



Association Aéronautique  
Astronautique de France

LA SOCIÉTÉ SAVANTE DE L'AÉRONAUTIQUE ET DE L'ESPACE

EXTRAIT THÉMATIQUE IdF N°8

→ **Kérosène versus Hydrogène ?**

- DE L'ART DÉLICAT DE QUALIFIER  
L'HYDROGÈNE SUR LES AÉRONEFS DE DEMAIN

15 octobre 2021

Article paru dans La Lettre 3AF n° 44

## SOMMAIRE

### 1. DE L'ART DÉLICAT DE QUALIFIER L'HYDROGÈNE SUR LES AÉRONEFS DE DEMAIN




Par **Daniel Gaffié**, ingénieur expert chargé de mission propulsion aéronautique au département multi-physique pour l'énergétique de l'ONERA

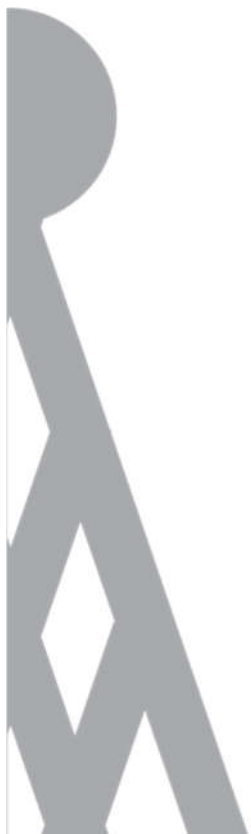
### 2. LES CONFÉRENCES MENSUELLES du Groupe 3AF Ile-de-France

Mardi 16 novembre 2021 de 18h30 à 20h en visiophonie via Zoom

#### → **eVTOL ET AUTRES TAXIS AÉRIENS**

Par **Claude Le Tallec**, ingénieur ex-chargé de mission à l'ONERA

-  Tout public
-  Averti
-  Expert ou Spécialiste



Association Aéronautique  
Astronautique de France

# De l'art délicat de qualifier l'hydrogène sur les avions de demain

par Daniel Gaffié, ingénieur expert chargé de mission propulsion aéronautique au département multi-physique pour l'énergétique de l'ONERA

## *Dans l'ancien monde ...*

*Dans l'ancien monde – qui prit fin il y a à peu près six mois – la pression écologique pesait déjà fortement sur un secteur aéronautique civil international alors en pleine expansion, pointé du doigt comme le mauvais élève tardant à faire sa mue vers un monde idéal où les émissions de CO<sub>2</sub> qui lui incombent, seraient réduites à peau de chagrin.*

Vu de l'intérieur – du côté des acteurs parties prenantes du domaine – cela pouvait apparaître comme relativement injuste, en regard des 75% de réduction de la consommation spécifique de carburant acquis, à grand renfort d'innovations technologiques, depuis le premier choc pétrolier, et d'une réduction concomitante, dans les mêmes proportions, des émissions des gaz à effet de serre (GES) : CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O, fatales émanations dues à la combustion aérobie du carburant aéronautique, hydrocarbure lourd (kérosène Jet A-1).

La réduction de l'impact environnemental de l'aviation civile ne s'arrêtait d'ailleurs pas là, car parallèlement au gain vertigineux de consommation de carburant obtenu, les émissions des polluants minoritaires furent également drastiquement réduites conformément aux exigences d'une réglementation internationale OACI, qui n'en finissait pas de se durcir au fil des années, des objectifs européens ambitieux de l'ACARE (Horizon 2020, Flightpath 2050), aussi.

Ainsi, la qualité de l'air dans l'environnement aéroportuaire (cycle LTO), s'améliorait continuellement via la maîtrise, à tout régime moteur, des polluants primaires émis : monoxyde de carbone, hydrocarbures imbrûlés, oxydes d'azote et particules fines. En conditions de haute altitude, les émissions polluantes – bien que moins quantifiées – furent également fortement réduites au fil du temps.

On pouvait donc raisonnablement penser que ce secteur qui demeure très dépendant du pétrole – représentant moins de 8 % de la consommation finale de pétrole dans le monde comparativement au transport routier (véhicules légers et fret) qui en consomme encore sensiblement 50 % – avait donc contribué à réduire honnêtement son impact environnemental.

Gardons à l'esprit que, quand l'ancien monde s'acheva, nous en étions, pour un A320, à une consommation moyenne de l'ordre de 2,5 litres par centaine de PKT (Passagers Kilomètres Transportés), étonné de constater que, l'empreinte carbone du passager d'un A320 effectuant son trajet avec un taux d'occupation maximum était sensiblement identique à celle du passager d'une voiture de moyenne gamme, équipée d'un moteur thermique standard, effectuant une distance similaire, à moitié de sa capacité passager. Pas si mal, d'autant que nous pouvions encore espérer quelques gains de performance substantiels dans le cadre d'approches, plus ou moins conservatrices, qui conduiraient inéluctablement à l'amélioration de nos systèmes actuels (avion, système propulsif, gestion du trafic aérien), parfaitement identifiée et balisée dans les feuilles de route, d'alors.

Pour ce qui est du carburant aéronautique, jusqu'en juillet 1999, date à laquelle l'autorisation d'emploi d'un carburant constitué d'hydrocarbures de synthèse issus du charbon (via le procédé Fischer-Tropsch) fut accordée à la société SASOL, l'innovation technologique aéronautique, en termes de gain de performances, s'exerçait relativement indépendamment d'un carburant aéronautique Jet A-1 « boîte noire ». L'intérêt suscité par les perspectives offertes de production d'hydrocarbures liquides à partir de ressources non conventionnelles, dont la biomasse, se traduisit par le lancement de projets de recherche, nationaux, européens, centrés sur le comportement de ces nouveaux carburants. Sur le plan d'une innovation technologique au bénéfice de la réduction de l'impact environnemental de l'aviation civile, le carburant venait constituer un levier de progrès certain.

Ainsi, on s'intéressa d'abord aux problématiques de stockage et de transfert relevant du circuit carburant des avions ; comportement à froid (impact des basses

températures sur la résistance à l'avancement et la présence potentielle de cristaux de glace), comportement à chaud (stabilité thermo-oxydative, craquage, cokéfaction). Accompagnée par le durcissement annoncé de la réglementation vis-à-vis des émissions de particules fines – non volatile Particulate Matter (nvPM) – la question cruciale de l'impact de la composition chimique du carburant (hydrocarbure liquide multi-constituant) sur son comportement au sein de la chambre de combustion et du contrôle des émissions polluantes produites, fut, ces dernières années, largement étudiée. La disponibilité à moyen-terme du pétrole, la certification de nouvelles filières de production de carburants synthétiques sont autant de raisons qui militaient pour une entrée plus tardive de l'hydrogène dans le monde aéronautique. Ainsi, une évolution continue – qui ferait passer du fossile, au synthétique (drop-in), puis, à moyen-terme, aux hydrocarbures plus légers (ouvrant à la problématique ardue de leur forme embarquée) semblait vouloir s'installer.

Hors la survenue d'une peu probable révolution scientifique et technologique, l'hydrogène – du fait de son fort potentiel – finirait par s'imposer, certainement dans un contexte de pénurie amenant à revoir les équilibres traditionnels. Intuitivement, on pouvait imaginer – pour des raisons techniques et d'acceptabilité environnementale – la propulsion par des hélices rapides, plus économes en énergie à Mach de vol plus faible (typiquement 0,6 à 0,7) venir supplanter une propulsion par turboréacteurs.

### *Dans le nouveau monde ...*

*Trois mois plus tard, dans le monde d'après – à l'épreuve de la COVID-19 chamboule-tout qui marque toujours notre quotidien – l'aviation civile internationale, jusqu'alors en pleine expansion, se réveille groggy, durablement affectée ; observateur impuissant de perspectives de croissance brutalement annihilées. La recherche d'un indispensable nouvel équilibre, écologiquement soutenable, acceptable sur les plans économique et sociétal, ouvre aujourd'hui la voie de la décarbonation du transport aérien. Au bout du bout de la liste des énergies nouvelles susceptibles de répondre à cet objectif ambitieux, l'hydrogène, renversant l'ordre précédemment établi, s'impose comme l'alternative crédible au carburant aéronautique actuel. De fait, il fait aujourd'hui l'objet de toutes les attentions. Quels sont ses avantages, ses inconvénients ? Telle est la question qui se pose.*

Sur le papier, l'hydrogène – pour peu que l'on sache le maîtriser sur le large domaine de fonctionnement requis pour un aéronef (c'est-à-dire du ralenti au plein gaz) – fait incontestablement le job. Son potentiel énergétique est fortement avantageux. Sur le plan environnemental, il permet d'écarter bon nombre d'émissions primaires, CO<sub>2</sub> et non-CO<sub>2</sub> ; monoxyde de carbone (CO), hydrocarbures imbrûlés (HC) et particules fines, même si la question des émissions d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et de la vapeur d'eau (GES), demeure. L'hydrogène se pose donc en alternative alléchante pour les applications aéronautiques, dès lors qu'il est lui-même produit avec une énergie verte. Néanmoins, sa très faible masse volumique associée à la très basse température de sa liquéfaction, rend son stockage à bord techniquement plus difficile, et plus coûteux, que celui des autres gaz. En regard des quantités de combustible requises, qui se comptent en tonnes, un stockage autre que sous forme liquéfiée, n'apparaît, de fait, pas acceptable.

Sur ces capacités énergétique d'abord, l'observation du Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) – qui mesure la quantité de chaleur dégagée à la stœchiométrie par la combustion complète d'un kilogramme de combustible – est incontestablement à l'avantage de l'hydrogène. Elle est près de 3 fois supérieure à celle du Jet A-1. En revanche, la différence de masse volumique de l'hydrogène liquéfié (~ 70 kg/m<sup>3</sup> sous 1 bar à 20 K) comparativement à celle du Jet A-1 (780 à 800 kg/m<sup>3</sup>), induit un volume d'hydrogène liquéfié embarqué 4 à 5 fois supérieur comparativement à celui du Jet A-1. À cet encombrement « combustible », s'ajoute celui des réservoirs de stockage cryogénique, équipés des structures isolantes nécessaires au maintien de l'hydrogène liquide à une température inférieure à -250°C, sans compter les divers éléments constitutifs du système regroupant les fonctions de gestion et de répartition de l'énergie à bord, de transfert de l'hydrogène jusqu'à la chambre de combustion (pompes, échangeurs de vaporisation, etc.). Tout ceci contribue à l'alourdissement général de l'ensemble, évalué entre 4 et 8 fois la masse de l'hydrogène embarqué. Ces considérations, portant sur le bilan de masse ou relevant d'une traînée aérodynamique externe potentiellement majorée, peut conduire à limiter la quantité d'hydrogène emportée. Tout ceci doit être scrupuleusement étudié en regard des profils de mission. C'est en cela que le stockage d'hydrogène constitue une préoccupation pour le développement de la technologie de « l'hydrogène aéronautique ».

Outre la question majeure de la propulsion, l'hydrogène peut aussi susciter un autre intérêt, celui de répondre au besoin de l'aéronef en énergie « non propulsive », permettant d'assurer le fonctionnement de certaines de ses fonctions (démarrage des moteurs, actionneurs des commandes de vol, ventilation, éclairage, etc.). Actuellement, celle-ci est fournie par les systèmes APU – groupe auxiliaire de puissance – fonctionnant au kérosène ou à l'électricité (batteries embarquées). La disponibilité d'hydrogène à bord, facilement accessible, pourrait s'avérer potentiellement intéressante en regard de l'installation de piles à combustible (dihydrogène-air) offrant ainsi une voie de grande fiabilité, alternative aux systèmes conventionnels : une solution à creuser, alimentant les réflexions sur une diversification des énergies à bord.

En ce qui concerne la turbomachine fonctionnant à l'hydrogène, le cycle thermodynamique « traditionnel » de Brayton-Joule – pour lequel la conversion de l'énergie s'effectue par combustion, à pression constante – serait, dans un premier temps, prudemment maintenue. À plus long terme, on pourrait être tenté de rechercher une optimisation du cycle via l'exploitation du potentiel de refroidissement de l'hydrogène liquide pour les parties chaudes tournantes, et ainsi réduire la fraction d'air classiquement affectée à cette fonction. À cette occasion, les fondamentaux de la turbomachine propulsive seraient revisités, conduisant ou pas à maintenir la tendance des taux de compression (OPR) toujours plus élevés. Les corps BP et HP des turbomachines seraient repensés, avec des retombées immédiates sur la taille du moteur et, par conséquent, sur sa masse, en fonction des missions type.

La conception d'une chambre de combustion alimentée à l'hydrogène, constituera, sans aucun doute, une préoccupation centrale, particulièrement son système d'injection. En effet, du système d'injection dépend grandement l'organisation de l'écoulement turbulent réactif dans le volume de la chambre de combustion, la stabilisation du processus de combustion, in fine le contrôle des émissions gazeuses qui en résultent, ceci pour tout régime de fonctionnement d'intérêt ; du cycle LTO au régime croisière de la haute altitude.

Dans le monde d'avant, il avait été montré le bénéfice d'une adjonction appropriée d'hydrogène au carburateur conventionnel, favorisant bien entendu les phases d'allumage, contribuant également à la stabilisation de la combustion, et à l'élargissement du domaine de stabilité de la chambre de combustion. Ce résultat, produit de la

recherche expérimentale, avait ainsi ouvert la voie d'une réflexion sur de potentielles technologies de rupture « Low-NOx » en mesure d'assurer un fonctionnement sécurisé du système d'injection loin de la stœchiométrie. Quid de ces observations dans la perspective du tout hydrogène comme seule source énergétique de l'aéronef ?

Il paraît fortement probable que la mise au point de systèmes d'injection à émissions réduites de NOx demeurerait extrêmement délicate, ceci pour plusieurs raisons. La première résulte d'une température de fin de combustion pour l'hydrogène sensiblement plus élevée que celle du Jet A-1 (supérieure à 100°C à iso richesse), plus facilement atteignable du fait de temps chimiques courts. Il s'ensuit une difficulté intrinsèque quant à la capacité de réduire le monoxyde d'azote (spécialement le NO thermique) dont la production est soutenue par les températures élevées. La seconde est inhérente à une vitesse de flamme laminaire, largement plus élevée pour l'hydrogène comparativement à celle du Jet A-1, accentuant vraisemblablement les difficultés d'installation d'un processus de combustion stable et la survenue potentielle de retours de flamme (flashback), dès lors que – pour des raisons liées au contrôle des NOx – les régimes de combustion turbulente pré-mélangés, voire partiellement pré-mélangés, seront recherchés.

On redoutera certainement une sensibilité de la combustion au régime d'injection de l'hydrogène dans la chambre, ainsi qu'à ses conditions thermodynamiques. Ce problème, redoutablement complexe, touche à l'analyse d'un comportement multi-fluide de l'hydrogène incluant le processus de changement de phase. Il devra être soigneusement étudié sur le plan numérique et les résultats obtenus corroborés par l'expérience. Le fait que, réactant et réactif puissent toutefois entrer gazeux dans la chambre de combustion (système d'injection aidant), constitue un avantage du point de vue de l'obtention rapide d'une bonne qualité du mélange des gaz réactifs frais, mais une préoccupation en termes d'opérabilité et de sécurité. Une conséquence est que l'on ne peut exclure l'apparition d'instabilités de combustion qu'elles que soient leur origine : instabilités du front de flamme inhérentes à la différence de masse volumique du mélange gazeux de part et d'autre du front de flamme, instabilités thermo-diffusives dues au fort gradient de température et aux effets conjugués contribuant au plissement et à l'étirement de la flamme propices à la survenue d'extinctions locales. À cela s'ajoute l'apparition, toujours possibles, d'éventuelles instabilités azimutales, dont le déclenchement au sein de foyer de

combustion annulaires, peut être lourde de conséquence sur sa tenue mécanique et ses performances.

Parallèlement, il serait nécessaire – en regard des conditions particulièrement hostiles rencontrées dans le tube à flamme – d'appréhender la durabilité de ces nouveaux concepts de foyers de combustion en considérant les problématiques liées au comportement aérothermomécanique des parties chaudes, y compris des aubes de turbines HP situées immédiatement en aval de la chambre de combustion : matériaux haute température à haute performance, barrières thermiques, technologies de refroidissement. Malgré tout, notons un certain avantage de l'hydrogène qui, comparativement au carburant conventionnel, induit des flux pariétaux plus faibles via l'abaissement de la composante radiative.

Un effort tout particulier serait mené sur la zone de dilution de la chambre à des fins d'homogénéisation des gaz brûlés et de la température, via le brassage turbulent induit par les jets de dilution. En effet, une préoccupation majeure demeurera la préservation de la durée de vie des aubes de turbines HP. Il faudra enfin se prémunir de phénomènes locaux de détonation qui pourraient impacter les performances de l'ensemble du système. Pour limiter la production du NO thermique, un raccourcissement de la chambre et de la zone de dilution constituera une piste sérieuse, pour peu que le rendement de combustion, ainsi que l'homogénéisation recherchée des gaz brûlés et de la température, en soient préservés.

Sur le plan environnemental, rappelons que les oxydes d'azote, spécialement NO et NO<sub>2</sub>, ont un effet reconnu préjudiciable sur la santé, le système respiratoire. Ils sont à l'origine de la formation de composés chimiques préjudiciables (tels les nitrosamines), qui perturbent la fonction respiratoire et affectent la résistance immunitaire.

Les NO<sub>x</sub> sont également impliqués dans la formation du « mauvais » ozone de basse atmosphère et la destruction du « bon » ozone stratosphérique protégeant la surface terrestre du rayonnement UV (dans la gamme 200-310 nm). Pour ce qui est de la destruction de l'ozone stratosphérique, l'Aéronautique paraît moins concernée par le problème. En revanche NO<sub>2</sub> et surtout N<sub>2</sub>O, entrent dans la catégorie des GES et contribuent de fait au réchauffement climatique, marginalement du fait de leur faible concentration.

Autre GES produit massivement et inéluctablement par la combustion de l'hydrogène, la vapeur d'eau H<sub>2</sub>O (~9 kg émis par kg de H<sub>2</sub> consommé) ; composé chimique un peu particulier auquel on ne peut attribuer un Potentiel de Réchauffement Global (PRG), du fait d'un temps de séjour limité dans l'atmosphère rendant impossible, compte tenu des cycles d'évaporation et de précipitation, un calcul précis de la teneur de vapeur d'eau dans l'atmosphère. À ce titre, notons avec intérêt que, d'une part, en rapport de leur puissance calorifique respective, la propulsion LH<sub>2</sub> conduit à émettre moins de GES que la propulsion conventionnelle Jet A-1, que, d'autre part, le pouvoir de réchauffement de la vapeur d'eau varie avec l'altitude (négligeable entre 0 et 9000 mètres, et croît rapidement au-delà). Il devrait s'ensuivre une réflexion portant sur l'optimisation de l'altitude de vol s'appuyant sur la recherche du meilleur compromis entre impact en termes de réchauffement climatique et consommation de combustible.

Les quantités de vapeur d'eau émises en régime de croisière, conduiront à étudier inéluctablement la problématique de la formation des traînées de condensation – également dépendante des conditions thermodynamiques et hygrométriques de la haute altitude – de leur persistance, de leur disparition par sublimation, de leur évolution en voile nuageux artificiels (cirrus induits), de leur contribution au réchauffement climatique par forçage radiatif.

Avec la combustion aérobie de l'hydrogène qui, contrairement à celle des hydrocarbures, ne produit pas de particules, des deux régimes de nucléation de vapeur d'eau identifiés – homogène (formation spontanée de cristaux de glace sans le recours d'une autre matière), hétérogène (nucléation de glace s'exerçant via des particules d'aérosols jouant le rôle de noyaux glaciogènes) – on imagine a priori que subsisterait, exclusivement et dans une moindre mesure, le processus de nucléation homogène. Ces considérations devront être toutefois vérifiées, cela est en effet sans compter le rôle possible de mécanismes de condensation et de nucléation directe inhérents aux vapeurs d'acide nitrique et d'ammoniac, sur la survenue de traînées de condensation et leur persistance.

Bien d'autres arguments en lien avec les aspects logistiques et économiques, qu'impose cette vraie révolution du passage à l'hydrogène pour le monde aéronautique, demeurent à discuter et leur criticité réelle précisément adressée. Au niveau aéroportuaire



par exemple, on estime que le temps de remplissage des réservoirs des aéronefs sera sensiblement plus long, mais les aspects sécuritaires devront être sérieusement renforcés (gardons à l'esprit que l'hydrogène n'est décidément pas un combustible comme les autres). Dans le même temps, on imagine que le déploiement de l'hydrogène sur les aéroports ne constituerait pas une difficulté insurmontable, au vu du nombre limité de plateformes.

Au-delà de toute question liée à la faisabilité technique, le succès de cette transition espérée vers une aviation civile décarbonée passe par l'expression d'un volontarisme général, unanimement exprimé sur le plan mondial, mais également de notre capacité à produire de l'hydrogène en quantité sur la base d'énergie propre, mais tout ceci dépasse largement le cadre de ce papier.

### Conclusion et perspective

*Il n'y a pas de doute à avoir sur l'issue de l'aventure technologique qui s'engage. Malgré les difficultés à lever, dont certaines ont été ci-dessus évoquées (elles ne sont d'ailleurs à ce jour pas toutes identifiées), la démonstration sera faite que l'hydrogène peut s'imposer comme le combustible du futur et constituer la rupture technologique majeure pour le secteur aéronautique du 21<sup>e</sup> siècle, pour peu que l'on puisse produire ce combustible en quantité suffisante et de manière décarbonée (hydrogène vert). La situation se présente aujourd'hui sous les meilleurs auspices, la volonté politique est incontestablement là et les moyens affichés à hauteur des ambitions, portés par les différents plans de relance de la filière, nationaux et européens.*

*En regard d'une contrainte temporelle forte, la question clé réside dans la capacité à disposer des nouvelles technologies, au moment voulu. Pour ce faire, une condition nécessaire est de solliciter efficacement, dans ces domaines de compétences respectifs, l'ensemble des forces vives ; des instituts académiques aux industriels du domaine aéronautique (voire spatial), en passant par les organismes de recherche et centre d'essais disposant de moyens expérimentaux aptes à évaluer les nouvelles technologies en conditions simulées représentatives du fonctionnement réel d'un aéronef. Dans ce cadre, on pense bien entendu à l'ONERA et à la DGA Essais Propulseurs.*

*Une montée rapide en TRL demeurant toujours problématique, il s'agira de favoriser une orientation efficace de travaux de recherche amont par une spécification technique claire et précise du besoin émanant du secteur applicatif. En retour les résultats les plus prometteurs issus de la Recherche, devront être rapidement confrontés à « la vraie vie », afin de statuer sur leur réelle potentialité. Le maître mot sera donc « agilité », une agilité qui devra s'appuyer sur les réseaux d'experts existants, nationaux et européens.*

*Dans ce contexte, l'ONERA – fort d'un savoir-faire acquis de longue date sur l'hydrogène pour les applications statoréacteurs – prépare ses moyens d'investigation en vue de prendre toute sa part à la stratégie R&D, qui se dessine aujourd'hui, ceci dans une gamme de TRL allant de 3 à 5 lui permettant d'assumer pleinement son rôle charnière entre la Recherche à caractère académique et l'Industrie. Les capacités des bancs d'essais sont ainsi réexaminées, de même que les moyens d'investigations métrologiques et numériques conformément aux nouveaux besoins induits par l'utilisation du nouveau combustible. À ce titre, si l'hydrogène apporte indéniablement son lot de complexités diverses, sa simplicité moléculaire offre aussi certaines facilités dont il faut savoir profiter en vue de l'amélioration de la qualité de la mesure et de la capacité de prédiction des outils de simulation.*

*Il est rassurant de constater que la nouvelle donne, imposée par le passage à l'hydrogène « aéronautique », ne modifie pas fondamentalement les feuilles de route de l'ONERA, même si elle conduit à revoir sensiblement les priorités. À l'aune des nouvelles technologies d'apprentissage automatique (machine learning) et de l'exploitation des données massives (big data) susceptibles de transformer radicalement nos méthodes de travail, améliorant notre savoir-faire et notre créativité, les approches conventionnelles relevant de l'Aérodynamique et de l'Energétique, sont ainsi rééclairées. L'intérêt se porte aujourd'hui sur l'aide à la conception de systèmes à haute performance, appuyée par un échange accru d'informations, entre simulation numérique à haute-fidélité (multi-physique, multi-échelle) et expérimentation très instrumentée, au travers de techniques nouvelles d'optimisation et d'assimilation de données. ■*

# 3AF

[www.3af.fr](http://www.3af.fr)

# Les Conférences du Groupe Ile-de-France

LES MARDIS DE L'AÉRONAUTIQUE ET DU SPATIAL  
RECHERCHE, CONCEPTION, FABRICATION, PROJETS, ÉTUDES, ESSAIS...

Association Aéronautique et Astronautique de France

## eVTOL ET AUTRES TAXIS AÉRIENS

Par **Claude Le Tallec**, ingénieur ex-chargé de mission à l'ONERA.

Une conférence en visiophonie organisée par le Groupe  
Ile-de-France de la 3AF en partenariat avec la Mairie du 15<sup>ème</sup>

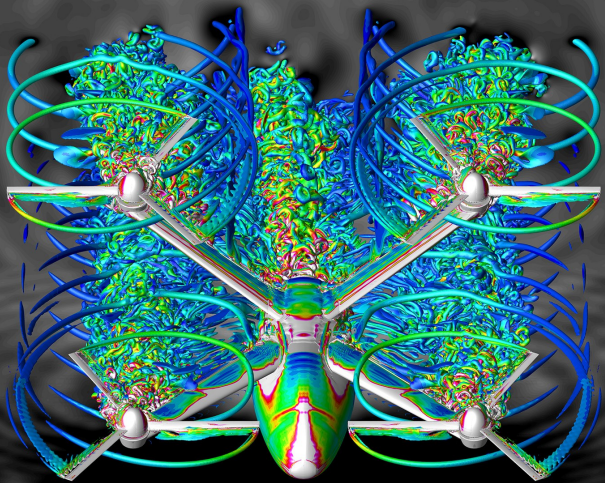
**MARDI 16 NOVEMBRE 2021 de 18h30 à 20h**

Les aéronefs électriques à décollage et atterrissage verticaux ou **eVTOL** seraient-ils une solution pour désengorger les transports terrestres urbains ? Cette conférence permettra d'évaluer la faisabilité technique de ces aéronefs pilotés ou autonomes, d'analyser les perspectives d'intégration dans le trafic aérien actuel ainsi que d'étudier leur viabilité socio-économique dans la perspective des JO 2024.

**INSCRIPTION OBLIGATOIRE** sur le site 3AF

<https://www.3af.fr/agenda/evtol-et-autres-taxis-aeriens-2150>

Suite à la **crise sanitaire de la Covid-19**, les conférences du groupe 3AF Ile-de-France sont exclusivement proposées en visiophonie via le **service de téléconférence ZOOM**. Il est recommandé de charger préalablement l'environnement ZOOM sur votre ordinateur est cliquant [ICI](#).



© Volocopter



© Volocopter

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 construction amateur**, par Dominique SIMON, Président de la Fédération RSA , mardi **14 décembre 2021**, 18h30/20h.

**L'Histoire de l'hydrogène**, par Jean Delacarte, ancien directeur d'Air Liquide, **janvier 2022**, 18h30/20h.

3AF - ASSOCIATION AÉRONAUTIQUE ET ASTRONAUTIQUE DE FRANCE, 6 RUE GALILÉE, 75116 PARIS - GROUPE 3AF ILE-DE-FRANCE

<https://www.3af.fr/> - <https://www.3af.fr/groupe-regional/idf>





Association Aéronautique  
Astronautique de France

6, rue Galilée - Paris  
Tél. : 01 56 64 12 30  
Email : [3af.idf@gmail.fr](mailto:3af.idf@gmail.fr)

**[www.3af.fr/groupe-regional/idf](http://www.3af.fr/groupe-regional/idf)**

