

DIGITAL INDUSTRIES SOFTWARE

Les jumeaux numériques au service d'une aviation plus écologique

Comment le secteur aéronautique peut-il
atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 ?

Résumé

Ce livre blanc fait le point sur les différences techniques et l'impact écologique des moteurs à réaction fonctionnant au kérósène et des principaux systèmes de propulsion alternatifs disponibles aujourd'hui. Il se penche sur les répercussions que ces différents moteurs ont sur la conception des avions nouvelle génération et, plus globalement, sur la chaîne d'approvisionnement aéronautique. Enfin, il explique comment l'utilisation de Simcenter™ permet de soutenir les stratégies de durabilité qui s'inscrivent dans les initiatives internationales en faveur d'une aviation plus écologique.

Introduction

La Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) a passé toutes les industries du monde au crible, à commencer par celle des transports. Même si les émissions de gaz à effet de serre sont principalement causées par les automobiles, un autre problème de taille se profile juste au-dessus de nos têtes.

L'aviation est actuellement à l'origine de 4,9 % des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et de gaz autres que le CO₂ responsables du réchauffement climatique.¹ Le secteur a déjà pris des dispositions

pour réduire ses émissions et optimiser son efficacité énergétique, mais ces efforts ne suffiront pas pour atteindre les objectifs de neutralité carbone fixés par l'accord de Paris d'ici 2050 (schéma 1).

Il est désormais évident que c'est par le biais de sources de carburant alternatives, comme les biocarburants et l'énergie électrique, que le secteur aéronautique atteindra son objectif, lequel nécessitera une refonte complète de l'architecture des avions actuels.

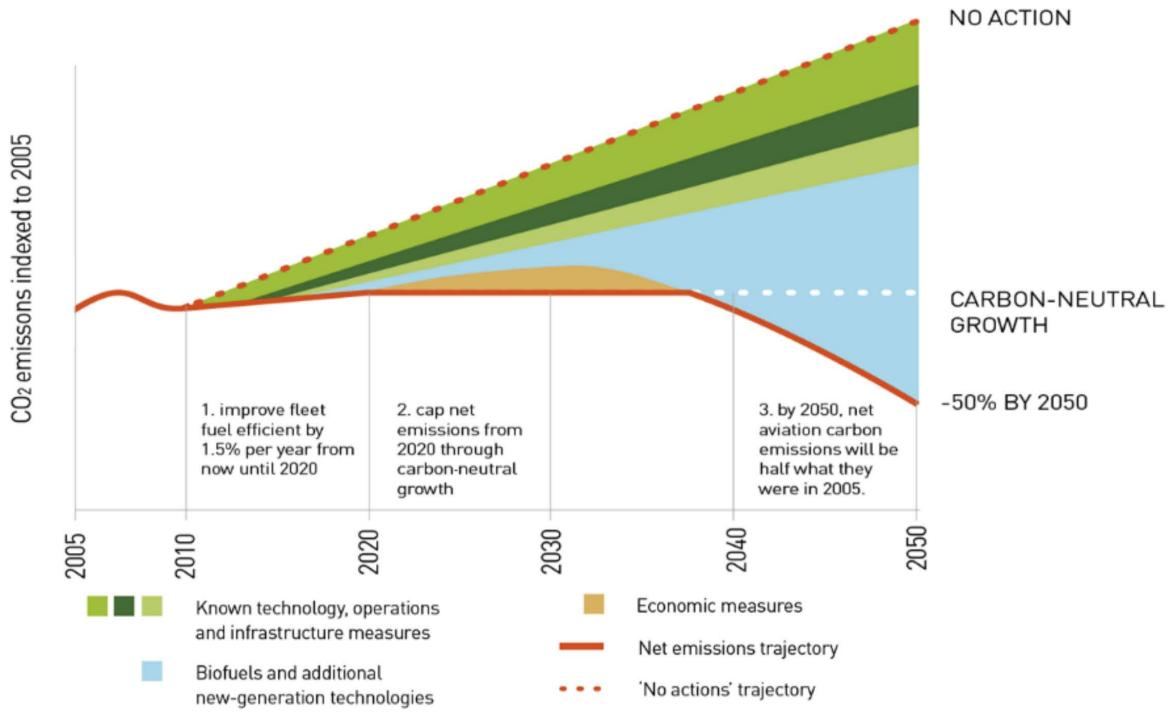


Schéma 1 : Pour atteindre les objectifs fixés par la CCNUCC en matière d'émissions, les entreprises aéronautiques vont devoir remplacer les moteurs à réaction fonctionnant aux hydrocarbures par des systèmes de propulsion utilisant des sources d'énergie alternatives et neutres sur le plan écologique. (Source : Aircraft technology roadmap to 2050, International Air Transport Association)

L'évolution des configurations des avions

Le terme "configuration des avions" peut désigner la disposition aérodynamique d'un aéronef, notamment la taille et la forme relatives de son corps, de ses ailes et des surfaces de contrôle associées. Il englobe également l'agencement de l'espace intérieur de l'appareil, comme le nombre et la disposition des sièges passagers.

De nombreux facteurs déterminent ces deux aspects de la configuration d'un avion, le plus notable d'entre eux étant le mode de propulsion de ses moteurs. À ce jour, les progrès les plus significatifs dans la conception des avions ont été réalisés grâce à l'invention du moteur à réaction, développé à partir des années 1930.

Le Boeing 707, qui a volé pour la première fois en décembre 1957, a été le premier avion de ligne commercial à réaction à connaître le plus de succès. Le premier 707-120, d'une longueur de 45 mètres, était équipé de quatre turboréacteurs Pratt & Whitney JT3C, les premiers moteurs de 10 000 livres de force (lbf) aux États-Unis.

Même si la puissance des réacteurs s'est considérablement améliorée au fil des années, avec pour résultat des avions plus grands pouvant transporter plus de passagers sur de plus longues distances (l'Airbus A380, par exemple, qui est propulsé par quatre moteurs GP7200 d'Engine Alliance ou par le turbofan Trent 900 de Rolls-Royce, dont la capacité maximale certifiée est de 853 passagers et le rayon d'action de 12 900 km), les configurations des avions commerciaux n'ont pas connu de modifications majeures depuis la fin

des années 1950. Les avions polluent moins grâce aux progrès des technologies des moteurs et ils sont plus légers grâce au développement de nouveaux matériaux, mais pour l'essentiel, la configuration des avions commerciaux les plus modernes hérite de celle du Boeing 707.

Il faut bien reconnaître que le succès remarquable des avions à réaction a transformé le transport (tant pour les personnes que pour les marchandises), a dynamisé l'économie internationale et a permis aux sociétés d'être plus connectées. On estime qu'environ 500 000 personnes volent au-dessus de nous actuellement et qu'environ 6 millions d'entre elles prennent l'avion chaque jour. Les estimations les plus récentes suggèrent par ailleurs que les besoins en transport aérien augmenteront en moyenne de 4,3 % par an au cours des 20 prochaines années.²

La densité de puissance des moteurs à réaction y est pour beaucoup. Certains considèrent d'ailleurs les moteurs à réaction comme les "rois de la densité de puissance". Il faut toutefois reconnaître que cette puissance a pour contrepartie une forte émission de carbone et d'autres polluants.³

Systèmes de propulsion des avions nouvelle génération

Les gouvernements et les populations sont aujourd'hui plus conscients des enjeux du réchauffement climatique, d'où les nombreuses recherches menées au cours de ces dernières années sur les systèmes de propulsion des avions utilisant des carburants alternatifs.

Par exemple, à la place des combustibles fossiles, des combustibles synthétiques peuvent être fabriqués à partir de sources d'énergie renouvelable : on extrait l'hydrogène de l'eau et le carbone du CO₂ pour produire un combustible liquide. Ces combustibles synthétiques ont l'avantage de ne pas contenir d'impuretés comme le soufre, mais ils libèrent tout de même du carbone dans l'atmosphère. Toutefois, leur production pourrait ne pas avoir d'incidence sur le climat.

Le carburant utilisé habituellement dans les avions est le kérósène, dont la densité énergétique est d'environ 40 mégajoules par kilogramme (MJ/kg). Mais le carburant qui présente la densité énergétique la plus élevée est l'hydrogène, et c'est aussi le composant chimique le plus simple que l'on connaisse. En raison de la manière dont il est produit et de l'inefficacité relative des technologies actuelles utilisées pour le fabriquer, l'hydrogène est plus cher que les combustibles fossiles. Le principal avantage de l'hydrogène est que le produit résiduel de sa combustion dans les moteurs d'avion est l'eau. Selon un récent rapport de la Commission européenne, les avions fonctionnant à l'hydrogène pourraient entrer sur le marché dès 2035.⁴

Comparé au kérósène, l'hydrogène est très léger et, avec une densité énergétique d'environ 120 MJ/kg, il fournit trois fois plus d'énergie par unité de masse. En revanche, le stockage de l'hydrogène liquide soulève des problèmes : outre le risque d'explosion en cas d'accident, il faut quatre fois plus de kérósène pour obtenir le même résultat.

Par ailleurs, les piles à hydrogène peuvent être utilisées pour produire l'électricité nécessaire au fonctionnement des moteurs électriques ou hybrides. Les principaux avantages des avions électriques sont la réduction du bruit et l'absence d'émissions pendant le vol, même si la fabrication et le recyclage des batteries doivent être pris en compte dans l'évaluation globale de l'impact environnemental. Le principal inconvénient est que les moteurs électriques sont loin d'offrir la même densité de puissance que les turbines à réaction. Par exemple, les moteurs électriques les plus récents utilisés pour la propulsion des avions ont une densité de puissance de l'ordre de 10 à 15 kilowatts par kilogramme (kW/kg), mais ce chiffre devrait augmenter à l'avenir avec le perfectionnement des matériaux et des techniques.

Des nouvelles sources d'énergie qui bouleversent l'industrie aéronautique

Chaque solution alternative aux moteurs à réaction fonctionnant au kérósène pose son lot de problèmes, mais les préoccupations environnementales imposent aux avions d'abandonner les combustibles fossiles. Ce besoin de changement transforme l'industrie aéronautique.

La densité de puissance des sources alternatives nécessite de stocker davantage d'énergie sous forme de batteries ou de piles à hydrogène, ces dernières requièrent également des systèmes cryogéniques pour stocker l'hydrogène liquide.

Ces nouvelles sources d'énergie vont également entraîner la création de nouvelles configurations pour les avions, puisque l'énergie sera stockée dans le corps de l'avion plutôt que dans les ailes (comme c'est actuellement le cas pour les avions fonctionnant au kérósene). Qui plus est, afin d'optimiser l'efficacité du vol, les avions du futur pourraient avoir des ailes très longues et très fines, ce qui les exposerait davantage à un phénomène de battement.

Le fuselage intégré (Blended Wing Body ou BWB) est également une possibilité intéressante : les ailes et le fuselage sont intégrés en une seule entité. On appelle également cela une "aile volante" : l'ensemble de l'appareil fournit la portance nécessaire au vol. L'un des principaux avantages de la configuration en aile volante est l'espace accru du fuselage, qui peut être utilisé pour transporter des charges utiles telles que des marchandises, des passagers, des batteries, de l'hydrogène et des piles à combustible.

Bien entendu, tous ces développements auront également une incidence sur les infrastructures au sol : les aéroports et les terminaux aéroportuaires devront être modifiés pour s'adapter aux nouvelles configurations physiques et prendre en charge les nouvelles exigences en matière de ravitaillement, comme les stations de recharge électrique à haute tension pour recharger les avions.

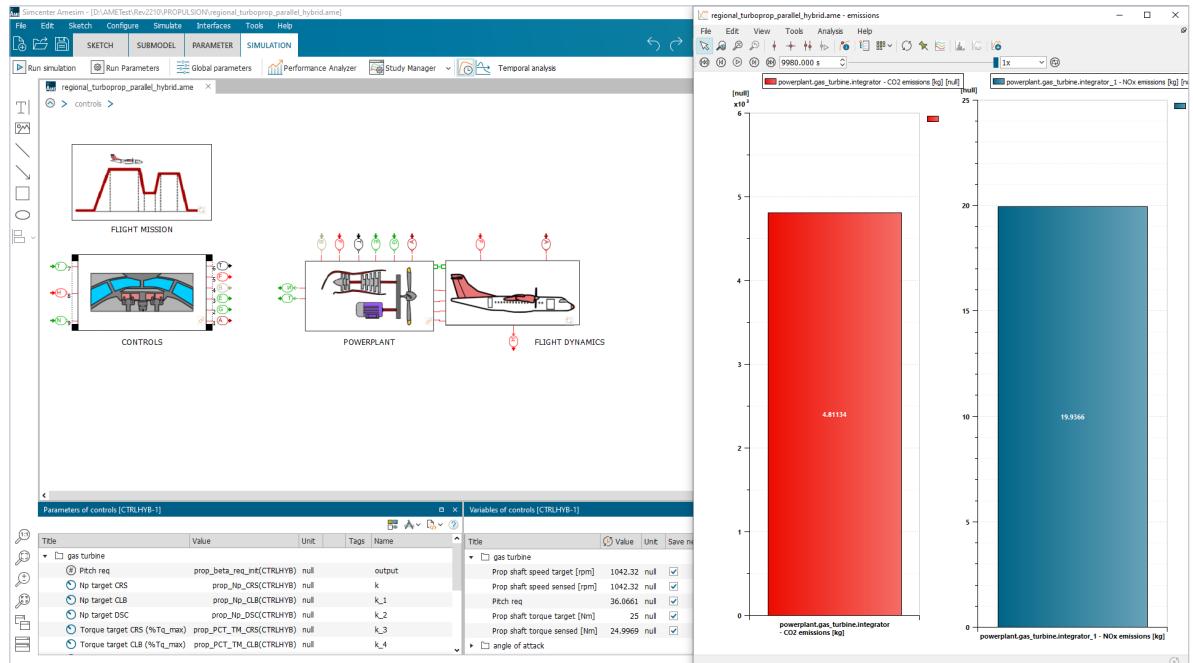


Schéma 2 : Grâce à Simcenter Amesim, les ingénieurs peuvent réaliser des études de compromis entre différentes configurations de systèmes de propulsion alimentés par divers vecteurs d'énergie.

Rien de tout cela ne sera facile à réaliser. Si l'on prend un avion de ligne commercial standard comme référence, il faudra au moins dix ans pour créer un nouvel avion, de la proposition de conception au vol, et plusieurs milliards de dollars en frais non récurrents (NRE) pour l'avion lui-même, sans compter que toute la chaîne d'approvisionnement en composants devra être redéfinie.

Tout cela implique une refonte quasi complète de l'ensemble de l'industrie aéronautique. Si l'on ajoute à cela les processus rigoureux de test et de certification associés au développement et au déploiement d'un nouvel avion commercial, les avions de ligne long-courriers neutres en carbone ne seront

probablement pas visibles dans le ciel avant les années 2040 ou plus tard. En revanche, les petits avions à moteur électrique utilisés pour les vols à plus courte distance sont en passe de voir le jour.

Par exemple, Bye Aerospace⁵ est une entreprise spécialisée dans la conception et la fabrication d'avions électriques, et notamment d'avions légers pour la formation au pilotage. Bye Aerospace a deux projets d'avions électriques bien avancés dans le processus de certification des avions de la Federal Aviation Administration (FAA). L'un d'entre eux est l'avion d'entraînement biplace eFlyer 2, lequel a été conçu en utilisant les outils développés par Siemens Digital Industries Software.

Repenser l'ingénierie aéronautique de demain

Le recours au numérique et à un jumeau numérique, une réplique virtuelle d'un appareil physique utilisée pour effectuer des simulations avant que celui-ci ne soit construit et déployé, est un des éléments clés du succès des systèmes de propulsion et des avions.

Malheureusement, mettre en œuvre de nouvelles technologies de propulsion et les intégrer dans les avions actuels peut s'avérer difficile pour les entreprises qui débutent dans ce domaine. Afin de répondre à cette problématique, Siemens fournit des outils comme Simcenter⁶ qui fait partie de Xcelerator⁷, un portefeuille complet et intégré de logiciels, de matériel et de services.

Grâce à Siemens Xcelerator, il est possible de simplifier le développement des produits, non seulement en proposant un portefeuille de logiciels, de matériel et de services, mais aussi en offrant un écosystème de développeurs et de partenaires ainsi qu'une place de

marché pour les solutions technologiques qui évolueront au fil du temps. Simcenter est un portefeuille de solutions de simulation prédictive et de test à la fois flexible, ouvert et évolutif, qui soutient les chercheurs et les ingénieurs à chaque étape du processus de développement.

Les solutions de simulation et de test Simcenter fournissent une suite de conception intégrée, capable de soutenir pleinement les équipes pluridisciplinaires d'ingénierie aéronautique, en les aidant à modéliser, analyser et tester l'impact des sources d'énergie et des systèmes de propulsion alternatifs.

Qu'il s'agisse de composants ou de l'ensemble de l'aéronef intégré, Simcenter prend en charge la conception de systèmes électriques et hybrides électriques grâce à un développement et une ingénierie agiles des produits. Les solutions de simulation et de test

permettent de réduire les coûts globaux de développement et de garantir la certification de navigabilité. Simcenter permet d'obtenir des données essentielles de preuve de conformité grâce à des tests virtuels et physiques dans le cadre du processus de certification. En ce qui concerne la propulsion distribuée, Simcenter aide les ingénieurs à prendre des décisions pour optimiser l'intégration aérodynamique, électrique, thermique et structurelle.

Enfin, Simcenter aide à réduire les risques liés au développement de piles à hydrogène ou de turbines à gaz alimentées à l'hydrogène. Ces solutions permettent de relever les défis liés au stockage, à la distribution et à la conversion de l'énergie. De plus, en améliorant l'aérodynamique et les performances structurelles, les ingénieurs peuvent réduire encore davantage la masse d'un avion afin de gagner en efficacité globale et en durabilité sans compromettre la sécurité.



Schéma 3 : Simcenter aide à établir la preuve de conformité grâce à des artefacts de test virtuels et physiques.

Grâce à Simcenter, les ingénieurs peuvent obtenir des données et des informations essentielles pour les processus d'ingénierie aéronautique afin de concevoir des avions nouvelle génération. Les ingénieurs peuvent :

- Tirer parti d'un jumeau numérique complet pour évaluer la performance d'un avion

- Prendre des décisions plus tôt lors de la phase de conception
- Collecter des informations plus tôt sur le comportement de l'avion intégré
- Optimiser les conceptions et innover plus rapidement
- Interconnecter et gérer des modèles évolutifs pour le développement agile de produits, l'ingénierie des systèmes basés sur des modèles (MBSE) et les processus de vérification

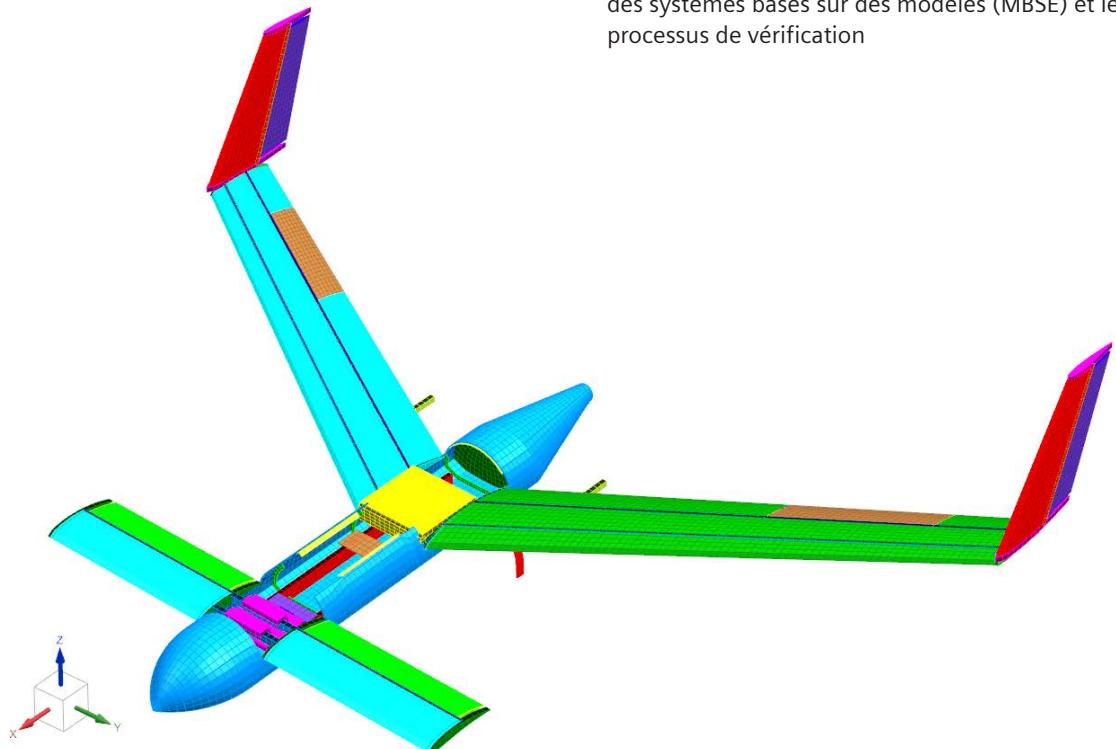


Schéma 4 : Les modèles Simcenter pour la configuration de nouveaux avions permettent aux ingénieurs d'analyser des architectures aérodynamiques et structurelles innovantes.

Conclusion

Le temps est venu de transformer le secteur aéronautique pour qu'il atteigne les objectifs fixés par des organisations telles que la CCNUCC et l'Association internationale du transport aérien (IATA).

Siemens Xcelerator et Simcenter soutiennent les efforts de digitalisation entrepris par l'industrie aéronautique pour un transport aérien plus respectueux de l'environnement.

Pour en savoir plus sur ce sujet, lisez le livre blanc intitulé "Repenser l'ingénierie aéronautique nouvelle génération."⁸

Références :

1. <https://bit.ly/3CxFTC>
2. <https://www.spikeaerospace.com/how-many-passengers-are-flying-right-now/>
3. <https://www.carbonindependent.org/22.html>
4. <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/quiet-and-green-why-hydrogen-planes-could-be-future-aviation>
5. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/customers/bye-aerospace/78928/>
6. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/>
7. <https://www.siemens.com/global/en/products/xcelerator.html>
8. <https://resources.sw.siemens.com/en-US/white-paper-how-model-based-systems-engineering-helps-innovate-future-aircraft>

Siemens Digital Industries Software

Amériques : +33 1 71 22 54 62

Europe, Moyen-Orient, Afrique : 00 800 70002222

Asie-Pacifique : 001 800 03061910

D'autres numéros de téléphone sont disponibles [ici](#).

À propos de Siemens Digital Industries Software

Siemens Digital Industries Software facilite la transformation numérique des entreprises intéressées par des solutions d'avenir en matière de conception, d'ingénierie et de fabrication. Siemens Xcelerator, le portefeuille complet et intégré de logiciels, de matériel et de services, aide les entreprises de toutes tailles à créer et à exploiter un jumeau numérique complet qui leur offre de nouvelles perspectives, opportunités et niveaux d'automatisation pour soutenir l'innovation. Pour en savoir plus sur les produits et les services de Siemens Digital Industries Software, visitez siemens.com/software, ou suivez-nous sur [LinkedIn](#), [Twitter](#), [Facebook](#) ou [Instagram](#).

siemens.com/software

© 2022 Siemens. Pour consulter la liste des marques déposées de Siemens, cliquez sur [ce lien](#). Les autres marques déposées sont la propriété de leurs titulaires respectifs.

85069-D2-FR 2/23 LOC