCLUSION

Cet article a présenté les solutions mises en œuvre à l'Onera pour identifier et améliorer le domaine opérationnel des navires en fonction de perturbations liées à l'environnement opérationnel (eau, vent, pollution, etc.). Les solutions proposées sont largement basées sur des études expérimentales dans les souffleries basse vitesse L1 et L2, avec de plus en plus souvent couplage à des simulations numériques CFD complémentaires.

Divers types de visualisations, par enduit gras, par fils de laine, fumée et plan laser, permettent une approche qualitative des phénomènes. Les techniques de mesure par fil chaud ou PIV, les mesures de température, de concentration de gaz, de torseurs d'efforts sont autant d'approches quantitatives qui complètent la « boîte à outils » de l'ingénieur.

Les bases de données expérimentales produites dans les souffleries participent à l'amélioration de la conception des navires, à leur qualification, ou permettent de valider les approches numériques, en particulier les approches instationnaires, pour l'évaluation des efforts aérodynamiques. Dans un futur proche, ces bases de données permettront aussi de valider des méthodes de reconstruction de champs aérodynamiques

3D instationnaires. A moyen terme, ces méthodes devraient permettre de doter les équipages du navire et de l'aviation embarquée d'outils d'amélioration de la conscience de situation avec pour avantages une réduction des risques en opération voire une amélioration des enveloppes opérationnelles.

REMERCIEMENTS

Certaines des résultats présentés ont bénéficié du support du CISIT (Campus International pour la Sécurité et l'Intermodalité dans les Transports – www.cisit.org), la région Nord-Pas de Calais, l'Union Européenne, le Ministère de la Défense et DCNS.

Cet article est la version française d'une communication présentée au 49ème Symposium International d'Aérodynamique Appliquée de la 3AF qui s'est tenu à l'Ecole Centrale de Lille en mars 2014.

REFERENCES

1. Barlow, J.B., H. Rae, W., Pope, A. *Low Speed Wind Tunnel Testing. Third Edition Wiley-Interscience Publications.*
2. Myers, J.J., Holm, C.H., Mc Allister, R.F. *Handbook of Ocean & Underwater Engineering. Mc Graw-Hill Book Company.*

3. NF EN ISO 19901-1 (2006). *Exigences spécifiques relatives aux structures en mer. Partie 1 : Dispositions océano-météorologiques pour la conception et l'exploitation.*

4. J. P. Detrie. *La pollution atmosphérique. Collection les industries, leurs productions, leurs nuisances. Dunod, Paris.*

5. S. Eustaze. *Le rabattement des fumées sur les ponts d'un navire – Essais sur modèles et dispositions pratiques. Bulletin de l'Association technique Maritime, N° 50.*

6. Ross, R.D. *La pollution atmosphérique et l'industrie – Nuisances, analyse et contrôle des émissions, technologie anti-pollution. Entreprise Moderne d'Édition – Technique et Documentation.*

7. Herry, B. (2010). *Etude aérodynamique d'une double marche descendante 3D appliquée à la sécurisation de l'appontage des hélicoptères sur les frégates. Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis.*

8. CAP 437 (2013). *Standards for Offshore Helicopter Landing Areas.*

9. Edward V. Lewis Editor. *Principles of Naval Architecture. Second revision. Vol II, Resistance, Propulsion & Vibrations.*

10. Sachs, P. *Wind Forces in Engineering. Pergamon Press.*

**CHRISTOPHE VERBEKE
BRUNO MIALON**

[VOIR LA VERSION EN LIGNE](#)

MOTEURS LEAP

Avec CFM International (CFM), les motoristes français Snecma (Safran) et américain General Electric (GE) ont créé une société commune qui est devenue un leader mondial de l'industrie aéronautique et un exemple de partenariat international réussi, contribuant également au rayonnement de l'industrie française dans le monde.

S'appuyant sur son expérience et sur le meilleur des technologies des deux partenaires, CFM développe actuellement le LEAP, un moteur de nouvelle génération destiné à motoriser les nouvelles versions d'avions monocouloirs.

Trois versions sont développées :

Le LEAP-1A destiné à l'Airbus A320neo. L'avionneur le propose en concurrence avec une motorisation Pratt & Whitney.

Le LEAP-1B équipera en exclusivité le Boeing 737 MAX. Il sera d'un diamètre plus petit en raison des spécificités de ces appareils.

Quant au LEAP-1C, il a été retenu par Comac comme unique motorisation occidentale du C919.

Véritable rupture technologique, le LEAP offre aux opérateurs un gain de performance significatif, un impact réduit sur l'environnement en termes



de bruit ou d'émissions de CO₂ et une fiabilité accrue, la meilleure du marché.

Précédé d'un programme de Recherche & Technologie ambitieux, ce nouveau moteur permet grâce aux technologies de rupture mûries dans le cadre de ce programme R&T de réduire de 15% la consommation de carburant et les émissions de CO₂ par rapport aux moteurs actuels, d'obtenir de faibles émissions de NO_x (oxydes d'azote), avec 50% de marge par rapport à la norme CAEP/6, et de diminuer considérablement le bruit afin d'être compatible avec la future norme Chapter 14 avec marge.

Le LEAP va remplacer à partir de 2016 les actuels CFM56, un best-seller

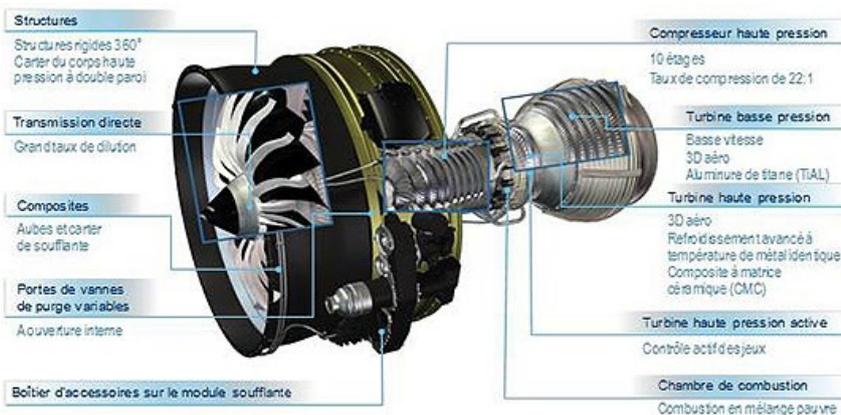
(plus de 27 000 exemplaires livrés dans le monde) qui a hissé Snecma (Safran) et GE au rang de numéro 1 mondial des moteurs d'avions civils de plus de 100 places. Actuellement le carnet de commande du LEAP approche les 8800 moteurs (commandes et intentions de commandes).

Snecma conçoit et produit la soufflante, le compresseur basse pression, la turbine basse pression, la tuyère d'éjection et le boîtier d'accessoires. De plus Snecma fait appel aux technologies des autres sociétés de Safran et à environ 150 fournisseurs directs. Les deux tiers de la production sont assurés en France.

L'Américain GE est lui en charge du corps HP (haute pression) incluant le compresseur haute pression, la chambre de combustion et la turbine haute pression.

Le LEAP sera certifié fin 2015 et entrera en service en 2016 chez Airbus, en 2017 chez Boeing et en 2018 chez Comac.

Outre la réduction de la consommation de carburant et des émissions de CO₂, le LEAP offre une fiabilité et des



MOTEURS LEAP

coûts de maintenance comparables à ceux du CFM56.

Ces performances s'appuient sur une technologie de rupture développée par Safran et son partenaire américain Albany, spécialiste du tissage industriel : le composite tissé 3D RTM (Resin Transfer Molding).

Cette technique utilisée pour les 18 aubes de la soufflante et le carter de rétention qui l'entoure est basée sur le tissage de fibres de carbone en trois dimensions. Elle a été choisie en raison de l'avantage en masse de l'ordre de 500 kg qu'elle procure, comparée à une solution métallique. Ce bénéfice a été utilisé pour augmenter le taux de dilution du moteur en limitant l'augmentation du poids du module de soufflante. Elle offre par ailleurs une robustesse accrue aux chocs et aux températures sans «quasiment aucune maintenance». Sept kilomètres de fibre de carbone sont nécessaires pour fabriquer une aube de LEAP. Safran prévoit d'en produire 30 000 à l'horizon 2020 dans ses usines de Commercy (Meuse) et de Rochester (NH), aux Etats-Unis.

De plus Safran vient de se doter d'un centre de R&D appelé Safran Composites, inauguré en mai à Itteville (Essonne) en 2014. La moitié de ses activités sera dédiée au LEAP, l'autre moitié visant à développer les compétences de Safran en matériaux composites pour les produits futurs.

Safran Composites est une des composantes du Centre de Recherche & Technologie de Safran, Safran Tech, qui depuis début 2015 regroupe les équipes centrales R&T et Innovation de Safran, au service du développement de nouvelles technologies destinées à l'ensemble des activités du Groupe.

Safran Tech est structuré autour de trois axes principaux :

L'axe « systèmes avancés aéronautiques » (énergétique et propulsion, systèmes électriques et électroniques), qui a pour objectif de comprendre et d'anticiper les évolutions technologiques des équipements que Safran développera pour ses clients.

L'axe « numérique » (technologies du signal et de l'information, modélisation et simulation), qui dote le Groupe d'outils permettant la modélisation, la conception de systèmes globaux et le traitement des informations (big data) de nos produits.

L'axe « matériaux, procédés et capteurs » (laboratoire d'expertise, matériaux et procédés, technologies et applications des capteurs), qui a pour but d'amplifier les travaux de développement des matériaux et procédés destinés aux prochaines générations des équipements développés par Safran.

Parmi les autres technologies de pointe utilisées sur le LEAP, on peut également souligner :

l'emploi du matériau intermétallique TiAl (aluminure de titane) pour alléger la turbine basse pression, l'emploi par GE d'une chambre à combustion pauvre TAPS* II à prémélange et prérotation tourbillonnaire, permettant de réduire très sensiblement les émissions d'oxydes et de particules fines (50 % de marge sur les NOx par rapport à la norme environnementale OACI CAEP/6)

* TAPS : Twin-Annular Pre-Swirl



Pour valider l'ensemble de ces

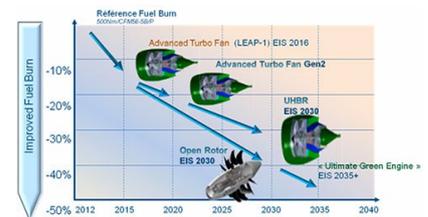
technologies, un programme d'essais ambitieux a été mis en place. Au total, ce ne sont pas moins de 28 moteurs qui serviront aux essais nécessaires à l'obtention des certificats de type des trois versions du LEAP, dont un peu plus de la moitié sera des LEAP-1A et des LEAP-1C, le reste étant constitué de LEAP-1B.

Les vols d'essais se succèdent actuellement avec succès. Le LEAP a effectué son premier vol le 6 octobre 2014 en Californie, sur le site d'essais en vol de GE à Victorville (CA), dans le désert de Mojave. L'avion d'essai est un Boeing 747-400 appartenant à GE Aviation, utilisé comme banc d'essais volant (FTB : Flying Test Bed).



Essai en vol du LEAP

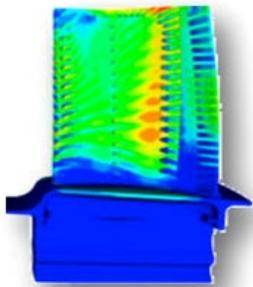
En parallèle du développement du LEAP, Safran et Snecma préparent déjà le futur d'une part en développant des technologies qui pourront contribuer à l'amélioration de ses moteurs en production et développement, d'autre part en étudiant de nouvelles architectures de système propulsif.



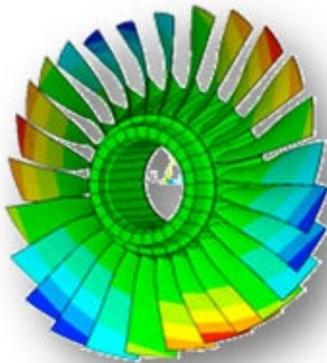
Parmi les technologies de pointe, Safran développe un matériau totalement avant-gardiste, le CMC (composite à matrice céramique) tissé 3D qui est deux fois plus résistant aux très hautes températures (de 2000 à 2400°F) que les superalliages à base de nickel et trois fois plus léger que

ces derniers. Ce matériau sera utilisé pour développer des pièces de forme complexe.

Safran investit également dans les modélisations « haute fidélité » afin de capter les effets technologiques permettant d'améliorer le rendement des composants. Ces modélisations couvrent l'ensemble des domaines : aérodynamique, thermique, mécanique, acoustique, combustion et simulation des procédés.



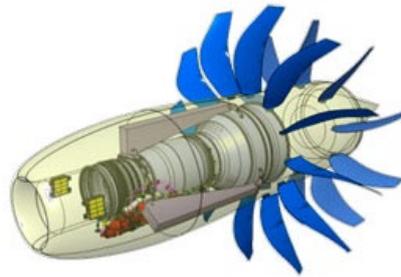
Simulation aérothermique d'une aube de turbine HP



Comportement aéro-élastique d'une soufflante

Les architectures nouvelles visent à atteindre les objectifs de réduction de la consommation de carburant et d'émissions de CO₂ fixés par ACARE (Advisory Council for Aeronautics Research in Europe). Le principal levier utilisé est l'augmentation du rendement propulsif par un accroissement du taux de dilution.

Parmi les configurations qui sont à l'étude pour un horizon 2030 afin d'équiper les futures générations d'avions monocouloirs, citons la configuration carénée (UHBR : Ultra High Bypass Ratio) et la configuration non-carénée (Open Rotor).



Grâce à son architecture en complète rupture, le moteur « open rotor » offre une consommation de carburant réduite de 30 % par rapport aux motorisations actuelles.

Ce nouveau type de moteur est constitué de deux parties bien distinctes : un générateur de gaz conventionnel et une turbine qui entraîne un couple d'hélices contra-rotatives, non carénées.

Ce sont elles qui assurent en grande partie la propulsion de l'appareil. Dans un moteur d'avion, le rendement propulsif et donc la consommation sont liés à la quantité d'air brassé et éjecté à des vitesses lentes. Avec l'open rotor, du fait de l'absence de carénage autour des hélices, il est possible d'augmenter considérablement ce flux d'air brassé sans impacter la masse donc le besoin de poussée. A la clé, un gain de consommation et une réduction des émissions de CO₂.

Sur cette thématique, Safran déroule un programme de R&T suivant une feuille de route cohérente d'un objectif d'entrée en service en 2030. En parallèle, le cadre de certification de cette nouvelle génération de moteur fait l'objet de discussions poussées avec les autorités compétentes.

Les essais en soufflerie de maquettes

d'open rotor a d'ores et déjà permis de démontrer la capacité de cette architecture à respecter la réglementation



OACI relative au bruit « Chapitre 14 ». Enfin, un démonstrateur de moteur est développé sous maîtrise d'œuvre Snecma dans le cadre de l'initiative européenne Clean Sky. Il fait appel aux compétences de plusieurs entités du Groupe Safran : Safran Composite pour les pales d'hélice, Aircelle pour la nacelle, Techspace Aero pour le système d'huile, Labinal Power Systems pour le système électrique et Hispano-Suiza pour le relais d'accès-soires.

Ce démonstrateur, auxquels participent également Avio Aero (GE) et GKN devrait réaliser ses premières rotations au banc sol en début 2016.

Des essais en vol sur un Airbus A340 sont prévus à l'horizon 2020 dans le cadre de Clean Sky 2.

Mais Snecma ne mise pas tout sur la configuration open rotor et explore également le potentiel d'une architecture plus «classique» de turbofan à très haut taux de dilution (Ultra High Bypass Ratio Turbofan). Un bilan au niveau avion étant nécessaire pour quantifier le gain réel de consommation, Snecma développe un partenariat avec les avionneurs pour décider avant la fin de la décennie quel moteur sera développé pour 2030. Les études qui sont menées permettront de disposer des briques technologiques nécessaires pour couvrir tout le panorama, depuis les moteurs carénés jusqu'aux architectures complètement décarénées de type open rotor.

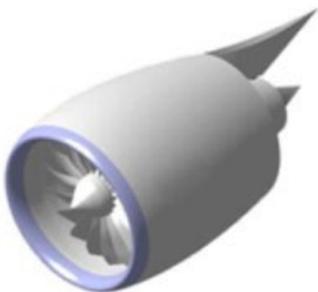
Il sera donc possible, suivant la

MOTEURS LEAP

demande du marché résultant de l'environnement économique et en particulier du prix du carburant, de choisir une « architecture semi-classique », à mi-chemin entre les moteurs carénés et l'open rotor.

Ainsi outre la démonstration en vol de l'Open-rotor, Snecma travaille dans le cadre du projet européen Clean Sky 2 sur un projet de démonstrateur de moteur à grand taux de dilution qui intégrera les briques technologiques requises pour cette architecture :

- La soufflante à faible rapport de pression et la tuyère à géométrie variable (VFN : variable area fan nozzle)
- Les structures et nacelle légères et à traînée faible
- Le réducteur de puissance situé entre la soufflante et le compresseur Basse Pression
- Les turbine & compresseur Basse Pression rapides
- L'intégration du système propulsif à l'avion
- Ce démonstrateur, appelé UHPE (Ultra High Power Efficiency) fera ses premiers essais au banc en 2021.



Rappelons que dans le cadre de Clean Sky 2, qui courra jusqu'en 2024, l'industrie et l'Union Européenne vont investir conjointement près de 4 milliards d'euros sur dix ans. Destiné à soutenir une politique de transport aérien respectueuse de l'environnement, Clean Sky 2 permettra de poursuivre l'effort de recherche nécessaire pour atteindre en 2050 les objectifs fixés par l'ACARE*. Ces objectifs comprennent notamment la réduction de 75 % d'ici à 2050

des émissions de CO2 par passager-kilomètre générées par le transport aérien. Le programme englobe également la compétitivité de l'industrie aéronautique européenne et la mobilité des passagers.

Outre les essais en vol du démonstrateur d'open rotor et les essais au sol du démonstrateur UHPE, Safran travaille également dans le cadre du programme européen CleanSky 2 sur plusieurs autres volets technologiques pour la propulsion (turbo-propulseur pour l'aviation d'affaire / avions régionaux court-courriers, moteur diesel pour aviation générale), ainsi que sur des démonstrations dans le domaine des systèmes et des équipements (distribution électrique innovante, technologies électriques pour les trains d'atterrissages, commandes de vols électriques (EMA) pour avions régionaux, ...).

Les grands programmes européens contribuent ainsi à l'effort conséquent de R&T que Safran maintient pour assurer son leadership technologique pour le futur.

La Recherche & Technologie (R&T) fait partie de la Recherche et Développement (R&D) : elle se situe en amont et regroupe l'ensemble des activités d'études, de recherches et de démonstrations technologiques qui assurent à Safran la maîtrise des savoir-faire lui permettant de développer des produits innovants avec des risques, des délais et des coûts réduits.

Ainsi, en 2014, les dépenses en R&D du Groupe atteignent 2 milliards d'euros. L'effort de R&D autofinancé s'établit à 9,5 % du chiffre d'affaires*. La R&D mobilise plus de 20 % des effectifs du Groupe, dont plus de 450 docteurs et 150 doctorants. Ainsi, Safran noue de nombreux partenariats avec des laboratoires et organismes de recherche internationaux engagés dans le domaine de la recherche aéronautique ou dans

des domaines de recherche connexes et entretient des relations de long terme avec de nombreuses écoles et universités ce qui contribue à l'excellence de sa R&T.

L'effort constant d'innovation se traduit par un nombre important de brevets déposés.

Safran a publié 645 brevets en 2014 (+16% par rapport à 2012) et est le 2ème déposant de brevets en France en 2014 et figure dans le top 100 mondial des groupes les plus innovants.

* Avant CIR (Crédit Impôt Recherche)

SOURCES :

<http://insite.collab.group.safran/News/Pages/Lancement-de-Clean-Sky-2-.aspx>

http://www.safran-usa.com/media/20150225_safran-record-2014-results

Le Leap de Safran et GE, un moteur de nouvelle génération destiné aux A320Neo et B737 Max Paris, 24 nov. 2014 (AFP).

Innovation LEAP, MOTEUR DE LA FILIÈRE AÉRONAUTIQUE, Article Usine Nouvelle.

Open rotor ou turbofan ? Snecma a cinq ans pour se décider, Air & Cosmos – 11/04/2014

CFM International : alliance franco-américaine réussie. Par Jean-Paul Ebanga, CCEF USA Centre-Ouest, PDG CFM International CCE International – n° 573 – avril/mai 2014

<http://www.usinenouvelle.com/article/psa-safran-et-le-cea-premiers-depos...>

**MICHEL DESAULTY
BERNARD ROBIC**

VOIR LA VERSION EN LIGNE

LE « FRICTION STIR WELDING » OU SOUDAGE PAR FRICTION-MALAXAGE



La plupart des procédés de soudage ne sont accessibles qu'à des matériaux dits soudables et nécessitent d'atteindre la température de fusion des matériaux à souder. Pour atteindre les hautes températures nécessaires à la fusion, les sources de chaleur sont fortement énergivores et associées au type de procédé comme le soudage au gaz, le soudage à l'arc électrique, le soudage par faisceau d'électrons, le soudage par laser...

L'utilisation de ces sources énergétiques conduit à la présence de contraintes internes élevées au droit et proche de la soudure et éventuellement peut conduire à la réalisation de traitements thermiques pour réduire les conséquences de ces contraintes et homogénéiser la structure métallurgique.

Ces spécificités expliquent l'évolution constante et nouvelle des procédés de soudage comme le soudage Friction Stir Welding (FSW) breveté au début des années 90 par The Welding Institute (TWI, Royaume Uni).

Le soudage FSW, qui peut se traduire par « friction-malaxage », est une technologie prometteuse pour l'assemblage de pièces d'aluminium

puisque'elle permet d'assembler des alliages d'aluminium à haute résistance, sans passer par la fusion (alliages d'aluminium des séries 2000, 6000 et 7000 par exemple) et sans apport de matière. Ce procédé est également utilisé et très apprécié pour l'assemblage de matériaux dissemblables. Ce procédé d'assemblage, qui est arrivé à maturité depuis quelques années, présente un intérêt certain car une fois les paramètres de soudage fixés, la répétabilité est excellente. De plus il permet une grande souplesse d'utilisation et très peu de risques puisque ce type de soudage ne nécessite pas de gaz de protection.

Le principe du soudage consiste à assembler deux tôles qui sont bridées soit bord à bord, soit par recouvrement. L'outil est composé d'un épaulement et d'un pion qui est mis en rotation par une broche hydraulique ou électrique. La vitesse de rotation de l'outil est comprise entre 400 et 1200 tr/min afin de plonger verticalement dans la matière. Après une phase de stabilisation de la température, l'outil se déplace le long des deux plaques à une vitesse constante comprise entre 100mm/min et 500mm/min. A la fin du cordon, l'outil remonte vertica-

lement et termine ainsi la soudure (figure 1). A la fin de la phase de pénétration et lors du déplacement, un effort piloté (de 10kN à 20kN) est appliqué sur l'épaulement de l'outil, la chaleur produite, suite au frottement, radoucit le matériau afin de le rendre pâteux. Ce soudage est donc réalisé à l'état solide sans fusion (figure 2). Ce nouveau procédé présente d'autres avantages : procédé « vert » (il ne nécessite ni décapage avant soudure ni de gaz), n'entraîne aucune fumée ni de bruit pendant l'opération de soudure et donne un niveau de contrainte installée réduit.

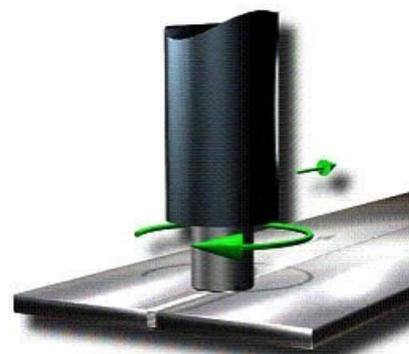


Figure 1 : Principe du soudage FSW

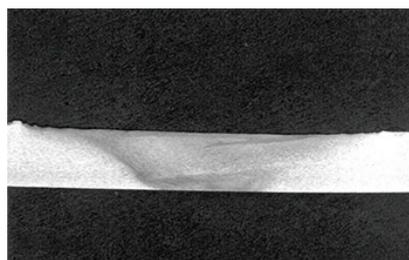


Figure 2 : Soudage bout à bout de deux tôles en alliage d'aluminium 2024T3 de 1,6 mm d'épaisseur

LE « FRICTION STIR WELDING » OU SOUDAGE PAR FRICTION-MALAXAGE

Dans le monde de l'industrie, ce procédé est surtout utilisé dans le transport, principalement dans l'industrie navale et ferroviaire (par exemple pour la fabrication des trains à grande vitesse japonais). L'industrie du transport spatial s'intéresse également à cette technologie afin de remplacer les procédés de soudage plus usuels pour la fabrication de réservoirs cryogéniques (figure 3). Enfin l'industrie aéronautique cherche également à déployer cette technologie sur les futurs avions dans un objectif de gain de masse et de coût de production en vue de remplacer les assemblages par fixations (figure 4).



Figure 3 : Soudage d'un réservoir cryogénique (NASA)

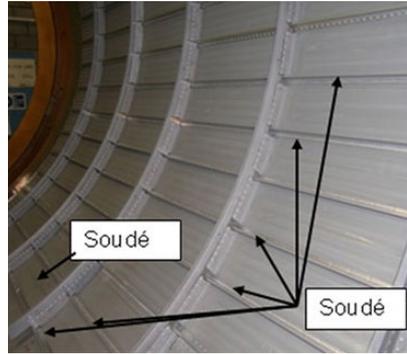


Figure 4 : Exemple d'un panneau de fuselage où les lisses sont soudées.

Outre l'application aux alliages d'aluminium, il est aujourd'hui possible d'appliquer le FSW aux alliages de titane, de cuivre, de nickel et de magnésium et aux thermoplastiques. Le grand défi actuellement est son application aux aciers et aciers inoxydables. Le point dur concerne la résistance mécanique du pion et sa durabilité.

Concernant les moyens de soudage du procédé FSW, on trouve soit des machines portiques rigides pour des épaisseurs supérieures à 5 mm, soit

des robots polyarticulés pour les épaisseurs inférieures à 5 mm. Cette limite est une contrainte qui peut évoluer selon la rigidité du moyen FSW (figure 5).



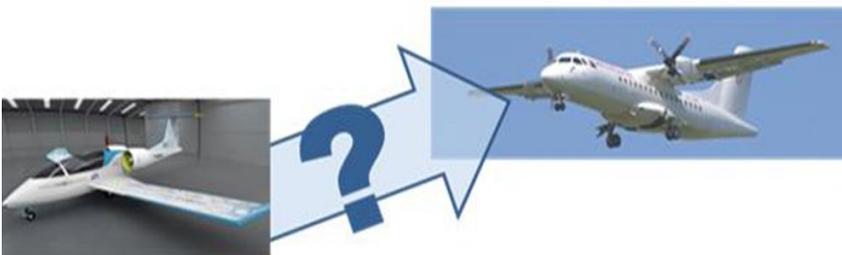
Figure 5 : Machine de soudage par procédé FSW

GILLES SURDON

Dassault Aviation Membre Sénior de la Commission Matériaux

[VOIR LA VERSION EN LIGNE](#)

QUELQUES REMARQUES RELATIVES À L'UTILISATION DE BATTERIES POUR LA PROPULSION DES AVIONS



1. INTRODUCTION

Les véhicules électriques ne sont pas récents. A la fin de 19ème siècle, des voitures électriques circulaient dans de nombreux pays ; par exemple aux Etats-Unis, la répartition des modes de propulsion était la suivante : voitures à vapeur, 40 % ; voitures électriques, 38 % ; voitures à essence, 22 % [1]. L'électricité était appréciée à l'époque pour sa facilité d'utilisation et sa propreté, l'autonomie et la puissance n'étant pas encore des critères importants. Les progrès du moteur thermique lui ont permis de s'imposer comme le principal mode de propulsion des automobiles et

REMARQUES RELATIVES À L'UTILISATION DE BATTERIES POUR LA PROPULSION DES AVIONS

des avions ; en 1995, les véhicules électriques ne représentaient qu'à peine 0,01 % des 47,5 millions d'automobiles du parc allemand. Des travaux se sont néanmoins poursuivis sur des véhicules partiellement (hybrides) ou totalement électriques et il existe aujourd'hui une forte incitation pour le développement de véhicules électriques automobiles et aériens (avions légers) en raison des préoccupations environnementales.

Si la question des véhicules électriques est abordée sous l'angle de la physique, on ne peut que constater qu'il existe un grand écart entre les possibilités de stockage de l'énergie sous forme électrique et son stockage sous forme chimique (carburant). Arrêtons-nous sur cet écart par l'intermédiaire d'un raisonnement en ordre de grandeur, en considérant un avion de transport.

Avion de transport propulsé par un ou plusieurs moteur(s) thermique(s) alimenté(s) au kérosène

La combustion d'un kg de kérosène génère 43 MJ sous forme de chaleur. L'énergie de propulsion est obtenue par l'intermédiaire d'un cycle thermodynamique dont le rendement ne dépasse pas 37 % en croisière pour une turbosoufflante, cette valeur pouvant être facilement déduite de la poussée, de la vitesse, de la consommation spécifique et du PCI.

Ceci nous amène à une énergie massique utile de :

$$43 \times 0,37 = 15,9 \text{ MJ/kg.}$$

Avion électrique stockant l'électricité dans des batteries

L'énergie massique des batteries est supposée égale à 150 Wh/kg, une valeur communément utilisée comme référence actuellement, ce qui correspond à 0,54 MJ/kg. Cette énergie est transférée à des moteurs électriques entraînant des soufflantes. Le rendement des moteurs électriques peut atteindre 94 % et le taux de décharge des batteries, 95 % ; le rendement propulsif des soufflantes

est quant à lui estimé à 80% . Ceci nous amène à une énergie massique utile de :

$$0,54 \times 0,94 \times 0,95 \times 0,80 = 0,39 \text{ MJ/kg.}$$

Il existe donc, dans le cadre des hypothèses adoptées, un rapport voisin de 40 entre les modes de stockage chimique (carburant) et électrique (batterie), rapport classiquement mentionné dans différents rapports techniques.

La question qui se pose est alors double :

Quelle est la fiabilité des valeurs adoptées pour la densité de stockage des batteries dans les nombreux avant-projets de véhicules électriques ?

Le progrès des capacités de stockage des batteries permettra-t-il de réduire le différentiel entre stockage chimique et stockage électrique ?

2. DONNÉES RELATIVES À LA DENSITÉ ÉNERGÉTIQUE DES BATTERIES

Pour caractériser la capacité de stockage et de fourniture d'électricité des batteries, il est d'usage d'utiliser en premier lieu des grandeurs qui sont rapportées au volume (densité volumique) ou à la masse (densité massique), comme la densité d'énergie stockée, exprimée en Wh/kg, et la densité de puissance, exprimée en W/kg. Ces deux grandeurs ne sont pas indépendantes : en règle générale et ceci est bien vérifié par les faits, plus la densité de puissance demandée est élevée, plus la densité d'énergie est faible. Pour simplifier la discussion qui suit et puisque la masse est la principale ennemie de l'aviation, nous allons dorénavant nous concentrer sur la densité énergétique massique. C'est aussi à ce niveau que se situent des confusions donnant quelquefois lieu à des avant-projets irréalistes. Il convient en effet de distinguer plusieurs références de masse.

2.1 La cellule électrochimique élémentaire

La masse à considérer est la masse des matériaux électrochimiques actifs à l'anode et à la cathode. Cette masse donne naissance par le calcul à l'énergie massique théorique. Par exemple, [2] donne les valeurs théoriques issues de la publication [3] pour différents types de cellules existantes ou en développement :

- Lithium-ion (LiCoO₂) : 387 Wh/kg
- Lithium-zinc (ZnO) : 1086 Wh/kg
- Lithium-soufre (Li₂S) : 2567 Wh/kg
- Lithium-air (Li₂O₂) : 3505 Wh/kg

Ces densités énergétiques font appel à de subtiles conventions concernant les espèces chimiques à considérer mais ces conventions n'ont qu'une importance limitée en pratique puisqu'il s'agit avant tout d'identifier les couples d'espèces chimiques les plus prometteurs.

Ces valeurs sont obtenues à température ambiante et ne préjugent pas des vitesses de charge et de décharge, lesquelles sont liées aux vitesses des réactions électrochimiques.

2.2 La batterie

La batterie est l'assemblage de cellules électrochimiques dans un même volume, avec un montage en série ou en parallèle, selon l'objectif de tension et d'ampérage visé. Par exemple, les deux batteries du Boeing 787-800 Dreamliner sont constituées de 8 cellules Li-ion de GS Yuasa, tandis que les 4 batteries de l'Airbus A350-900 sont constituées de 14 cellules de Saft. La masse à prendre en considération comprend, en plus de la masse des cellules, les masses de l'électrolyte, du séparateur, des connexions électriques et de l'enveloppe ; elle peut varier assez largement selon la conception de la batterie et selon son utilisation. [2] mentionne qu'entre la densité

REMARQUES RELATIVES À L'UTILISATION DE BATTERIES POUR LA PROPULSION DES AVIONS

énergétique théorique de cellule et la densité de batterie, il peut exister un facteur 2 à 4, voire plus. La valeur standard communément utilisée pour la batterie Li-ion de 150 Wh/kg est une densité énergétique de batterie, le facteur précédent s'établissant à 2,58.

2.3 La batterie conditionnée

Pour être utilisée en pratique, une batterie doit être entourée de nombreux composants, ce qui donne lieu à une troisième densité énergétique qui est la seule à devoir être utilisée dans les avant-projets. Le terme de « pack battery » est quelquefois utilisé [4]. Les composants dépendent de l'utilisation prévue et donc du type de véhicule considéré. Une liste non exhaustive de ces composants est la suivante [4, planche 21] :

- **Eléments mécaniques** visant à assurer la tenue mécanique de la batterie aux accélérations et aux vibrations.
- **Eléments thermiques statiques ou dynamiques.** Les batteries utilisent généralement un dispositif de refroidissement pour évacuer la chaleur produite par la batterie. D'autres utilisent un système de réchauffage, comme la batterie Zebra (sodium-chlorure de nickel) fonctionnant aux environs de 300 °C. Pour les avions de transport commerciaux qui doivent affronter des conditions extrêmes de température et de pression (-80°C et 0,15 bar à haute altitude, de -54 à +55°C et 1,09 bar au sol), réchauffage et refroidissement des batteries seront nécessaires. Le système thermique dépendra des conditions de vol et du lieu d'installation des batteries et devra prendre en compte les possibilités de panne.
- **Eléments électriques et électro-niques** : connecteurs de puissance, capteurs de tension, de courant et de température, résistances et switchs d'équilibrage des cellules, dispositifs

de contrôle, ...

- **Eléments de sécurité.** Ce sont probablement ceux qui grèvent le plus la densité énergétique dans les applications aérospatiales puisque sécurité et fiabilité y sont prioritaires. Des systèmes d'extinction et des pare-feux sont indispensables pour prévenir la propagation d'un incendie dans le cas de l'inflammation d'une cellule ou d'un court-circuit dans une batterie. L'incendie de certaines batteries comme celles au lithium donne lieu à l'émission d'espèces chimiques nocives, il faut donc aussi prévoir le confinement et l'évacuation des produits de combustion. Si les batteries assurent la propulsion, continuer le vol après un incident électrochimique imposera un dispositif de ségrégation capables d'isoler la ou les cellule(s) défectueuse(s).

Un tableau des performances des meilleures batteries conditionnées pour l'automobile est donné dans [1] :

- Plomb : 20 à 35 Wh/kg.
 - Nickel-cadmium : 35 à 45 Wh/kg
 - Nickel-chlorure de nickel : 70 à 80 Wh/kg.
 - Lithium-ion : 100 à 120 Wh/kg.
- Ces valeurs un peu anciennes peuvent être rapprochées de celles rassemblées dans [4] pour les batteries Li-ion conditionnées, en se basant sur les données ouvertes des constructeurs automobiles :
- Tesla Roadster : 121 Wh/kg.
 - Tesla Smart : 132 Wh/kg.
 - BMW Mini-E : 101 Wh/kg.
 - Ford Focus E : 100 Wh/kg.
 - Think : 91 Wh/kg.
 - IMEV : 80 Wh/kg.
 - Nissan Leaf : 79 Wh/kg.

Sur la Nissan Leaf, la masse des cellules électrochimiques ne représente en fait que 21 % de la masse de la batterie conditionnée.

Un exemple aéronautique peut être

trouvé dans les trois incidents de batterie ayant émaillé début 2013 la mise en service du Boeing 787-800 et ayant entraîné quatre mois d'immobilisation de la flotte correspondante. Trois départs de feu ont été enregistrés au sol et ont été heureusement circonscrits. Trois rapports ont été établis, respectivement par Boeing et la FAA, par le JTSB (Japan Transportation Safety Board) et par le NTSB (US National Transportation Safety Board), sans que la cause des incidents ait pu être totalement expliquée. Des mesures conservatoires ont été prises au premier trimestre 2013 pour permettre la remise en vol du 787-800, elles ont conduit à un assemblage plus rigoureux des cellules, à un espacement accru entre batteries, à des protections thermiques renforcées et à des enveloppes en acier inoxydable. A la première entrée en service, la densité énergétique des batteries conditionnées utilisées au démarrage était de 80 Wh/kg, après les modifications suivant les incidents de 2013, elle est descendue à 30-35 Wh/kg.

3. CONCLUSIONS

Il existe différentes définitions de la densité énergétique des batteries. Les scientifiques font une claire distinction entre la densité énergétique théorique de la cellule électrochimique élémentaire et la densité énergétique de la batterie. Par contre, la confusion semble régner chez certains ingénieurs entre la densité énergétique de la batterie et la densité énergétique de la batterie conditionnée, cette dernière étant la seule à devoir être utilisée dans les avant-projets des véhicules électriques.

Les spécialistes des accumulateurs électrochimiques de la communauté scientifique (CNRS, CEATech) s'accordent pour fixer une limite de 800 Wh/kg pour la densité de batterie. La limite pour la densité

REMARQUES RELATIVES À L'UTILISATION DE BATTERIES POUR LA PROPULSION DES AVIONS

de batterie conditionnée, surtout pour les applications aéronautiques contraintes par les questions de sécurité, sera notablement inférieure à 800 Wh/kg. Il paraît de plus vain de viser des valeurs élevées de densité d'énergie des cellules et des batteries si la masse du conditionnement/packaging des batteries n'est pas réduite dans de larges proportions.

RÉFÉRENCES

[1] Cord-Heinrich Dustmann, *L'énergie des véhicules électriques*, *Pour la Science*, n° 231, janvier 1997, pp. 36-39

[2] Patrice Simon, *Le stockage électrochimique de l'énergie*, *Lettre 3AF*, décembre 2014, pp. 16-18

[3] Peter G. Bruce, Stefan A. Freunberger, Laurence J. Hardwick, Jean-Marie Tarascon, *Li-O₂ and Li-S batteries with energy storage*, *Nature Materials*, 11 (2012), pp. 19-29

[4] Paul Kuentzmann, Gérard Théron, *Les accumulateurs électrochimiques (batteries), limites d'utilisation sur les avions*, *Conférence à l'Académie de l'Air et de l'Espace*, Section 2, 20 janvier 2015

**PAUL KUENTZMANN
GÉRARD THÉRON**

[VOIR LA VERSION EN LIGNE](#)

OPINION

L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE EN CHINE: APERÇU ET PERSPECTIVES



En juin 2008, l'Association aéronautique et astronautique de France (3AF) avait organisé un colloque consacré à la situation de l'industrie aéronautique et spatiale en Chine,

telle qu'elle pouvait être évaluée, puis comment aborder ce marché avec l'illustration de quelques exemples vécus.

Depuis, la Commission Stratégie et Affaires Internationales (CSAI) de 3AF a poursuivi l'observation de l'industrie aéronautique en y ajoutant progressivement l'industrie de défense non aéronautique en raison des nombreuses dualités qui existent dans ces activités. Ce qui suit ne traitera que de l'industrie aéronautique, hors missiles, armements terrestres et navals.

I – L'ÉVOLUTION VERS L'ORGANISATION ACTUELLE :

L'industrie de défense chinoise a été mise en place dès la victoire communiste de 1949, dans le contexte de la guerre de Corée, dont la Chine était la base arrière « du camp socialiste ». Les concepts soviétiques ont été transplantés ; des usines de production immenses ont été construites, autonomes les unes par rapport aux autres, mais sous la

L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE EN CHINE: APERÇU ET PERSPECTIVES

surveillance politique sourcilieuse du Parti. Les avions de combat et de transport militaire étaient conçus dans des bureaux d'études (souvent appelés instituts), et la plupart du temps copiaient les modèles soviétiques avec peu de contacts directs avec les usines de production. Les avions de transport civils étaient directement achetés en URSS.

A la fin de « l'ère Mao » la situation a commencé à changer d'abord dans le transport aérien civil : achats de Boeing 707, de Tridents britanniques avec la licence du moteur Rolls Royce Spey, puis des hélicoptères Super Frelon français pour des besoins pas uniquement civils. Au fil des années le transport aérien est devenu un élément clé de l'ouverture économique internationale du pays. Un appel de plus en plus large a été fait aux appareils américains (Boeing et Douglas) puis européens (Airbus à partir de 1985). Au début des années 2000 les appareils d'origine soviétique ou leurs successeurs russes ont disparu des compagnies aériennes chinoises, hormis les copies ou évolutions chinoises du turbopropulseur Antonov 24 (avions régional d'environ 50 places).

Mais la Chine a pris conscience de l'avenir du transport aérien à l'intérieur de son vaste et très peuplé pays, et de ses liaisons aériennes internationales pour occuper sa place dans le monde. Elle a ainsi décidé de se doter d'une industrie aéronautique civile de premier plan concurrente des américains et des européens.

Au plan militaire, devenue une des premières puissances économiques mondiales, elle a voulu protéger ses lignes d'approvisionnement et de commerce maritime et s'ouvrir au grand large. Ceci la conduit à développer une industrie de défense qui puisse devenir progressivement indépendante des acquisitions de matériel russe, avec l'objectif de se mettre au niveau des Etats-Unis et de

l'Europe.

Une refonte de l'industrie aéronautique et de défense a été entamée il y a plus de trente ans, mais elle a été très lente. La réorganisation de la construction aéronautique civile a connu plusieurs étapes.

Les achats d'appareils occidentaux ont été assortis, dès le milieu des années 1970, d'obligations de sous-traitances en Chine d'éléments de structures d'avions (aérostructures), qui ont permis aux chinois une ouverture vers les conceptions des constructeurs occidentaux et à ces derniers de découvrir les usines chinoises [1]. Mais il a fallu de très nombreuses années pour que s'estompe la lourdeur du « moule soviétique ».

Pour mieux coordonner les acteurs de l'industrie aéronautique, a été créé, au début des années 1990, AVIC (China Aviation Industry Corporation) qui a supervisé l'industrie aéronautique civile et militaire.

Au-delà des sous-traitances, la plupart des tentatives de coopération ou de participation dans les programmes d'avions civils occidentaux n'ont pas abouti : une trentaine de MD 90 assemblés à Shanghai sous l'égide de Boeing (après son rachat de McDonnell Douglas), l'échec du lancement d'un programme d'avion de 100 places avec les européens au milieu des années 90, (essentiellement du à la complexité d'organisation entraînée par la multiplication des partenaires et à l'étroitesse du marché), l'arrêt de la chaîne de montage de l'avion régional Embraer 145 après 39 avions, (en raison de la faiblesse du marché des petits avions à réactions régionaux de moins de 50 places). Seule la chaîne des Airbus A320 à Tianjin se maintient bien, grâce aux besoins chinois pour ce type d'appareils.

A la fin des années 90, une décision très importante a été prise avec la création d'une direction de programme spécifique chargée de la réalisation de l'ARJ21, premier projet purement chinois d'avion régional de 100 places (après l'échec de coopération internationale cité plus haut). Pour la première fois une entité extérieure aux usines coordonnait autour d'un programme, plusieurs de celles-ci, qui perdaient leurs autonomies, jalousement conservées jusqu'alors.

En 2008 cette entité est devenue une société qui s'est rapidement appelée la COMAC (Commercial Aircraft of China). Lorsqu'a été lancé en 2008 l'avion de 160/180 places C919, qui sera un concurrent direct de la famille A320 d'Airbus et de la famille B737 de Boeing, ce programme été immédiatement placé sous la responsabilité de COMAC [2].

COMAC a été dotée d'actifs : l'usine de Shanghai ou avait été établie la chaîne de montage des MD 90 et le bureau d'études associé qui joue le rôle de pilote pour l'ARJ21 et le C919, vis-à-vis des autres bureaux d'études restés chez AVIC. Shanghai est également responsable des chaînes d'assemblage final.

Les autres usines, devenues sous-traitantes de Shanghai pour des parties de cellules des avions civils de COMAC [3], sont restées sous la coupe directe d'AVIC.

Les essais en vol se font encore dans un centre d'essais dépendant d'AVIC près de Xi'an, mais COMAC a lancé la construction d'un nouveau centre dans le Shandong, qui sera dévolu aux essais des programmes dont il a la charge.

A plus long terme un projet d'avion de grande capacité de 250/300 places le C929, concurrent de l'Airbus A350 et du Boeing 787, est envisagé par COMAC.

AVIC garde la maîtrise des programmes d'avions civils à hélices : le Y12 (bimoteur de 19 places produit à Harbin), les lointains dérivés MA60/600 l'Antonov 24 réalisés à Xi'an et qui avec le lancement du MA700 (avion de 70/80 places), doit concevoir un produit totalement nouveau.

L'organisation de la construction aéronautique militaire a moins changé. Tous les avions militaires y compris les avions de transport militaires restent sous la responsabilité d'AVIC.

Les centres de Shenyang, Chengdu et Xi'an se répartissent les programmes d'avions de combat, (Xi'an étant plus spécialisé dans les chasseurs bombardiers, mais non doté de programmes d'avions de combat nouveaux). Nanchang, Hongdu et Guizhou se consacrent aux avions d'entraînement.

Les avions de transport militaires dérivés de l'Antonov 12 sont construits à Hanzhong (Shaanxi). Xi'an est maître d'œuvre du programme Y20 gros quadriréacteur de transport stratégique de plus de 60 tonnes de charge utile, dont le prototype a fait son premier vol début 2013.

Dans le domaine des hélicoptères (où la séparation des utilisations civiles ou militaires est peu évidente), les soviétiques ont aussi été les premiers à créer une capacité de production à partir de leurs modèles. Puis dès le milieu des années 70, la Division Hélicoptères de l'Aérospatiale (devenue avec les fusions européennes Eurocopter puis Airbus Helicopters) a vendu des Super Frelon, puis le Dauphin (avec une licence de production). Des relations étroites se sont ainsi développées, qui ont très grandement aidé à la création d'une industrie chinoise de l'hélicoptère, non sans tensions en raison de copiages non contractuels (Ecureuil

en particulier).

Des coopérations plus équilibrées se sont développées sur des programmes communs : l'hélicoptère léger EC120/HC120, l'hélicoptère mi-lourd EC175/Z15. Les autres constructeurs étrangers (Sikorski et Agusta Westland (AW)) ont confié des sous-traitances de compensation, puis AW a signé un accord de coopération pour le développement de l'hélicoptère d'attaque Z10.

Les compétences hélicoptères, placées dans AVIC, sont situées à Harbin (Mandchourie) et Jingdezhen (Jiangxi). Mais en 2009 AVIC a créé Avicopter, basé à Tianjin, qui coiffe les activités hélicoptères de ses centres. Ceux-ci deviennent peu à peu des centres de compétences spécialisés. Les chaînes d'assemblage final des hélicoptères civils devraient être implantées progressivement à Tianjin.

Le secteur avions d'affaires et aviation générale est maintenant pris au sérieux par AVIC qui a créé deux filiales spécifiques, AAT (AVIC Aviation Techniques), dans l'aviation d'affaires en partant d'une coopération avec Cessna, et CAIGA (China Aviation Industry General Aircraft, implantée à Zhuhai).

Les drones, en général militaires et armés, ont souvent été étudiés au départ dans les grandes universités aéronautiques de Pékin, de Nankin ou de Xi'an. AVIC surtout à Chengdu et Guizhou) en développe et en produit un certain nombre ainsi que la CAST (China Aerospace and Science Technologie)

Les moteurs chinois (turboprops, turbo fans et propfans) civils ou militaires dérivent (ou sont copiés) de modèles d'origine soviétique. Les coopérations avec les motoristes occidentaux sont des achats de licence (souvent sans lendemain) ou des sous-traitances. La plupart

des activités sont régies par AVIC avec une filiale pour les moteurs civils et une pour les militaires. Ces moteurs, encore peu durants doivent être vérifiés très souvent, et ne soutiennent pas la comparaison avec les productions occidentales.

Consciente de l'importance croissante des équipements et systèmes dans l'aéronautique et de son grand retard dans ce domaine, la Chine a créé, en général au sein d'AVIC des filiales pour concevoir et produire dans ce secteur. Ces entités sont essentiellement les parties chinoises de « Joint Ventures », dont les créations sont de plus en plus exigées auprès des fournisseurs étrangers retenus sur les programmes chinois, ou porteurs de licences de production. Un appel du gouvernement à l'initiative privée a commencé, pour associer des investisseurs chinois de l'électronique au développement de l'industrie aéronautique.

II – LA SITUATION DES NOUVEAUX PROGRAMMES :

Dans le domaine civil, malgré la création de COMAC la maîtrise des programmes n'est pas encore acquise. L'ARJ21, bien que ne présentant pas d'innovations notables et doté de moteurs et d'équipements éprouvés, n'a reçu sa certification de type chinoise que fin 2014 soit 6 ans après son premier vol en novembre 2008 et 12 ans après son lancement en 2002.



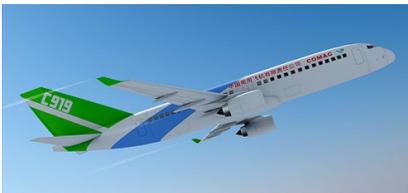
Le ARJ21 en vol

Ce retard est considérable [4]. Il est dû en grande partie à l'apprentissage de la coordination des bureaux d'études et centres d'essais, des usines sous-traitantes, des fournisseurs et aux difficultés de recrutement d'experts.

L'INDUSTRIE AÉRONAUTIQUE EN CHINE: APERÇU ET PERSPECTIVES

De plus une mauvaise évaluation initiale du processus de certification de type [5] à la fois par COMAC et la CAAC, qui auparavant n'avait certifié que l'Y12 (avion beaucoup moins complexe) et des hélicoptères, le plus souvent dérivés de modèles étrangers. Il faut considérer que l'ARJ21 a été un exercice de rodage à la fois pour le constructeur et le certificateur chinois.

Le programme C919, devrait profiter des enseignements tirés de l'ARJ21, mais plus ambitieux car muni de moteurs et de systèmes nouveaux, il représente encore un gros défi à surmonter. Sa pénétration sur le marché extérieur à la Chine et à quelques pays ne sera envisageable que si d'abord, auront été prouvés, sur le marché intérieur, le produit et son support par le constructeur.



Le C919 (vue d'artiste)

Dans le domaine militaire, une amélioration des avions de combats semble obtenue avec le J10 (proche du F16 américain), qui n'est pas une copie d'un avion russe.

Les programmes d'avions furtifs J20 et J31 montrent par ailleurs que les chinois lancent maintenant des prototypes plus différenciés de leurs modèles étrangers que l'étaient leurs prédécesseurs.

Le gros transport Y20, lui aussi, n'est pas un clone de l'Iliouchine 76. Mais, équipé provisoirement des mêmes moteurs russes il aura à trouver des réacteurs plus adaptés.



Le J31 à Zhuhai 2014



L'Y20 en vol d'essai

En effet tous les appareils militaires nouveaux utilisent encore des moteurs russes, or les moteurs chinois prévus ne sont pas encore disponibles et leurs qualités ne peuvent être appréciées.

Les programmes d'hélicoptères ont eux aussi pris du retard [6] par rapport aux objectifs. Mais la très forte prise en compte des besoins chinois militaires et pour la sécurité civile devrait avoir un effet positif sur ce secteur.

Il faut remarquer que les transferts de technologie très recherchés par les chinois ont été freinés par l'embargo occidental sur les matériels militaires, décrété après les événements de Tien An Men de 1989. Mais le caractère dual civils militaire dans de nombreux secteurs a néanmoins facilité certains transferts tolérés ou non.

Notons enfin que les actions de communication ont beaucoup progressé en Chine depuis quelques années (le dernier salon de Zhuhai a été beaucoup plus riche que les précédents en la matière). Elles servent bien sûr à montrer à l'opinion publique chinoise que le pays devient aussi un « grand dans l'aéronautique », mais fournissent aussi aux observateurs extérieurs des informations plus nombreuses qu'auparavant.

III – PERSPECTIVES :

Les points faibles de l'industrie aéronautique chinoise sont très probablement bien identifiés par le gouvernement, et les progrès nets mais encore lents devraient s'accélérer dans les prochaines années.

Le pilotage des développements et des productions d'appareils nouveaux mettant en œuvre des organisations complexes de fournisseurs et des relations suivies avec clients et certificateurs sera amélioré avec les expériences acquises.

L'avance américaine et européenne sera encore durable dans le domaine des moteurs, équipements et systèmes.

L'observation du déroulement du programme C919, ainsi que des programmes militaires J20, J31 et Y20 sera riche d'enseignement à ce sujet.

Les ressources financières de la Chine lui permettent de racheter ou de prendre le contrôle d'entreprises occidentales en difficulté ou mal protégées. AVIC a déjà commencé dans l'aviation générale (rachat aux USA de Cirrus et d'Epic) et de sociétés de fabrication d'éléments en composite.

La réponse à une question devenue traditionnelle, l'industrie aéronautique chinoise deviendra t'elle un concurrent majeur des USA et de l'Europe, est toujours oui, dire quand est encore très difficile. En tout état de cause la vigilance s'impose.

[1] La fabrication des parties de cellules de l'ARJ21 et du C919 ont été réparties dans plusieurs usines (Xi'an pour les voilures et les parties centrales de fuselage), (Shenyang et Chengdu pour des parties de fuselage), (Chengdu pour les dérives), mais les répartitions ne sont pas tout-à-fait identiques pour les deux programmes.

[2] Tous les constructeurs aéronautiques dans le monde affichent lors du lancement d'un nouveau programme des calendriers très tendus, pour attirer les clients de lancement et faire comme les concurrents. En général les retards notables ne dépassent pas deux à trois ans par rapport à ces objectifs.

[3] COMAC a trop tardé à présenter à la CAAC la situation de la définition avion, au lieu de travailler en parallèle avec elle. Ceci a conduit à revoir tardivement des points très importants de cette définition, (position des issues de secours, train d'atterrissage, etc.), et des reprises importantes, répercutées

sur des prototypes fabriqués, générant des essais supplémentaires et des retards considérables.

[4] Le Z15 par exemple, qui a été développé conjointement avec sa version européenne EC175, (dont la livraison intervenue fin 2014, soit près de 2 ans après les objectifs initiaux), ne sera probablement pas livré avant 2017

[5] Ces sous-traitances de compensation n'ont été rentables au plan strictement financier qu'après plusieurs années en raison de la lente amélioration de la qualité des fabrications chinoises, du coût de la gestion

(nécessité de détacher des expatriés) et du transport.

[6] Les actionnaires de COMAC sont la SASAC (State-owned Assets Supervision & Administration Commission qui dépend directement du gouvernement) à 31,58%, AVIC à 26,32%, la municipalité de Shanghai à 26,32% et divers groupes industriels.

JEAN-PAUL PERRAIS

[VOIR LA VERSION EN LIGNE](#)

EVOLUER DANS UN MILIEU INTERNATIONAL : ÉCHANGES ET VEILLE MULTILINGUE



Le Tigre, symbole de l'importance grandissante de la coopération européenne dans les programmes aérospatiaux.

De nombreux observateurs s'accordent à dire que la France manque de sociétés exportatrices. Les quelques poids lourds du secteur aérospatial et de la défense, qui ont en majorité une dimension européenne ou mondiale, ne doivent pas occulter une chaîne de valeur pour laquelle l'internationalisation est un véritable défi. Pour délivrer toute sa valeur ajoutée, l'internationalisation

ne doit pas se résumer à une collection d'accords ou d'actifs internationaux. Bien plus complexe, elle implique une véritable culture d'échanges avec l'étranger qui ne se réduit pas à l'emploi de l'anglais ou à des négociations aux étages hiérarchiques supérieurs. Ce défi important pour de nombreux acteurs du secteur, de la PME au grand groupe, est à la hauteur de l'enjeu : se maintenir sur

un marché de plus en plus ouvert. Comprendre les développements techniques des uns, les orientations stratégiques des autres, c'est avant tout apprendre des autres pour se questionner sur soi-même. Cet apprentissage peut être le fruit d'échanges internationaux ou celui d'une veille multilingue.

LES ÉCHANGES INTERNATIONAUX

On a tendance à penser que la connaissance de l'anglais répond à cette problématique et ouvre à elle seule la porte à l'international. Si cette langue internationale de facto autorise l'échange, celui-ci reste trop souvent partiel et de qualité bien inférieure à un échange similaire dans la langue maternelle des interlocuteurs. Même dans de grandes entreprises internationales du secteur avec une forte implantation en Europe continentale, l'anglais – langue officielle – n'est souvent utilisé que comme langue d'interface. Aussi n'est-il pas rare que suite à un échange circonstancié en français de messages, un dernier

ÉVOLUER DANS UN MILIEU INTERNATIONAL : ÉCHANGES ET VEILLE MULTILINGUE

message approximatif et peu détaillé en anglais soit envoyé au correspondant étranger. Non seulement cette pratique courante nuit indéniablement à l'image des acteurs français à l'étranger mais elle pose ouvertement la question de l'efficacité d'une coopération réduite à un simple rôle d'interface. La langue reste aujourd'hui trop souvent un frein quotidien aux synergies qui pourraient résulter d'un véritable échange multiculturel. Lorsque la majorité des acteurs partage la même langue maternelle – ce qui est relativement fréquent, il peut être pertinent d'adopter cette langue pour l'échange après s'être bien entendu assuré de la maîtrise de ladite langue par les autres acteurs.

L'expérience montre alors une plus grande précision et efficacité de la collaboration que lorsque tous les acteurs sont contraints à s'exprimer dans une langue universelle, qui leur est souvent étrangère. Cette forme de collaboration se heurte toutefois au fait que la maîtrise des langues étrangères autres que l'anglais est souvent restreinte. La culture française est relativement peu exigeante vis-à-vis des langues étrangères. S'il est bien entendu impossible de maîtriser l'ensemble des langues des acteurs d'un domaine, la traduction professionnelle de documents ciblés peut largement faciliter les échanges, qu'il s'agisse de sa propre documentation ou celle d'autres acteurs. Aller au-delà des communications officielles en anglais permet d'accroître l'intérêt de ses interlocuteurs et de recueillir de précieuses informations.

LA VEILLE MULTILINGUE

La maîtrise des langues étrangères, a fortiori autres que l'anglais, devient d'autant plus capitale lorsque l'échange fait place au recueil et à l'analyse de documents. C'est d'autant plus vrai pour les informations qu'un acteur (entreprise,

agence d'état, association) ne souhaite pas nécessairement publier. Néanmoins un faisceau d'éléments peuvent les suggérer à qui lit attentivement dans la langue d'origine des documents sur ledit acteur. Ce travail exige beaucoup de temps, la revue de très nombreux documents et surtout la capacité à cibler l'information. La multiplication récente des informations disponibles (une étude publiée mi-2011 prévoyait que le volume d'informations d'internet allait plus que doubler tous les deux ans... Pour la seule année 2011 l'étude estimait que 1800 milliards de gigaoctets de données seraient générées ou copiées – les visionner demanderait 47 millions d'années à une personne ! [1]) constitue tant une opportunité qu'un véritable défi. Si le nombre de sources potentielles accessibles à tous explose, leur traitement et l'évaluation de leur fiabilité se complexifient.

Ces dernières années, il a souvent été fait référence au « Big Data », certains y voyant une révolution, y compris pour l'intelligence économique. Ce qui n'est autre que le traitement massif de données, y compris hétérogènes, est indéniablement un atout pour certains aspects de la veille. Néanmoins, cette exploitation automatisée et massive de données ne pose pas que des problèmes de mise en œuvre technique : l'analyse pertinente des résultats peut s'avérer très complexe, surtout quand la fiabilité des sources est inconnue et l'information source non structurée. Or, dans de nombreux cas, la veille ne repose pas sur des informations structurées mais sur une analyse manuelle et ciblée d'un analyste du secteur recherchant des informations qui peuvent revêtir des formes très diverses.

Les détails peuvent s'avérer primordiaux, en particulier pour la veille technologique. Les mots utilisés ayant toute leur signification, il est alors capital de

travailler dans la langue du texte. La veille multilingue consiste donc à rechercher, collecter et analyser dans les langues sources des informations ciblées avant d'établir un résumé des informations pertinentes dans la langue souhaitée. Cela nécessite une expérience technique internationale et multilingue dans le secteur aérospatial.

La veille multilingue permet aux entreprises évoluant dans un environnement international d'obtenir des informations ciblées par le biais d'analyses de sources publiées dans différentes langues. Elle ouvre de nouvelles opportunités, les sources étant à la fois plus nombreuses et plus diverses ; après traitement et de multiples analyses comparatives, l'information extraite est souvent plus pertinente et étoffée.

Certaines grandes entreprises disposent depuis de nombreuses années de départements dédiés à l'intelligence économique. Le volume d'informations à traiter peut néanmoins s'avérer colossal. De plus, l'information non anglophone ou non francophone ne reçoit pas toujours le degré d'attention nécessaire.

La traduction automatique ne saurait à cet égard qu'être très partiellement palliative. En outre, particulièrement dans les grandes entreprises aux structures complexes, l'information traitée n'est pas toujours accessible ou connue des personnes qui sauraient l'exploiter au mieux. Ce véritable défi dépasse le cadre de l'intelligence économique mais il montre à quel point il est difficile de mettre en place une véritable culture d'intelligence économique au sein d'une organisation.

Même incomplète la veille a une valeur ajoutée indéniable, a fortiori pour les PME, qui sont elles-mêmes plus vulnérables vis-à-vis de la concurrence. Constituer un département veille ou plus

simplement un poste dédié à cette activité est pourtant très souvent impossible pour beaucoup d'entreprises. Coût trop important pour des besoins souvent ponctuels et difficultés de recrutement, a fortiori pour la veille multilingue dans un domaine d'activité précis sont autant d'obstacles. Pour répondre à ce besoin et permettre ainsi aux PME de tirer au mieux profit de leurs capacités d'innovation et de réactivité, des sociétés dédiées proposent des services de veille multilingue sur mesure, spécialisés dans le secteur aérospatial et de la défense.

Avec l'Allemagne et le Royaume-Uni, la France joue un rôle moteur dans l'Europe aérospatiale. Ses sociétés et laboratoires disposent d'indéniables atouts. Tout aussi décisive est aujourd'hui la capacité à travailler efficacement et très régulièrement à tous les échelons avec des partenaires étrangers. Elle le sera de plus en plus sur un marché – notamment dans le secteur de la Défense – qui tend à se rationaliser et dans un environnement européen de plus en plus marqué. Cette transition vers l'international, parfois plus vécue comme une contrainte que comme une opportunité, impose une culture d'ouverture et de prospection en dehors des frontières. Prometteuse pour les organismes sachant en tirer profit, elle constituera sans aucun doute un enjeu majeur des prochaines années.

[1] Etude de la société d'études de marché International Data Corporation (IDC) commanditée par la société EMC – 28 juin 2011 <http://france.emc.com/about/news/press/2011/20110628-01.htm>

AURÉLIEN RIGOLLET

Fondateur d'AeroTranslation.com

VOIR LA VERSION EN LIGNE



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

9 JUIN

MISSILE DEFENCE 2015

Barcelone, Espagne

Du mardi 9 juin au vendredi 12 juin 2015

10 JUIN

COPERNICUS: L'EUROPE LANCE SA RÉVOLUTION AU SERVICE DE LA PLANÈTE

Toulouse

Mercredi 10 juin

15 JUIN

SALON DU BOURGET 2015

Le Bourget

Du lundi 15 juin au dimanche 21 juin



51 th INTERNATIONAL PARIS AIR SHOW LE BOURGET JUNE 15 - 21, 2015	51 ^e SALON INTERNATIONAL DE L'AÉRONAUTIQUE ET DE L'ESPACE PARIS LE BOURGET 15 - 21 JUIN 2015
--	--

Retrouvez tous nos articles
sur le site WWW.3AF.FR