

CONFÉRENCES DU SECOND SEMESTRE 2023

Qualification du système d'éjection du Rafale

Par Jacques Lacheny, le 19 septembre 2023

Le système d'éjection d'un avion d'arme implique un fonctionnement sûr. La qualification du Rafale est réalisée avec des moyens hors du commun, avec une montée en puissance progressive pour lever les risques jusqu'aux essais finaux, les plus proches des conditions réelles d'emploi.



Crédit Dassault Aviation

Fret aérien, passé, présent et avenir

Par Pascal Morvan, le 14 novembre 2023

Le fret aérien est une activité essentielle à l'économie mondiale et son évolution reflète les grandes évolutions et crises du monde. La crise du Covid a souligné son importance, généré des marges inégalées mais un immense défi se dessine à l'horizon, celui d'une logistique « neutre en émissions en 2050 ».

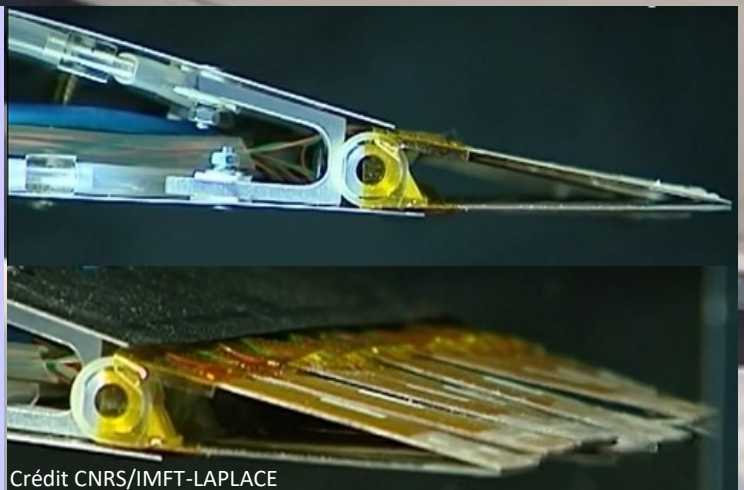


Credit Jacqueline Macou de Pixabay

Nouveaux designs pour les ailes d'un futur bio-inspirées

Par Marianna Braza, le 7 décembre 2023

Les ailes des avions utilisent des surfaces rigides telles que des volets et des ailerons pour augmenter les performances aérodynamiques et la manœuvrabilité. À l'aide de la bio-inspiration, les ailes des avions sont reconsidérées à parties déformables et vibrantes pour améliorer les performances aérodynamiques, réduire le bruit et imaginer les ailes du futur.



Crédit CNRS/IMFT-LAPLACE

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Forum des Adhérents

La Gazette IdF est l'un des éléments fédérateurs du groupe Ile-de-France de la 3AF.

Pour que ce bulletin joue pleinement ce rôle, un échange convivial avec les adhérents est essentiel.

Le Forum des adhérents a pour but de **recueillir vos questions, vos informations et vos suggestions**, par courriel : 3af.idf@orange.fr.

Appel aux adhérents

Suite à l'enquête "Adhérents" proposée au premier semestre 2020, le groupe Ile-de-France et son Antenne Jeunes sollicitent leurs adhérents pour diversifier et élargir l'offre de **visites techniques**. Si vous avez des idées de visites, si vous connaissez des personnes qui pourraient proposer des visites, **n'hésitez pas à nous contacter à l'adresse email 3af.idf@orange.fr**.

N'hésitez pas également à proposer des articles, des sujets de conférences et pensez à l'intérêt de **rejoindre les commissions techniques** de la 3AF.

Association Aéronautique et Astronautique de France

6 rue Galilée 75016 Paris

Tél 01 56 64 12 30 - Fax 01 56 64 12 31

Email : gestionmembres@aaaf.asso.fr

www.3af.fr

Contact Groupe Ile-de-France

Site web : <http://www.3af.fr/groupe-regional/idf>

Email : 3af.idf@orange.fr

Tél 01 80 38 62 01 - Fax 01 80 38 62 69

SOMMAIRE

03 Éditorial : retour sur le salon du Bourget.

04 Résumés de conférences

- **L'hydrogène dans tous ses états**. L'hydrogène est un sujet d'actualité, toutefois, tant de bêtises sont prononcées à son propos qu'une mise au point est utile. Cinq chapitres y seront consacrés : l'élément Hydrogène, pour mieux connaître cette molécule, les gisements d'hydrogène, son obtention à partir de ces gisements, son utilisation et ensuite ?
- **Certification aéronautique, l'ingestion d'oiseaux**. La limitation de l'empreinte environnementale est l'enjeu prioritaire de l'Aéronautique. L'augmentation du taux de dilution, que ce soit au travers d'architectures carénées à grand taux de dilution ou non carénées (Open rotor, Unducted Single Fan), est l'un des leviers majeurs ...

13 Dossier : **prise de terrain par encadrement (PTE), mécanique appliquée à l'aviation légère**. Les protocoles et ordres de grandeur retenus pour la mise en œuvre des atterrissages forcés en campagne...

16 Laboratoire - Organisme : **un épisode sombre à l'IAT**. Entre le samedi 14 et le dimanche 15 octobre 2006, un incendie a pris dans l'une des trois souffleries historiques de l'institut...

18 Publications & Courriers des lecteurs

19 Rétro-Agenda

20 Agenda : conférences, séminaires.

Les Commissions Techniques 3AF (voir le site en cliquant [ICI](#))

- | | | |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Aérodynamique• Aviation Commerciale• Aviation Légère et Machines Dérivées• Drones• Énergétique• Essais• Hélicoptères et VTOL | <ul style="list-style-type: none">• Intelligence Stratégique et Prospective (CISP)• Matériaux• Missiles Tactiques• Propriété Intellectuelle• Propulsion (aéronautique et spatiale) | <ul style="list-style-type: none">• Phénomènes Aérospatiaux non identifiés (SIGMA2)• Stratégie et Affaires Internationales (CSAI)• Structures• Systèmes Optroniques• Transport Spatial |
|--|--|--|

"Tout processus de changement est toujours composé de trois grands moments : la fin du passé (refus de comprendre, résistance), la confusion ou le chaos (la décompensation puis la résignation) puis le renouveau (le réajustement puis l'intégration pro-active)." D'après Kurt Lewin, psychologue américain spécialisé dans la psychologie sociale, acteur majeur de l'école des relations humaines.

Adhésions et paiement des cotisations 3AF : n'oubliez pas de régler votre cotisation pour **2023**. Ce règlement est nécessaire pour voter aux assemblées générales et recevoir toutes les publications proposées par l'Association (La Lettre....). Pour connaître les modalités de paiement de la cotisation ainsi que les barèmes ou mettre à jour vos coordonnées, vous pouvez accéder à votre compte 3AF en ligne sur le site : <https://www.3af.fr/espace-prive/paiement>. Le règlement s'effectue par carte bancaire sur le site 3AF qui vous permettra d'éditer une facture.

RETOUR SUR LE SALON 2023

La 54ème édition du Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace organisée par le SIAE, filiale du GIFAS, Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales, s'est tenue du 19 au 25 juin 2023. Quatre jours étaient réservés aux professionnels et trois jours au grand public.

Les organisateurs annoncent 2500 exposants issus de 46 pays, 300 000 visiteurs dont 130 000 professionnels et 170 000 du grand public, 322 délégations officielles issues de 97 pays, 296 start-up de 21 pays pour 150 avions exposés et un volume de commandes qui dépasserait les 150 milliards de dollars [1], des chiffres qui ne seront connus précisément que d'ici quelques semaines. Deux milles commandes, dont plus de 800 comprenant des A320 et A321 NEO, A220, A320 et A350, auraient été comptabilisées pour la seule société Airbus qui conforte sa position de leader mondial des constructeurs d'aéronefs civils.

Cette édition 2023 aura confirmé la volonté du secteur aérien de s'engager dans la voie de la décarbonation. Aux côtés des deux grands groupes Airbus et Boeing, affichant l'un et l'autre la volonté de réduire les consommations horaires de leurs avions tout en développant les filières de carburants durables, plusieurs jeunes entreprises, telles Volocity, Volocopter, VoltAero, Aura Aéro ou Ascendance Flight Technologies, présentaient des solutions « décarbonées » de mobilités aériennes intra et interurbaines.

À ces commandes, à cette volonté et ces solutions imposées par l'urgence climatique, sont associés d'importants besoins de compétences et de personnels, des besoins qui n'ont pas échappé aux organisateurs qui proposaient une nouvelle version de l'Avion des Métiers. Un point de rencontre pour répondre aux aspirations d'une jeunesse passionnée d'aéronautique ainsi qu'aux besoins des filières aéronautique et spatiale. Des professionnels étaient ainsi présents pour faire

connaître leurs métiers mais aussi leurs contributions actuelles et futures à la transformation écologique et énergétique du secteur aérien. Dix-sept métiers étaient représentés par une quarantaine de professionnels. Des métiers de la recherche aux métiers d'ingénieurs/techniciens en électronique, propulsion et matériaux pour la conception aux indispensables métiers d'usieurs, d'ajusteurs, de soudeurs et de peintres pour la production sans oublier ceux de la maintenance. Tous étaient représentés par une quarantaine de lycées, de CFA, d'écoles et d'universités. L'Avion des Métiers proposait également un programme d'animations, des témoignages professionnels et des conférences.

Les commandes enregistrées lors de ce salon 2023 marquent le redressement du secteur de l'aérien depuis la crise de la Covid-19 et ouvre des perspectives rassurantes pour l'emploi et l'économie européenne. Des perspectives qui s'accompagnent d'une volonté affichée et partagée de réduire rapidement l'empreinte carbone de l'ensemble de la filière, de l'aviation commerciale [2] à l'aviation légère.

*Patrick Gilliéron
Président du groupe Ile-de-France*

Références :

- [1] <https://www.siae.fr/presentation-du-salon.htm>
- [2] <https://www.ecologie.gouv.fr/41e-assemblee-loaci-approbation-lobjectif-neutralite-carbone-dici-2050>



Par **Jean Delacarte**, ingénieur,
Ex-membre de la direction de la société Air Liquide,
titulaire de l'AAE et membre émérite de la 3AF.

En présentiel à la mairie du 15ème, le mardi 13 septembre 2022 de 18h30 à 20h00

L'hydrogène est un sujet d'actualité, toutefois, tant de bêtises sont prononcées à son propos qu'une mise au point est utile. Cinq chapitres y seront consacrés :

- l'élément Hydrogène, pour mieux connaître cette molécule ;
- les gisements d'hydrogène ;
- l'obtention de l'H₂ à partir de ces gisements ;
- l'utilisation de l'H₂ ;
- et ensuite ?

Les caractéristiques de l'hydrogène - L'hydrogène a des caractéristiques très particulières.

- L'hydrogène est insaisissable : pour en disposer, il faut l'enfermer, sous forme gazeuse ou liquide.
 - Sous forme gazeuse, à basse pression, on peut citer le Zeppelin, premier avion à hydrogène (peut être le dernier mais ...). À moyenne pression, on utilise des gazoducs. Linde ou Air Liquide ont de vastes réseaux qui relient les lieux de production aux clients. Pour les plus faibles besoins, l'hydrogène est livré dans des tubes posés sur camions à haute pression (350 à 700 bars).
 - Sous forme liquide, ce sont des camions qui transportent l'hydrogène liquide (LH₂). La particularité est que sa température est de 20°K, soit - 253°C.

Ainsi, pour livrer l'insaisissable hydrogène, il y a toute une palette de moyens :

- les tubes sous pression pour les faibles quantités ;
- les camions de LH₂ pour les quantités moyennes ;
- les gazoducs, quand c'est possible, pour les quantités supérieures ;
- la fabrication sur place prédomine à partir d'un certain volume.
- Sa température de liquéfaction est très basse (- 253°C) : à cette température, sauf l'hélium, tout est solide : azote, oxygène, méthane... Par

exemple, jeter une goutte d'azote liquide dans LH₂ va créer un cristal qui peut boucher une tuyauterie. Pire avec l'oxygène, le cristal produit une explosion. Ainsi, la purification des canalisations transportant du LH₂ est très difficile ; seuls, l'hélium (très cher) ou l'hydrogène gazeux sont utilisables.

- L'hydrogène a une explosivité très importante : avec l'air, elle va de 4% à 75%. Dès qu'il y a une légère fuite d'H₂, on entre dans le domaine d'explosivité, ce qui met en danger tout l'environnement.
- Sa molécule est furtive : sa petitesse la fait passer partout. Il est très aléatoire de croire à l'étanchéité parfaite d'une vanne, d'un raccord souple ...

Ces deux dernières caractéristiques amènent les installations utilisant des quantités importantes d'H₂ à être classées « Seveso » avec tous les problèmes réglementaires qui s'en suivent. Par exemple, quand on charge des réservoirs d'Ariane 5, tout le monde évacue le pas de tir.

Considérons maintenant comment sa molécule se positionne dans le tableau de Mendeleïev, (Fig 1). Où placer les gaz rares dont la valence est nulle ? Il semble logique de les mettre à côté de la valence 1 (Fluor et Chlore), voici le Néon et l'Argon. Mais où mettre l'Hélium ? Il n'y a plus de ligne ! Plaçons-le au-dessus du Néon puisque c'est un gaz rare ; mais à quelle hauteur ? Puisqu'il n'y a plus de ligne. Et l'Hydrogène ? Remarquons qu'il y a H₂O mais aussi Li₂O, Na₂O, K₂O. Donc on doit le placer au-dessus du Lithium mais on ne sait pas à quelle hauteur.

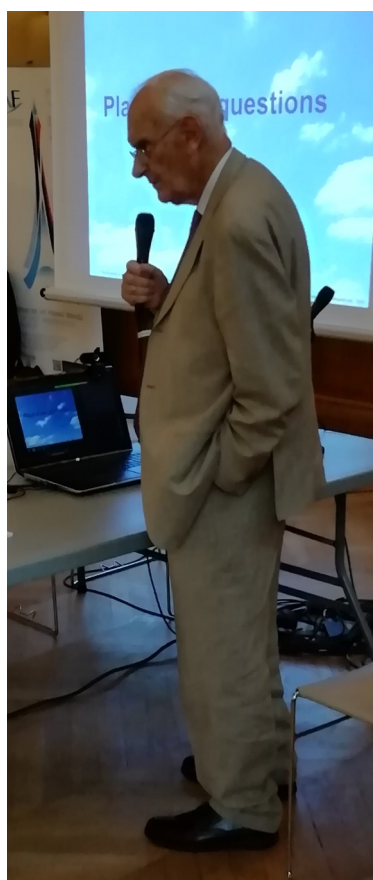
Ce tableau fait apparaître deux phénomènes non détectés par Mendeleïev.

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|---|---|----|----|
| H | | | | | | | He |
| Li | Be | B | C | N | O | F | Ne |
| Na | Mg | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| K | | | | | | | |

Fig. 1 - Extrait du tableau des éléments de Mendeleïev.



L'hydrogène dans tous ses états



Jean Delacarte, conférence du mardi 13 septembre 2022, Paris, mairie du 15ème, salle des fêtes.

D'abord si l'on rejoint H_2 et He, cela représente la réaction primitive de l'univers ; c'est celle des étoiles comme le Soleil ! Le passage de l'un à l'autre en traversant toute la ligne produit une énergie très importante qui est celle que l'on recherche à capter dans le projet international ITER.

Ensuite, sachant que K, Na et Li sont des métaux, cela montre que H_2 l'est aussi. Cela corrobore parfaitement un article d'astronomes français étudiant le centre de Jupiter où il y a beaucoup d'hydrogène. Ils s'étonnent sur le fait que l'hydrogène se comporte comme un métal : c'est le « comme » qui est de trop !

Les gisements d'hydrogène - Le premier gisement et le plus utilisé est celui des hydrocarbures, molécules associant comme leur nom l'indique de l'hydrogène H_2 et du carbone C. La figure 2 présente les principaux hydrocarbures listés selon le pourcentage décroissant d'hydrogène ; le plus hydrogéné est le gaz naturel ou méthane. Ce classement est complété, en première colonne, par ordre croissant de carbone.

| | | |
|---------------|--------|-------------------|
| $HC_{0.25}$ | CH_4 | Méthane |
| $HC_{0.33}$ | CH_3 | Éthane |
| $HC_{0.50}$ | CH_2 | Polyéthylène |
| $HC_{1.00}$ | CH_1 | Benzène/Acétylène |
| HC_{∞} | CH_0 | Carbone |

Fig. 2 - Plus H est grand et moins de CO_2 sera produit, ex. Gasoil versus essence.

Rappelons que la combustion d'un hydrocarbure induit deux effets : plus le taux d'hydrogène est élevé, plus l'énergie dégagée est grande, l'hydrogène étant plus énergétique que le carbone ; par ailleurs, le CO_2 émis est plus faible. Ainsi, en allant vers le méthane, on consomme moins et on produit moins de CO_2 ; il y a donc un double avantage. Le meilleur exemple est la comparaison entre le fuel et l'essence : pour un même parcours, on produit entre 15 et 20% de CO_2 en moins avec le fuel. C'est pourquoi la position radicale de certains écologistes est déroutante.

La présence de particules fines justifie peut-être qu'un médecin préfère l'essence ; c'est un problème de priorité entre l'écologie et la médecine. Dans ce cas particulier, l'écologie s'est effacée devant la médecine ; ceci est du reste un exemple

de l'opposition entre l'intérêt de la planète et celui des hommes qui la polluent depuis 200 ans.

Pour conclure, on constate que le méthane (gaz naturel à 98%) possède un avantage énorme (très énergétique et peu producteur de CO_2) par rapport à tous les autres hydrocarbures, le pétrole étant un C_{2+} (entre C_2 et C_3).

Qu'elle est l'importance de ce gisement ? Les estimations des meilleurs spécialistes sont :

- pétrole : 40 ans de consommation ;
- gaz naturel (CH_4) : 120 à 200 ans ;
- charbon : 400 ans.

Ces estimations sont assez rassurantes. Toutefois, elles laissent perplexes : il y a 70 ans, les prévisions des meilleurs spécialistes étaient les mêmes ! Pouvons-nous rêver que dans 70 ans, une nouvelle conférence sur l'hydrogène, présentera les meilleures estimations avec les mêmes chiffres ?

Le deuxième gisement est l'eau. Rappelons qu'un mètre cube d'eau contient 110 kg d'hydrogène, une piscine environ 11 tonnes ! Avec les océans, sans compter les nuages et l'eau douce, la ressource est illimitée.

Ayant fait le tour des ressources, nous pouvons passer à l'obtention de l'hydrogène à partir de ces gisements.

Obtention de l'hydrogène - L'hydrogène peut être obtenu selon trois voies : à partir de l'eau, des hydrocarbures et du méthane. Précisons ces options.

À partir de l'eau : la solution est l'électrolyse qui coupe H_2O en H_2 d'une part et O_2 d'autre part. Depuis 70 ans, il y a eu beaucoup de progrès ; le rendement est passé de 35% à 50-60% aujourd'hui.

Une remarque est importante au sujet de ce rendement (fig. 3). Dans la plupart des procédés industriels, on donne le rendement pendant la production sans tenir compte des stades de démarrage et d'arrêt pendant lesquels le rendement est mauvais ; ainsi, le rendement pratique est plus faible. C'est pourquoi les grandes productions sont réalisées en continu. Par exemple, une usine d'ammoniac fonctionne pendant 330 jours par an en s'arrêtant un mois pour entretien. Ceci est applicable à l'électrolyse : il faut viser un fonctionnement en continu. Mettre un électro-

L'hydrogène dans tous ses états

lyseur à côté d'une source aléatoire, telle que éolienne, est un non-sens. En revanche, la meilleure solution est de l'alimenter par une centrale hydraulique au fil de l'eau ou nucléaire dont la permanence est assurée.

Ainsi, si le rendement d'un électrolyseur est de 50 à 60% ou 70%, on doit se demander ce que deviennent les 30 ou 40% à 50% non utilisés. Aucune étude ne semble concerner ce sujet ; la question n'est même pas évoquée. C'est tout de même une quantité importante, presque égale à l'énergie de l'hydrogène produite !

En fait, cette énergie se transforme en chaleur dans une salle d'électrolyse. Ainsi, sa température doit être limitée en dessous de 35°C pour le personnel et la préservation du matériel. De grands ventilateurs assurent ce refroidissement en envoyant des quantités énormes de thermies dans l'atmosphère. Il est indispensable de faire une analyse fine du bilan énergétique de telles opérations pour conclure sur les avantages pour la planète.

Faut-il renoncer à l'électrolyse ? Pas du tout. Par contre, il faut obtenir un meilleur rendement, soit en améliorant l'électrolyseur, soit en récupérant utilement la chaleur émise (40 à 50%) : cette solution peut être très onéreuse mais efficace.

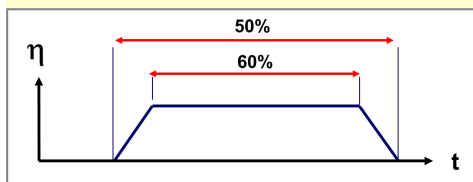
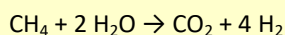


Fig. 3 - Rendements.

À partir des hydrocarbures, par voie chimique : bien entendu, le méthane (gaz naturel) est le plus intéressant puisque le plus hydrogéné. À l'origine, on utilisait le cracking avec de l'oxygène pour séparer le carbone de l'hydrogène. Maintenant, on fait du reforming en utilisant l'autre gisement : l'eau. Pour simplifier, c'est la réaction :



En fait, les réactions sont plus complexes, on y ajoute de l'air ou de l'oxygène et plein de molécules apparaissent, dont le CO. Mais celui-ci est facilement transformé en H₂ par la réaction de conversion : $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$; le rendement est excellent.

Cette production d'hydrogène se fait dans

d'énormes fours. Dans des centaines de tuyaux passe le mélange $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}$. Les brûleurs des fours utilisent du méthane. Les tuyaux sont chauffés au rouge sombre, température permettant l'optimum de la réaction.

À partir du méthane par pyrolyse : cela se passe à plus de 2000°C et demande beaucoup d'énergie : $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + \text{H}_4$

En fait, cette réaction très coûteuse ne sert pas à produire de l'hydrogène mais à fabriquer du noir de carbone pour les pneumatiques. On peut envisager de récupérer l'hydrogène pour d'autres usages que la chaleur, mais il est exclu d'en faire un moyen de production d'hydrogène.

Utilisation de l'hydrogène - Les utilisations de l'hydrogène sont multiples mais on peut les ranger dans deux grandes catégories. La première, à forte valeur ajoutée, est basée sur les particularités de sa molécule et la seconde, sur ses qualités énergétiques.

1. Pour sa molécule.

- La chimie est la plus importante utilisatrice, par exemple avec l'ammoniac, base des engrais azotés. Une usine actuelle produit 170 tonnes d'hydrogène par jour soit plus de 50 000 tonnes par an. Au début d'Ariane 5, l'hydrogène était prélevé sur la production d'une usine normande, pour l'envoyer par tuyau à une usine de liquéfaction proche. Enfin, les camions réservoirs, chargés sur un bateau, partaient à Kourou.
- Ensuite la métallurgie : ceci ne peut surprendre puisque l'hydrogène est un métal. En fait, beaucoup d'aciers spéciaux sont des alliages métal-hydrogène.
- La saturation d'insaturés : dans les pétroles, il y a un peu de tout et par exemple des produits insaturés. Souvent les pétroliers transforment ces produits en saturés en complétant leur formule avec de l'hydrogène.
- La réaction de **Fisher-Tropsch** : cette réaction, mise au point par deux chimistes allemands, permet l'hydrogénation du carbone pour en faire des carburants. Elle a eu des conséquences économiques et politiques considérables, citons deux exemples :
 - en 1940, les démocraties envisageaient une guerre courte car les Allemands n'avaient que peu de

L'hydrogène dans tous ses états

gisements de pétrole. Or ceux-ci n'ont jamais manqué d'hydrocarbures grâce à **Fisher-Tropsch** et aux importantes mines de charbon allemandes.

- De même pour l'Afrique du Sud : l'ONU avait décidé un embargo sur le pétrole pour faire cesser le régime d'Apartheid. Cela n'a eu aucun effet sur ce pays qui possède de grandes mines de charbon. Peut-être aurons-nous besoin de FT dans l'avenir ?

2. Pour son énergie

- Cette utilisation est certes moins valorisante, on se contente de le brûler : c'est le cas du moteur à hydrogène pour les voitures. Actuellement, les taxis fonctionnant à l'hydrogène dépensent à peu près le même prix que pour l'essence. Toutefois, cette dernière est taxée à 50% tandis que l'hydrogène ne l'est pas ... Ce qui veut dire que l'hydrogène est deux fois plus cher ! Les piles à combustible sont sans doute préférables. Enfin les lanceurs spatiaux, mais remarquez que certains s'orientent vers le GNL (Méthane Liquide) pour des raisons économiques.
- Un sujet controversé est celui de l'utilisation du LH₂ dans l'aéronautique. Des contrats importants ont été accordés par des pays européens (pas aux USA). Les difficultés sont nombreuses : réservoirs énormes, combustion, isolation des tuyauteries, ... Actuellement, la plupart des gens intéressés estiment que seuls les court-courriers pourraient utiliser l'hydrogène liquide. Et certains

pensent que ce type de vol est destiné à disparaître au profit du transport terrestre.

- Mais il y a un autre problème qui n'est guère abordé : celui de la sécurité au sol. Dès que des quantités importantes d'hydrogène sont utilisées, l'activité correspondante est justement classée Seveso. Peut-on imaginer Orly ou Charles de Gaulle classés Seveso : gestion des réservoirs, remplissage, vidange ou pas à l'arrivée, flash au moment du chargement, sans compter sur l'approvisionnement en LH₂ à organiser sur le site...
- En revanche, l'utilisation du méthane liquide (GNL) ne présenterait pas autant de difficultés. Le tableau des températures de liquéfaction (fig. 4) montre que l'Azote se liquéfie 20° en dessous du méthane, ce qui veut dire que le CH₄ peut être inerté par l'azote contrairement à l'hydrogène liquide. Les problèmes de sécurité sont très simplifiés, sans compter qu'on peut disposer du GNL partout dans le monde. En France, il y a déjà trois ports

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Eau | 100°C |
| CO ₂ | -40°C (neige) |
| Méthane | -160°C |
| Azote | -180°C |
| Hydrogène | -250°C |
| Hélium | -270°C |
| L'azote peut inertier : | |
| - le méthane liquide | |
| - pas l'hydrogène liquide | |

Fig. 4 - Températures de liquéfaction.



Conférence de Jean Delacarte,
mardi 13 septembre 2022, salle
des fêtes.

L'hydrogène dans tous ses états

Alors ? Pourquoi pas ?

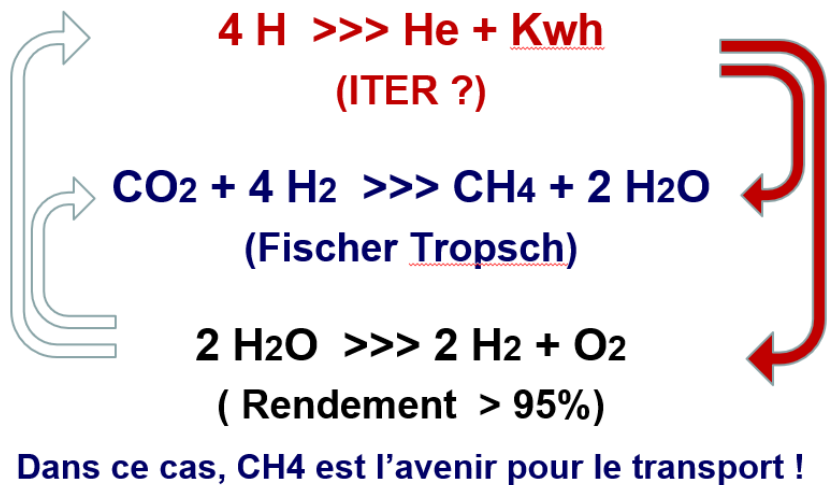


Fig. 5 - Réaction de Fischer Tropsch, fabrication du méthane à partir du dioxyde de carbone.

méthaniers où se déchargent les bateaux contenant plus de 40 000 tonnes de méthane liquide ! Certes, il y a des problèmes à résoudre mais la baisse de production de CO₂ par rapport aux carburants actuels serait déjà très importante.

Et ensuite ? On ne peut terminer sans penser à l'avenir : comment l'humanité pourra subvenir dans 100 ou 200 ans à ses besoins en énergie et en produits essentiels ? En se basant sur les utilisations de l'hydrogène pour sa molécule, on peut s'intéresser particulièrement à la réaction de FT (fig. 5). Elle consiste à fabriquer un hydrocarbure à partir d'un produit carboné. Jusqu'ici, on a pris du charbon et les réserves sont abondantes.

Mais si l'on parlait du CO₂ ?

$\text{CO}_2 + 4 \text{ H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$ soit l'inverse de

la réaction de reforming. Évidemment, cela va nécessiter une énorme énergie dont nous ne disposons pas... encore.

Mais beaucoup d'équipes travaillent sur une autre utilisation de l'hydrogène :

$4 \text{ H} \rightarrow \text{H}_e + \text{énergie}$.

Ce sont les programmes ITER et concurrents. On a de bons espoirs sur le succès de ces travaux. On pourrait alors disposer de quantités d'énergie considérables pour la réaction de FT imaginée ci-dessus.

On aurait alors besoin de quantités importantes d'Hydrogène qu'il faudrait obtenir à partir de l'eau, donc par électrolyse avec un rendement très amélioré.

On arrive alors à un rectangle vertueux que vous pouvez observer. Au centre de ce rectangle, que trouvons-nous ? : le méthane.

Notre rêve nécessitera cependant des travaux de recherche très importants :

- mise au point de l'énergie de fusion ;
- mise au point de la réaction de FT pour le CO₂ ;
- mise au point d'un électrolyseur à très haut rendement, ce qui devrait être la responsabilité des atomistes, des chimistes et des électriciens.

Jean Delacarte,
janvier 2023.



Conférence de Jean Delacarte, mardi 13 septembre 2022, salle des fêtes.

Certification aéronautique L'ingestion d'oiseaux

Par **Laurent Jablonski**, expert sénior mécanique et intégration de la division Compresseurs et Structures Froides / Safran Aircraft Engines

En visiophonie le mardi 13 décembre 2022 de 18h30 à 20h00



Vof US Airways 1549 ; crédit Dataero 15 février 2019 by Dylan Agbagni

riste. Les ingestions d'oiseaux sont très fréquentes, représentant 5 000 à 6 000 incidents par an dans le monde, dont 800 en France par an en moyenne. D'après la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), 15% d'entre eux sont jugés sérieux.

La conception d'une turbomachine performante nécessite de parfaitement appréhender le comportement des aubages lors d'une ingestion afin de garantir la sécurité de l'aéronef et de ses passagers, le tout en évitant un trop fort renforcement des aubes qui pourrait entraîner des pénalités en termes de performance et de masse. L'aspect sécurité des vols est majoritairement géré par les exigences réglementaires (CS-E 800 pour l'EASA) et se décline en 2 grandes catégories de démonstrations à réaliser :

- des tailles d'oiseaux pour lesquelles le motoriste doit garantir une poussée résiduelle ;
- des tailles d'oiseaux pour lesquelles le motoriste doit garantir l'absence d'effet « Hazardous », post ingestion.

Modélisations simplifiées (analytiques) - Avant d'aborder des méthodes numériques « haute-fidélité », il est intéressant de s'intéresser à des modèles simples, analytiques, qui permettent de mieux appréhender les phénomènes mis en jeu et qui peuvent se révéler très utiles lors des phases amont de conception d'une turbomachine. Dans ces modèles, l'oiseau est modélisé par un cylindre se faisant découper par une grille d'aubes en rotation et l'on détermine l'énergie d'impact de l'oiseau en fonction de la vitesse de l'avion et de la vitesse de rotation du moteur. Ce type de modèle permet :

- de calculer le nombre d'aubes impactées par l'oiseau, les énergies d'impact voire les efforts de contact sur l'aube ;
- d'identifier les conditions critiques de fonctionnement, par exemple les couples régimes de rotation / vitesses de l'oiseau (i.e. vitesse de l'avion) donnant les énergies d'impact maximales ;
- d'identifier les nombres d'aubes poten-

La limitation de l'empreinte environnementale est l'enjeu prioritaire de l'Aéronautique. L'augmentation du taux de dilution, que ce soit au travers d'architectures carénées à grand taux de dilution ou non carénées (Open rotor, Unducted Single Fan), est l'un des leviers majeurs permettant de réduire la consommation de combustible.

Pour que l'amélioration du rendement propulsif se traduise effectivement en réduction de la consommation, des solutions de pales légères doivent être recherchées. Ainsi, l'utilisation d'un composite à matrice organique tissée 3D pour les pales du moteur LEAP a permis un gain de masse important par rapport à une solution métallique, tout en préservant les performances aérodynamiques.

Mais l'évolution de la menace en matière d'ingestion de corps étrangers conduit les autorités à durcir la réglementation, ce qui peut annuler en partie les progrès réalisés dans le domaine des technologies de soufflante.

Dans ce contexte, les outils de simulation sont incontournables pour développer des pales qui soient au meilleur niveau mondial de performance tout en respectant, voire en anticipant, les exigences réglementaires relative à l'ingestion.

Enjeux liés à la maîtrise de l'ingestion - La maîtrise des phénomènes liés aux ingestions de corps étrangers, et en particulier d'oiseaux, est primordiale pour un moto-

3AF Les Conférences du Groupe Ile-de-France
LES MARCHÉS DE L'AÉRONAUTIQUE ET DU SPATIAL
RECHERCHE, CONCEPTION, FABRICATION, PROJETS, ETUDES, ESSAIS
Association Aéronautique et Astronautique de France

L'INGESTION D'OISEAUX
Par **Laurent JABLONSKI**, expert sénior mécanique et intégration de la division Compresseurs et Structures Froides / Safran Aircraft Engines

Une conférence en visiophonie organisée par le Groupe Ile-de-France de la 3AF en partenariat avec la Mairie du 15ème
MARDI 13 DÉCEMBRE 2022 de 18h30 à 20h

La réduction la consommation de carburant passe par l'augmentation du taux de dilution qui nécessite des travaux d'architectures carénées ou non carénées. Cette augmentation nécessite de mettre au point des solutions de pales légères capables de supporter l'ingestion de volatiles. Des outils de simulation ont ainsi été développés pour dimensionner les structures composites, anticiper leur comportement dynamique et réduire le nombre d'essais requis pour la certification.

INSCRIPTION OBLIGATOIRE sur le site 3AF
<https://www.3af.fr/agenda/reacteurs-et-ingestion-d-oiseaux-2226>

Les conférences du groupe 3AF Ile-de-France sont proposées en visiophonie via le service de téléconférence ZOOM ou en présentiel lorsque les conditions sanitaires ou de proximité du conférencier le permettent. Pour la visiophonie, il est recommandé de charger préalablement l'environnement ZOOM sur votre ordinateur en cliquant ICI.

Accès gratuit sur inscription, membres et non membres 3AF
Voir le site 3AF à l'adresse : <https://www.3af.fr/evenements-1001>

PROCHAINES CONFÉRENCES 3AF ILE-DE-FRANCE
Énergie nucléaire nucléaire et décollage vertical, par Bernard CÉLARI, en EUROCOPTER, mardi 14 février 2023, 18h30/20h
Mobilité aérienne futuristique, par David GILBERT, avions futuristiques, mardi 14 mars 2023, 18h30/20h

3AF - Association Aéronautique et Astronautique de France, 8 Rue Guilmé, 75116 Paris - Groupe 3AF Ile-de-France
Télé : www.3af.fr - http://www.3af.fr/ingestion

Certification aéronautique, l'ingestion d'oiseaux



Hélicoptère IAF UH 60 après un impact aviaire, U.S. military, Public domain, via Wikimedia Commons.

tiellement impactées ;

- au stade de l'avant-projet, de comparer différentes architectures.

Ce type de modèle permet également de comprendre que sur des nouvelles architectures de moteur non caréné, type open rotor ou USF, les conditions d'ingestion sont très différentes de celles d'un turbofan type CFM56 ou LEAP. Sur un turbofan classique, le grand nombre d'aubes et la vitesse de rotation élevée font que l'oiseau est découpé en de multiples tranches. Sur les moteurs à « hélices rapides », le faible nombre d'aubes et les vitesses périphériques plus faibles font que l'on peut avoir des impacts d'oiseaux sur la pale sans aucune prédécoupe initiale.

Une limitation, de ce type de modèles, est qu'ils ne permettent pas de prédire la déformation des aubages. D'autres effets, moins évidents, tel que l'effet de mas-

Péril Aviaire Crédit Andrew Caballero Reynolds AFP.



quage lié à la déformation transitoire des profils, ne peuvent pas être appréhendés par ce type de modèle.

Modélisations avancées, l'apport de la dynamique rapide - Un logiciel de dynamique rapide est un outil permettant d'effectuer des calculs de réponse dynamique transitoire comme des calculs de choc ou de crash.

Ce type de modèle permet d'appréhender la déformation locale des aubages, les couplages entre la déformée de ces derniers et le projectile.

1. Sur matériau métallique : la bonne prédiction des poches de déformée sur une aube nécessite la bonne connaissance de la loi de comportement du matériau. Il s'agit de relier la contrainte « σ » à la déformation « ϵ » durant toute sa plage de fonctionnement (parties élastique et plastique). Certains matériaux métalliques sont sensibles à la vitesse de déformation « ϵ » et celle-ci doit donc être prise en compte dans la loi de comportement.

Une calibration du modèle est nécessaire et se base sur le recalage d'essais partiels plus ou moins complexes qui peuvent aller du tir de projectiles calibrés sur plaque, à des tirs sur aubes statiques, voire des tirs tournants d'oiseaux en gélatine sur différents aubages.

L'estimation des tailles des poches permet ensuite les études d'impact sur l'aérodynamique de la soufflante (perte de débit, de marge au pompage et de rendement).

2. Sur composite et assemblage : comme pour les matériaux métalliques, la première approche possible pour un matériau composite est l'utilisation d'une loi élastique simple liant la contrainte à la déformation mais prenant en compte le caractère anisotrope du matériau. On peut ainsi être amené à effectuer un zonage sur la pièce, en fonction des ratios de fibre dans les sens chaîne et trame et du taux volumique de fibres, et affecter à chacune de ces zones des propriétés homogénéisées (i.e. pour la zone). Ce type de calcul s'analyse alors comme un calcul sur pièce métallique, c'est-à-dire en dépouillant les niveaux de déformation dans différentes directions et en les comparant à des critères établis lors de recalage sur des essais partiels.

Certification aéronautique, l'ingestion d'oiseaux

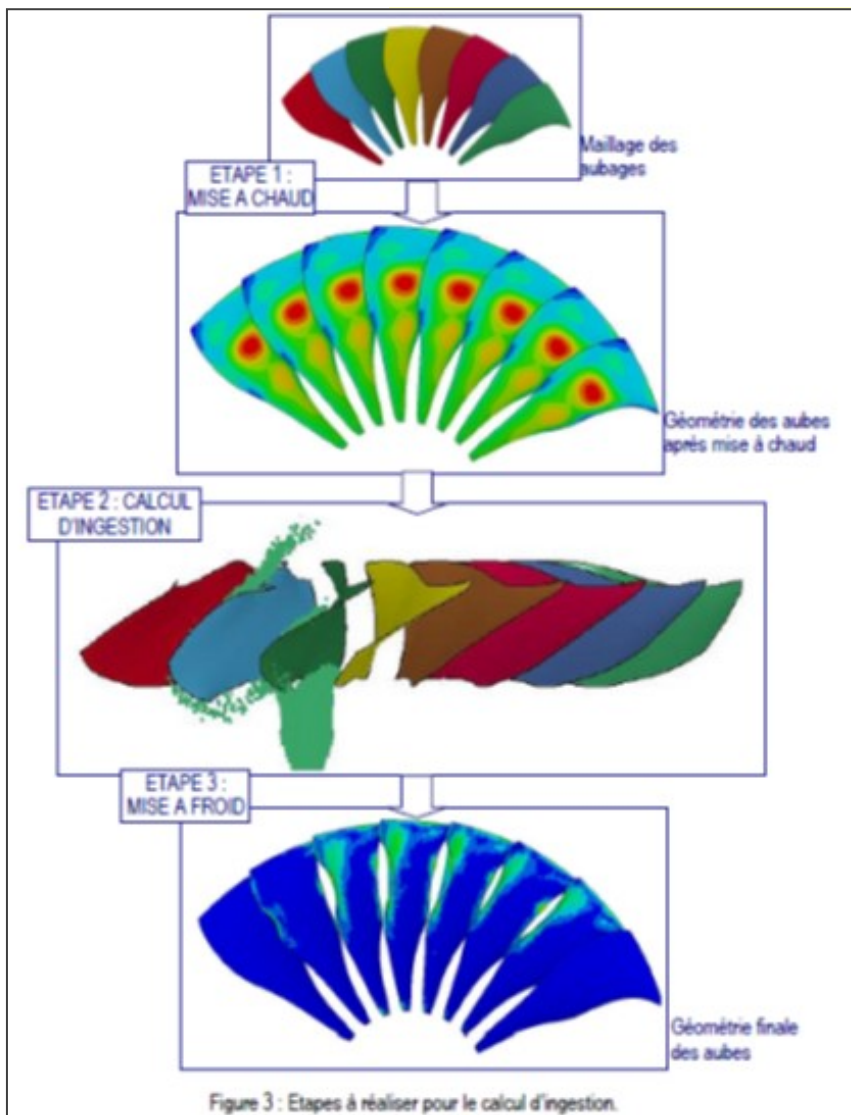


Illustration des étapes d'un calcul d'ingestion en dynamique rapide.

Des travaux relativement récents se sont intéressés à des lois de comportement pouvant prendre en compte un endommagement du matériau. Ce type de loi d'endommagement permet de modifier le comportement du matériau et de prédire les zones de rupture.

L'intérêt de ce type de modélisation est relativement évident :

- d'une part, il évite l'interprétation de résultats de calcul où l'on juge de la tenue ou non d'une pièce sur la taille d'une zone de déformation élastique à un instant donné ;
- d'autre part, le fait d'endommager le matériau dans le modèle permet de prendre en compte la modification de comportement de la pièce ainsi que la redistribution des contraintes au cours du temps.

Évolution réglementaire et enjeux - Comme évoqué précédemment, l'aspect

sécurité des vols est majoritairement géré par les exigences réglementaires (CS-E 800 pour l'EASA). Ces exigences réglementaires sont régulièrement revues afin de prendre en compte les événements récents rencontrés en exploitation.

Si l'on s'intéresse à la fréquence des impacts aviaires :

- le nombre d'impacts rapportés est passé de 1850 en 1990 à 16221 en 2018 (soit une augmentation par un facteur de 8.7) ;
- néanmoins on constate que depuis les années 2000, malgré une augmentation constante des impacts aviaires rapportés, le nombre d'impacts conduisant à des dommages sur aéronefs est resté stable.

Ces éléments peuvent expliquer pourquoi les catégories d'oiseaux (fonction de la section au col d'entrée du turbofan) n'ont pas évolué lors des derniers amendements des réglementations.

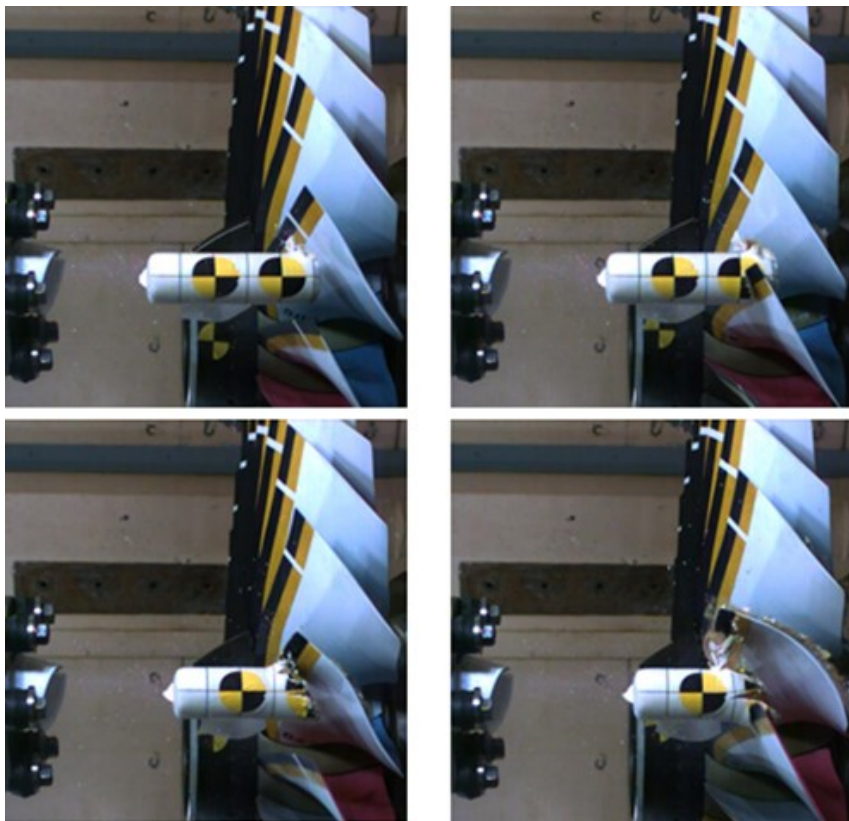
D'autres événements ont conduit à des évolutions nettement plus significatives des réglementations. Le dernier exemple en date est l'amendement 5 de la CS-E qui fait écho à l'incident survenu sur le vol US Airways 1549 (amerrissage dans l'Hudson suite à une ingestion dans le primaire).

Cet événement a montré que les cas d'une ingestion d'oiseaux dans les 2 moteurs et touchant le flux primaire (core engine) pourraient potentiellement conduire à une situation catastrophique. La réglementation en vigueur imposait bien lors de l'essai moteur d'ingestion de certification « volée de médium bird » que l'oiseau le plus lourd (2.5lbs) soit tiré au niveau du flux primaire. Par contre les conditions de fonctionnement du moteur (régime Fan) devaient être choisies de manière à maximiser la sévérité de l'ingestion sur les aubes Fan, ce qui en général ne maximise pas la quantité de matière entrant dans le primaire.

L'évolution de la réglementation, suite à cet événement, et qui est formalisée par l'amendement 5 de la CS-E 800, permet de couvrir ces cas.

La nouvelle exigence réglementaire requiert d'effectuer un essai d'ingestion avec un oiseau de la catégorie « médium bird », dans des conditions représentatives d'une phase de montée à pente minimale (donc pour des vitesses minimales

Certification aéronautique, l'ingestion d'oiseaux



Exemple d'essai partiel d'ingestion sur un Fan avec un projectile en gélatine.

Vue des ailettes d'un turboréacteur Pratt & Whitney JT8D après l'impact d'un oiseau, via [wikimedia commons](#).



de rotation du fan), et qui maximisent la masse entrant dans le primaire. La perte de poussée lors de cet essai ne doit pas excéder les 50% de la poussée décollage. Le respect de cette exigence nécessite donc d'appréhender la trajectoire de l'oiseau après son impact sur le Fan pour déterminer les conditions (essentiellement la hauteur d'impact) qui maximisent cette masse entrant dans le primaire.

D'autres éléments sont susceptibles de faire évoluer la réglementation dans les

années à venir : on peut citer par exemple la « menace » que pourraient constituer les drones et leurs ingestions dans un moteur. Des études sur la sévérité d'une telle ingestion sont en cours, que ce soit au niveau EASA et FAA. Les premières études ont conclu à une sévérité moyenne de l'ingestion de drone, i.e. ruptures d'aubes contenues.

Conclusion - Au final, la capacité de prédiction du comportement en ingestion des aubages repose en priorité sur :

- la connaissance et la modélisation du comportement des matériaux : anisotropie, loi d'endommagement, modes de ruptures, comportement des interfaces, etc... ;
- la connaissance de la trajectoire et de la forme du projectile, en particulier pour les ingestions dans le « core » engine.

La maîtrise des modélisations matériaux est donc une compétence clé du métier de concepteur de turbomachines.

Au niveau de la réglementation, nous avons vu que celle-ci était constamment revue pour prendre en compte les événements survenus en exploitation. Ceci se combine à l'évolution des architectures de système propulsif, source également de remise en cause de la réglementation de certification.

Laurent Jablonski,
Février 2023.

RÉFÉRENCES ANNEXES

Rapport de stage de fin d'études "Amélioration de la modélisation de l'aube fan composite en ingestion", Julie Masson, 27 septembre 2019.

UAS Airbone Collision Severity Evaluation—Engine Ingestion, Volume IV.

https://www.faa.gov/airports/airport_safety/wildlife/media/Wildlife-Strike-Report-1990-2018.pdf

Prise de terrain par Encadrement - PTE Mécanique appliquée à l'aviation légère

par Patrick Gilliéron, commission "Aviation Légère et Machines Dérivées",
membre Émérite de la 3AF

Les protocoles et ordres de grandeur retenus pour la mise en œuvre des atterrissages forcés en campagne, consécutifs à des pannes moteur, sont rarement abordés par voie analytique lors des parcours de formation initiale et de maintien des compétences. Les informations fournies dans la littérature peuvent ainsi paraître parfois insuffisantes. Cet article propose une analyse mathématique de la prise de terrain par encadrement pour en démontrer la pertinence et en extraire les informations principales.

Pour cette configuration [1-2], l'appareil évolue moteur réduit sur une trajectoire descendante et se place parallèlement à l'axe de piste ou à la plus grande longueur de la surface au sol dans le plan vertical qui contient la droite Δ_1 et le point A, figure 1. Le pilote visualise perpendiculairement et régulièrement l'axe de piste suivant les directions (O à O**, A à A**). Lorsque le pilote passe dans le plan d'angle λ par rapport au milieu de piste Δ , il oblique sa trajectoire vers l'axe de piste d'un angle β pour conserver son positionnement angulaire λ .

Détermination de l'angle λ - L'étape de base et la finale de la prise de terrain par encadrement, reposent sur un avant-dernier virage (point C) qui s'effectue lorsque le pilote aperçoit, vers l'arrière et sous 45 degrés, le point d'aboutissement

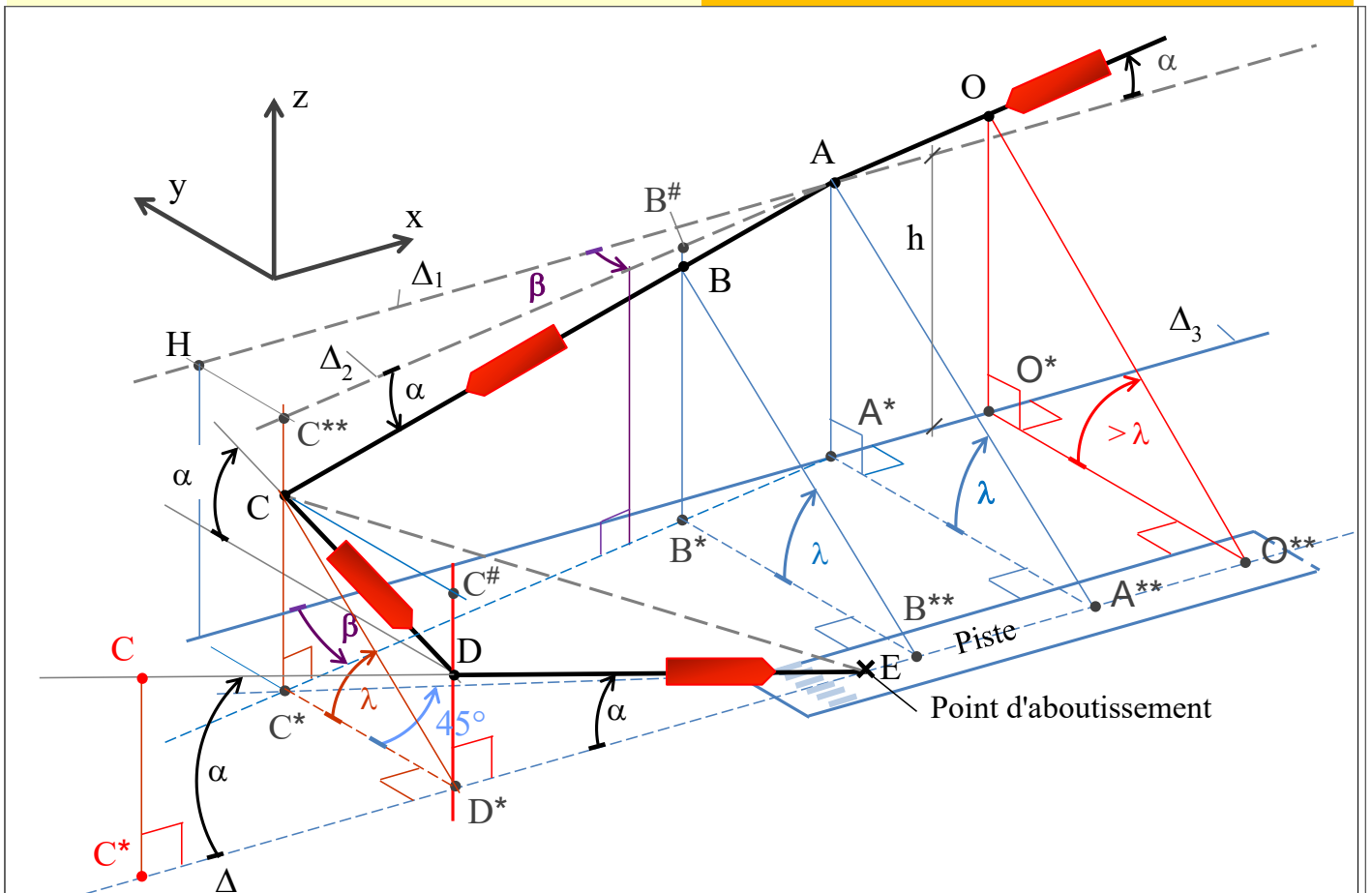
E (trois-quarts arrière). L'étape de base (trajet CD) s'effectuant alors perpendiculairement à l'axe de piste, le triangle C*D*E est isocèle car les angles adjacents à l'angle droit sont égaux ($45^\circ = 180^\circ - (45^\circ + 90^\circ)$) et les côtés C*D* et D*E, parcours de l'étape de base et de la finale projetés sur le plan de piste, sont égaux : figure 1.

Par suite, l'angle de plané α de l'avion restant le même quelle que soit la position sur la trajectoire, les longueurs CD et DE sont égales, l'altitude au point C est égale au double de l'altitude au point D, le triangle ECC* est rectangle en C* et l'angle λ est approximativement égal au double de l'angle α d'après le théorème de l'angle inscrit et de l'angle au centre (cercle virtuel de centre D* passant par les points E, C* et C).

Par suite : $\lambda \cong 2\alpha$ (1)

Fig. 1 - Cheminement pour un atterrissage par encadrement, main gauche.

Les points A, C** et H sont dans un même plan horizontal et les points C et C* de couleur rouge sont les points C et C* de couleur noire reportés par rotation autour de la verticale passant par D dans le plan vertical qui contient l'axe de piste de droite Δ . Les droites Δ_1 et Δ_3 sont parallèles à l'axe de piste et la trajectoire de vent arrière en amont du point A reste contenue dans un plan vertical à distance constante de l'axe de piste.



L'estimation visuelle en vol de cet angle λ nécessite d'identifier un repère physique sur l'aile gauche (resp. droite pour un atterrissage main droite) tel que l'angle fait par l'axe de visée (droite qui relie les yeux du pilote à ce repère) et le sol soit égal à la valeur de cet angle, figure 2. La solution consiste alors à estimer l'angle λ_{BF} fait par l'axe de visée qui passe par l'extrémité latérale gauche (resp. droite) de l'aile et le sol, figure 3. Cet angle, fonction de la taille du pilote et de la position longitudinale du siège, se détermine au sol par :

$$\lambda_{BF} = \tan^{-1} \frac{h_{BF}}{l_{BF}} \quad (2)$$

avec h_{BF} la distance verticale entre l'extrémité de l'aile et le sol, et l_{BF} la distance latérale horizontale entre l'extrémité de l'aile et l'intersection S entre le sol et l'axe de visée, figure 3. Cet angle peut être utile en vol pour estimer la position latérale de l'avion par rapport à un repère fixe connaissant la hauteur par rapport au sol (QFE).

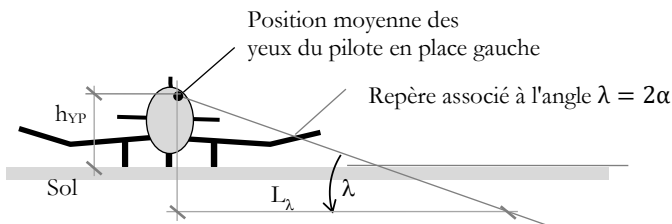


Fig. 2 - Positionnement de l'angle $\lambda=2\alpha$, avion vu de l'avant.

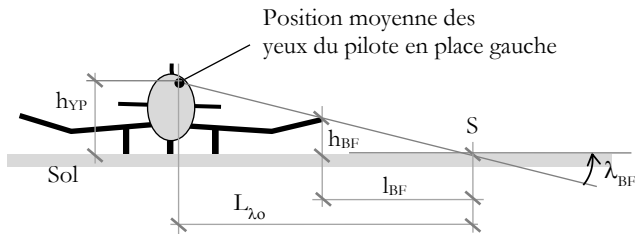


Fig. 3 - Estimation au sol de l'angle caractéristique l_{BF} , avion vu de l'avant.

Cet angle λ_{BF} étant déterminé, la mesure de la distance latérale entre la tête du pilote et le point S (figure 3) permet d'estimer la hauteur des yeux du pilote h_{YP} par rapport au sol puis de déterminer la longueur L_λ associée à l'angle $\lambda=2\alpha$ par la relation (figure 2) :

$$L_\lambda = \frac{h_{YP}}{\tan \lambda} \quad (3)$$

Cette longueur, matérialisée au sol, permet ensuite de positionner visuellement l'angle λ sur l'aile.

Détermination de l'angle β - L'angle β se détermine, en référence aux figures 4 et 5 obtenues, par projection des points B et C sur le plan horizontal, parallèle au plan de la piste, qui contient les points A et H, figure 1. Sa valeur se détermine à partir d'une vitesse verticale de chute et d'une vitesse de descente sur la trajectoire. Pour une vitesse de chute V_z , une vitesse en lisse sur la trajectoire moteur réduit V et une durée Δt permettant à l'avion d'évoluer du point A au point B

(figure 4), alors :

$$\sin \beta = \frac{\Delta y}{\Delta l} = \frac{\Delta y}{V \Delta t \cos \alpha} \quad (4)$$

$$\tan \lambda = \tan 2\alpha = \frac{\overline{A^*A} - \Delta z}{\overline{A^*A^{**}} - \Delta y} = \frac{\overline{A^*A} - V_z \Delta t}{\overline{A^*A^{**}} - \Delta y}$$

$$\Delta y = \frac{\overline{A^*A} - V_z \Delta t}{\tan 2\alpha}$$

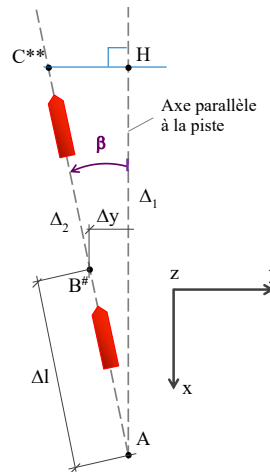


Fig. 4 - Vue de dessus, du haut vers le bas. Les points B^* et $B^\#$ sont ici superposés.

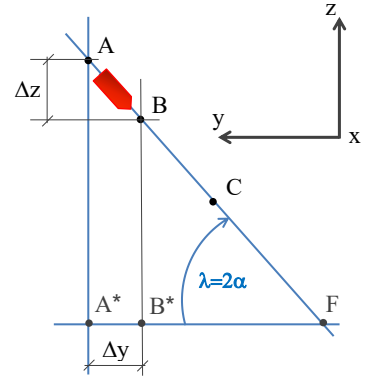


Fig. 5 - Vue suivant l'axe x, référence voir la figure 1.

Pour des valeurs $\overline{A^*A}$ et $\overline{A^*A^{**}}$, correspondant respectivement à la hauteur de vent arrière h et à la distance L_B de l'étape de base d'une prise de terrain en L classique, des vitesses sur la trajectoire et de descente respectivement notées V et V_z et une durée Δt , cette dernière relation introduite dans l'équation (4) permet d'estimer le sinus de l'angle β par la relation :

$$\sin \beta = \frac{L_B - \frac{h - V_z \Delta t}{\tan 2\alpha}}{V \Delta t \cos \alpha} = \frac{h}{\tan 2\alpha} \frac{1}{V \Delta t \cos \alpha} - \frac{h - V_z \Delta t}{\tan 2\alpha} \frac{1}{V \Delta t \cos \alpha} = \frac{\cos 2\alpha}{\sin 2\alpha} \frac{V_z}{V}$$

En remarquant que :

$$\frac{V_z}{V} = \sin \alpha$$

$$\text{Il vient :} \quad \sin \beta = \frac{\cos 2\alpha}{\sin 2\alpha} \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha}{2 \cos^2 \alpha}$$

L'angle de convergence β apparaît ainsi uniquement fonction de l'angle de plané α . Ce dernier angle restant faible, inférieur à 10 degrés (tableau 1), ses cosinus et sinus sont respectivement proches de 1 et de 0 et :

$$\sin \beta \approx \lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha}{2 \cos^2 \alpha} = \frac{1}{2} \quad \text{d'où :} \quad \beta \approx 30 \text{ degrés}$$

La finesse ε fixe l'angle de plané α , la hauteur h du début de convergence, la longueur L_B de l'étape de base et la vitesse verticale de chute V_z s'adapte à la vitesse V sur la trajectoire en fonction de la finesse, figure 6. L'angle de convergence β vers l'axe de piste, nécessaire pour atteindre sans vent le

| Finesse | Pente α (rd) | Pente α (°) | 2α (°) | V_z (m.s ⁻¹) | V_z (ft.min ⁻¹) |
|---------|---------------------|--------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|
| 8 | 0.124 | 7.1 | 14.3 | 4.5 | 882 |
| 10 | 0.100 | 5.7 | 11.4 | 3.6 | 707 |
| 12 | 0.083 | 4.8 | 9.5 | 3.0 | 590 |
| 14 | 0.071 | 4.1 | 8.2 | 2.6 | 506 |
| 16 | 0.062 | 3.6 | 7.2 | 2.3 | 443 |

Tableau 1 - Angles de plané α , angles 2α et vitesses verticales de descente V_z : $V=130$ km/h ou 70 kt.

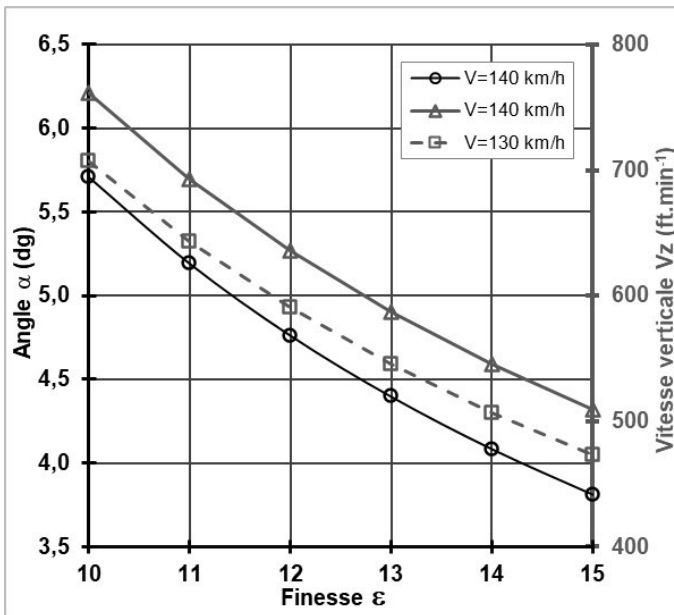


Fig. 6 - Évolutions de l'angle α (courbe noire) et de la vitesse verticale V_z (ordonnée de droite et courbes grises) en fonction de la finesse ϵ .

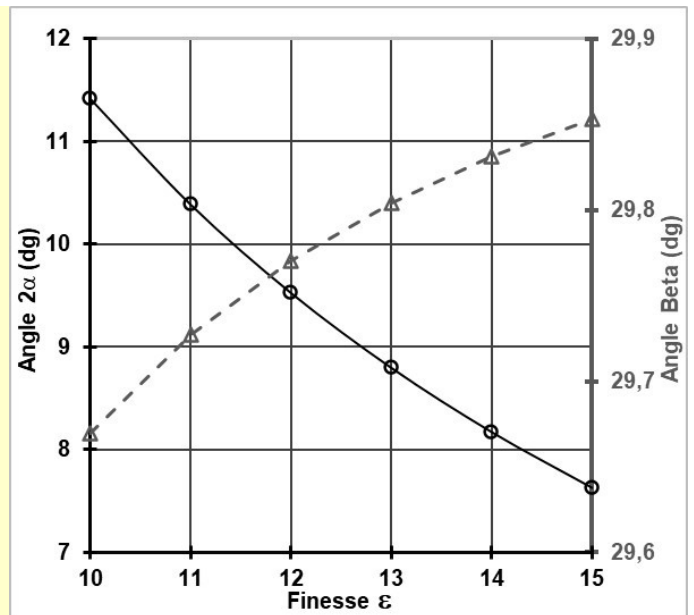


Fig. 7 - Évolutions des angles 2α (ordonné de gauche et courbe noire) et β (ordonnée de droite et courbe pointillée grise) en fonction de la finesse ϵ . $V=140$ km/h.

point d'aboutissement E, lorsque l'appareil passe dans le plan d'angle $\lambda=2\alpha$, augmente avec la finesse mais peut être considéré constant et égal à 30 degrés pour les finesesses de l'aviation légère à moteur, figure 7.

CONCLUSION - L'analyse de la prise de terrain par encadrement permet ainsi de déterminer l'angle $\lambda=2\alpha$ que fait le plan de visualisation avec le sol vu de l'avion sur la branche "vent arrière" puis l'angle de convergence $\beta=30$ degrés de fin de vent arrière, quelles que soient la finesse et la vitesse d'évolution des appareils de l'aviation légère à moteur.

RÉFÉRENCES

- [1] Gilliéron P. ; Prise de terrain PTE et PTU - Mécanique appliquée à l'aviation légère, février 2022, <https://hal.science/hal-03578309>
- [2] Manuel du pilote d'avion ; formation initiale et maintien des compétences, collectif, éditions Cépaduès, ISBN 978.2.36493.661.4, août 2018, 18ème édition.

NOMENCLATURE

h : hauteur / sol, en mètre (m).
 h_{BF} : hauteur extrémité de l'aile / sol, en mètre (m).
 h_{VP} : hauteur yeux pilote / sol, en mètre (m).

kt : pour knot en anglais, nœud, 1 kt = 1.852 km.h⁻¹.
 L_B : longueur de l'étape de base, en mètre (m).
 l_{BF} : distance entre le bord de fuite et le point S, (m).
 L_{λ_0} : distance latérale entre la tête du pilote et le point S, (m).
 L_λ : distance latérale entre la tête du pilote et un point sol pour $\lambda=2\alpha$, en mètre (m).
 l : longueur ou distance, en mètre (m).
 V : vitesse vraie, vitesse / à la masse d'air, en m.s⁻¹.
 V_z : vitesse verticale, vitesse de descente, en m.s⁻¹.
 α : angle de pente ou de plané, en degré (°) ou en (rd).
 β : angle de déviation de la trajectoire de vent arrière, en degré (°) ou en radian (rd).
 Δy : accroissement élémentaire sur y, en mètre (m).
 Δt : accroissement sur le temps, durée élémentaire, en seconde (s).
 ϵ : finesse, sans dimension.
 λ : angle de visualisation sur la branche de vent arrière, en degré (°) ou en radian (rd).
 λ_{BF} : angle axe de visée extrémité latérale gauche de l'aile / sol, en degré (°) ou en radian (rd).
 — : mesure algébrique.
 (x,y,z) : axes de référence.

Un épisode sombre à l'IAT

par Clodoald Robert,

directeur de l'Institut AéroTechnique (IAT-CNAM) et
membre de la commission technique Aérodynamique



Photo 1 - Grand hall, côté sud de l'Institut, crédit IAT.

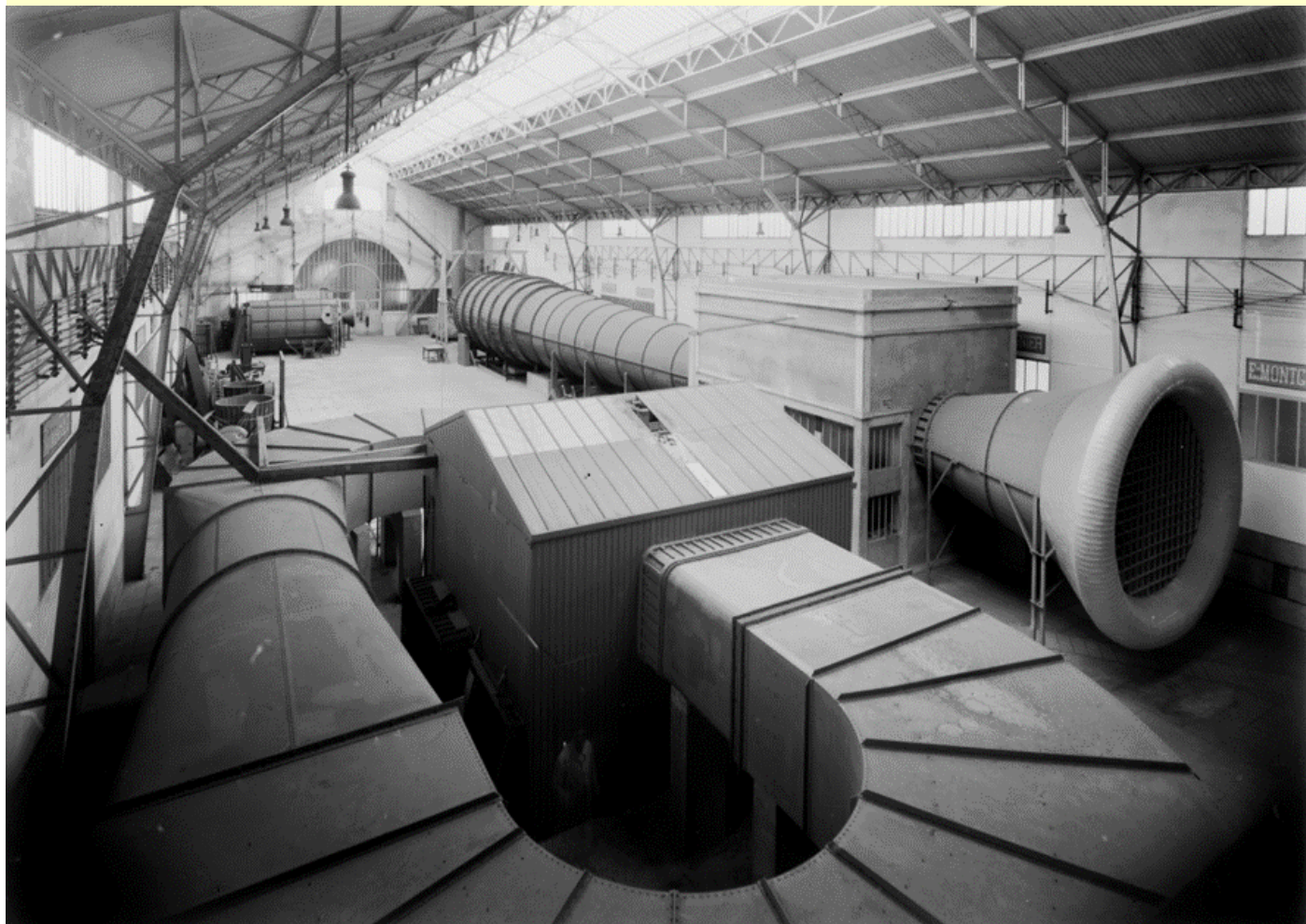
Entre le samedi 14 et le dimanche 15 octobre 2006, un incendie a pris dans l'une des trois souffleries historiques de l'institut, installées dans le grand hall de 4000 m² du bâtiment principal, photo 1. Un feu d'origine électrique a débuté dans la soufflerie à retour Lelarge, photos 2 et 3. Après s'être étendu, il a très sérieusement endommagé la charpente du grand hall et a détruit sa verrière sommitale. Un effectif imposant de près de 100 pompiers a été mobilisé pour éteindre l'incendie. Les absences d'alarme incendie et

de personnel sur le site n'ont pas permis d'intervenir rapidement. Beaucoup de matériels et de documents qui étaient dans le hall ont été perdus par les flammes ou l'eau.

Heureusement, le travail des pompiers a permis de circonscrire les dégâts au grand hall. Des installations et bâtiments attenants, seule la soufflerie S4 a été partiellement endommagée au niveau de sa chambre de tranquillisation et de son échangeur thermique. Les autres laboratoires et locaux de stockage, notamment ceux utilisés par Renault à l'époque pour préparer les véhicules et prototypes à tester, n'ont pas été touchés. Les deux autres souffleries, la soufflerie Eiffel S1 de 1918 et la soufflerie S2 de 1933 n'ont été finalement que très peu endommagées, malgré le diffuseur tout en bois de la première.

Après enquête, des travaux provisoires ont été engagés pour sécuriser la charpente et remplacer la verrière et les parties de la toiture détruites par des tôles. Les restes de la soufflerie Lelarge, les matériels détruits et les gravats ont été évacués. La partie électrique de la soufflerie S2 a été aussi refaite. Un passage couvert, en cas de chute de restes de verre de

Photo 2 - Photographie des années 20 montrant la soufflerie Lelarge au premier plan et la soufflerie S1 dans le grand hall de l'IAT. La soufflerie S2 y sera construite en 1933, crédit IAT.



L'IAT - De sa création à nos jours



Photo 3 - Restes de la soufflerie Lelarge, crédit IAT.

l'ancienne verrière, a été aménagé pour accéder à l'ancien laboratoire de turbo-machine.

Les travaux en sont depuis restés là, la couverture provisoire a maintenant plus de 16 ans. Les deux souffleries S1 & S2 (photo 4) ne sont évidemment plus utilisées et ne peuvent malheureusement pas non plus être visitées, ce qui est dommage car elles représentent un patrimoine unique, et sont très bien préservées. Le grand hall (photo 5) aurait donc un très beau potentiel pour un espace culturel technique où pourraient être présentés des objets, moyens techniques, maquettes d'essais, illustrant l'histoire de l'expérimentation et des mesures aérodynamiques, par exemple en collaboration avec les partenaires historiques de l'IAT dans tous les domaines (aéronautique, routier, ferroviaire...).

La conclusion de ce sinistre n'est heureusement pas si sombre pour l'IAT. En effet, ces souffleries n'étaient que très peu utilisées, principalement pour des programmes de recherche, et leur mise à l'arrêt n'a pas impacté vraiment les

activités de l'IAT. La création du GIE S2A, un an avant l'incendie, avait de toute façon pour vocation de reprendre et développer les essais aérodynamiques et acoustiques automobiles, jusqu'alors réalisés dans les souffleries S4 et S10 de l'IAT. Cette activité automobile disparaissant de ces souffleries, tous les essais aéronautiques, sportifs, ferroviaires, de génie civil trouvent maintenant leur place dans ces grandes installations.



Photo 5 - Charpente et verrière du grand hall après l'incendie, crédit IAT.

Lien* : <https://iat.cnam.fr/>

Video* : <https://www.dailymotion.com/video/xku1za>

Actualités* : en cliquant [ICI](#).

Adresse IAT : 15 rue Marat, 78210 Saint-Cyr-L'École

Tél : 01 30 45 00 09

* Accessible uniquement en version numérique.

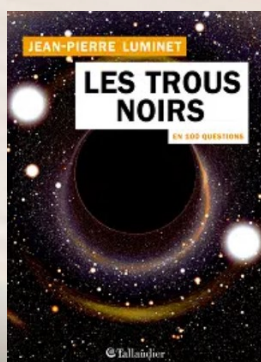


Photo 4 - Grand hall côté sud, vers la soufflerie S2.

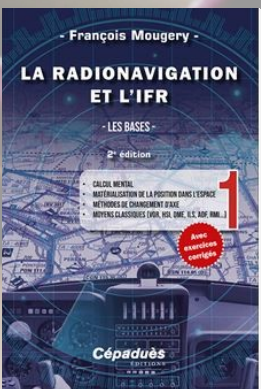
PUBLICATIONS COURRIERS



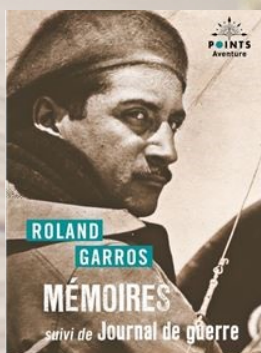
La Terre entre nos mains, par Thomas Pesquet, éditions Flammarion, ISBN : 978-2-0804-1413-7. L'astronaute Thomas Pesquet nous partage ses clichés spectaculaires, pris durant sa mission Alpha en 2021, faisant prendre conscience de la fragilité de la Terre et de la nécessité de la protéger.



Les trous noirs en 100 questions, par Jean-Pierre Luminet, éditions Tallandier, EAN 979-1-0210-3416-7. L'auteur, spécialiste des trous noirs et précurseur de ce champ d'étude, nous éclaire sur ces corps cosmiques si concentrés que leur champ gravitationnel attire lumière, matière etc...

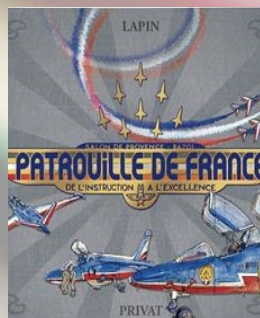


La Radionavigation et l'IFR, par François Mougery éditions Cépaduès, ISBN 978-2-3839-5004-2. Ce 2e tome d'une série sur la radionavigation permet de revisiter le calcul mental, la matérialisation de la position dans l'espace, les différentes méthodes de changement d'axe et les moyens classiques de radionavigation.

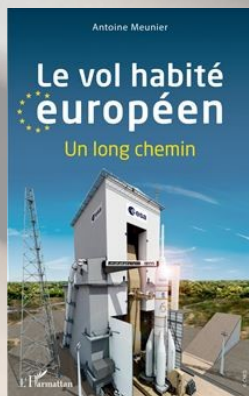


Mémoires : suivi de Journal de Guerre, par Roland Garros, éditeur Points Aventure, ISBN 979-1-0414-1158-0. Au travers de ses mémoires et de son Journal de Guerre, Roland Garros nous fait revivre les débuts de l'aviation. L'aviateur a réalisé nombre d'exploits, avant d'être tué en combat aérien en 1918.

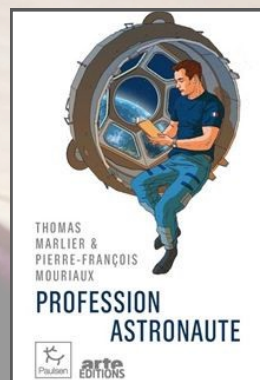
Un ouvrage aéronautique ou spatial à caractère technique ou scientifique qui vous a plu ? N'hésitez pas à le faire connaître via cette rubrique.



Patrouille de France, par Lapin, éditions Privat, ISBN 978-2-7089-8870-5. Ce carnet de l'artiste Lapin nous fait rentrer dans l'univers de la Patrouille de France, escadron prestigieux fêtant cette année ses 70 ans, réalisant des défilés aériens et démonstrations de voltige.



Le vol habité européen, par Antoine Meunier, éditions L'Harmattan, ISBN 978-2-1402-6520-4. Cet ouvrage retrace l'histoire du vol habité de Gagarine à nos jours au travers des vols habités américains, russes et chinois. L'auteur aborde la place de la Chine, de l'Inde, de l'Europe et l'apparition des stations orbitales privées.



Profession astronaute, par Thomas Marlier, Pierre-François Mouriaux, éditions Paulsen, ISBN 978-2-3750-2021-0. Les auteurs nous font découvrir, en suivant Thomas Pesquet, comment les astronautes sélectionnés par l'ESA, se préparent pour leur 1ère mission, ainsi que leur vie une fois en orbite.

Questions / réponses - Quand sera le premier vol d'Ariane 6 ?

Réponse Gr IdF : le premier vol d'Ariane 6 a subi plusieurs reports et n'est pas prévu avant le dernier trimestre 2023. Ariane 6 est proposée en 2 versions. La version Ariane 62 possède 2 boosters et permet de mettre 4,5 tonnes de charge utile sur une orbite géostationnaire (GTO) et 7 tonnes sur une orbite héliosynchrone (SSO). La version 64 possède 4 boosters et est principalement destinée aux missions commerciales. Cette version permet de positionner jusqu'à 11,5 tonnes en orbite géostationnaire (GTO) et 21,6 tonnes en orbite basse (inférieure à 2000 km). Une amélioration du moteur Vulcain d'Ariane 5 équipe le 1er étage tandis que le moteur cryogénique, à réallumage Vinci, équipe le second étage.

À noter qu'Ariane 5 tirera sa révérence le 4 juillet 2023 après 117 lancements, dont seulement 2 échecs.

CONFÉRENCES, VISITES & MATINALES ILE-DE-FRANCE

Invitations à participer à/au :

- Œuvres aux tampons sur les pionniers de l'aviation et de l'espace, à la DGAC, janvier 2023.
- L'histoire d'Airbus, ESME Alumni, 09/03/2023.
- Avions école Dak-Mekatronik -Aerospace, Webinaire ENAC -Alumni, 19/03/2023.
- Application aux structures aérospatiales des avancées récentes en IA et Science des données, Com 3AF Matériaux & Aérodynamique, 25/04/2023.
- Les matériaux, une ressource précieuse pour les aéronefs de demain, AAE, 24/05/2023.
- Avions bas carbone, ONERA Alumni, 12/06/2023.

Mardi 17 Janvier

GROUPE ILE-DE-FRANCE - La production d'électricité par Jean-Paul Hulot, ingénieur retraité du CEA, membre de la Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN 91) et de Sauvons Le Climat (SLC). Comment transformer les énergies primaires en électricité ? Quel futur pour l'aérien ?

Mercredi 1er Février

GROUPE ILE-DE-FRANCE - La filière des lanceurs Ariane par Roger Vignelles, chef de projet Ariane de 1976 à 1982 puis directeur des lanceurs de 1982 à 1991, CNES. Les différentes étapes ayant conduit aux succès que nous connaissons.

Mardi 14 Février

GROUPE ILE-DE-FRANCE - De l'énergie à la poussée par Bernard Certain, ingénieur d'essais, expert recherche & développement, ex-Airbus Helicopters - Marignane. Une conférence pour comparer les deux grandes sources d'énergie actuellement disponibles, les carburants, issus ou non des énergies fossiles, et les accumulateurs électriques.

Mardi 14 Mars

GROUPE ILE-DE-FRANCE - Mobilité aérienne interurbaine par David Gallezot, ingénieur, pilote et président des avions Mauboussin. Des aéronefs capables de connecter des

villes et des territoires via des infrastructures minimalistes respectant les exigences de bruit, d'émissions de gaz à effet de serre et d'artificialisation des sols.

Mardi 21 Mars

GROUPE ILE-DE-FRANCE - Réseau et stockage de l'électricité par Jean-Paul Hulot, ingénieur retraité du CEA, membre de la Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN 91) et de Sauvons Le Climat (SLC). Les solutions actuelles et futures de stockage de l'énergie électrique ont été présentées.

Jeudi 23 mars

GROUPE ILE-DE-FRANCE & CRAIF - Simulation aérodynamique pour l'aviation légère par Alexis Lapouille, ingénieur, président et responsable CFD de la société Aero Concept Engineering, Magny-Cours. Une présentation d'un nouvel outil d'analyse aérodynamique dédié à la conception d'avions légers, à la formation et au développement des compétences des pilotes.

Mardi 11 Avril

GROUPE ILE-DE-FRANCE - L'aviation est née avec le pétrole... et après ? par Xavier Bouis, ancien directeur technique général de l'ONERA, président de la commission énergie et environnement de

l'AAE. Comment le transport aérien perdurera-t-il sans le pétrole ? Quelles solutions techniques et sociétales ?

Mardi 16 Mai

GROUPE ILE-DE-FRANCE - Le futur du contrôle aérien par Frédéric Guignier, directeur de la stratégie et des ressources à la DSNA, Direction Générale de l'Aviation Civile. Une conférence qui aura permis de présenter les principales innovations du programme 4-FLIGHT conçu pour moderniser et automatiser le contrôle.

Jeudi 22 Juin

GROUPE ILE-DE-FRANCE & CRAIF - Retours d'expériences REX FFA par Stéphane Mayjonade, professeur et président de la commission « Prévention Sécurité » de la FFA. Une conférence pour présenter les caractéristiques du système REX FFA mis en place par la FFA et les enjeux auxquels il permet de répondre.



Les Conférences
du Groupe Ile-de-France

LES MARDIS DE L'AÉRONAUTIQUE ET DU SPATIAL
RECHERCHE, CONCEPTION, INNOVATION, PRODUITS, ÉTUDES, FORMATION

Association Aéronautique et Astronautique de France

DE L'ÉNERGIE À LA POUSSÉE

Par Bernard Certain, ingénieur d'essais, expert recherche & développement, ex-Airbus Helicopters - Marignane.

Une conférence 3AF Ile-de-France en visioconférence en partenariat avec la Mairie du 15ème et en présentiel à l'IAE d'Aix-en-Provence

MARDI 14 FÉVRIER 2023 de 18h30 à 20h

L'objectif de la conférence sera de comparer les deux grandes sources d'énergie actuellement disponibles, les carburants, issus ou non des énergies fossiles, et les accumulateurs électriques. Seront abordés les notions de puissance et de couple pour différents facteurs clés. Des exemples aéronautiques seront de cas concrets seront fournis.

INSCRIPTION OBLIGATOIRE sur le site 3AF
<https://www.3af.fr/agenda/de-l-energie-a-la-pousee-2235>

Les conférences du groupe 3AF Ile-de-France sont proposées en visioconférence via le service de téléconférence ZOOM ou en présentiel lorsque les conditions sanitaires ou de proximité du conférencier le permettent. Pour le visioconférence, il est recommandé de charger préalablement l'environnement ZOOM sur votre ordinateur et cliquer ICI




Accès gratuit sur inscription, membres et non membres 3AF
Voir le site 3AF à l'adresse : <https://www.3af.fr/evenements-1001>

PROCHAINES CONFÉRENCES 3AF ILE-DE-FRANCE

La mobilité aérienne interurbaine, par David Gallezot, président des avions Mauboussin, mardi 14 mars 2023, 18h30/20h.
Le stockage de l'énergie, par Jean-Paul Hulot, SFEN et SLC, du CEA, mardi 21 mars 2023, 18h00/20h.

3AF - Association Aéronautique et Astronautique de France, 9 Rue Oudine, 75116 Paris - Groupe 3AF - L'Aviation Française
<https://www.3af.fr> - info@3af.fr - contact@3af.fr

AGENDA

CALENDRIER DES CONFÉRENCES 3AF Ile-de-France*

- **MARDI 19 SEPTEMBRE 2023 de 18h à 20h**, « **LES CHALLENGES DE LA QUALIFICATION DU SYSTÈME D'ÉJECTION DU RAFALE** » par Jacques Lacheny, spécialiste Support Vie de Dassault Aviation.
- **MARDI 14 NOVEMBRE 2023 de 18h à 20h**, « **FRET AÉRIEN, PASSÉ, PRÉSENT ET À VENIR** » par Pascal Morvan, président WR Consulting Management Change Mergers.
- **MARDI 5 DÉCEMBRE 2023 de 18h30 à 20h**, « **NOUVEAUX DESIGNS POUR LES AILES D'AVIONS DU FUTUR BIO-INSPIRÉES** » par Marianna Braza, directrice de recherche au CNRS - Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT).

* En partenariat avec le Groupement des Ingénieurs et Cadres Supérieurs de l'Aviation Civile (GIACRE).

Avec le Comité Régional Aéronautique d'Ile-de-France#

- **JEUDI 21 SEPTEMBRE 2023 DE 18h30 à 20h**, « **LES SIMULATEURS DE VOL** » par Nathalie Gilliers, ingénieure, DGAC.
- **JEUDI 07 DÉCEMBRE 2023 DE 18h30 à 20h**, « **REALSKY** » par Bruno Gay, fondateur de RealSky et cofondateur de l'école de pilotage Paris Flight Academy.

Comité régional rattaché à la Fédération Française Aéronautique (FFA).

Journée Aviation Légère - Les défis à relever pour l'avenir
De 8h20 à 18h à la DGAC Paris 15e
Inscription avant le 15 septembre sur le site 3AF

Venez enrichir et partager vos compétences

Au sein de nos Commissions Techniques et de nos Groupes régionaux

Avec nos colloques et conférences au meilleur niveau mondial

Avec nos publications régulières : études thématiques, Lettre 3AF, Gazettes régionales

3AF, Association Aéronautique et Astronautique de France

Plus de 70 ans de passion

L'association française de référence internationale

Venez vivre votre passion avec nous

Rejoignez plus de 1500 membres et 60 sociétés ou institutions aérospatiales

Partagez et échangez avec des passionnés d'aéronautique et d'espace

Vous êtes étudiant ? 3AF vous introduit dans le milieu aéronautique et spatial