

Airbus pionnier d'une aviation durable, pour un monde ouvert et respectueux de l'environnement

Par Alain DE ZOTTI

Responsable du Centre d'Architecture et d'Intégration d'Airbus

Et André BOURDAIS

Senior vice-président, directeur du Département d'Ingénierie de Fabrication d'Airbus Commercial, Airbus

Être une source d'inspiration est profondément ancré dans l'ADN d'Airbus, et aujourd'hui notre objectif est d'être le pionnier de l'aérospatiale durable, pour un monde sûr et solidaire. Depuis plus de cinquante ans, nous valorisons l'innovation pour réduire l'empreinte environnementale de nos produits et de nos activités. Un effort considérable a été fait pour promouvoir le renouvellement des flottes au sein des compagnies aériennes vers des avions de nouvelle génération plus performants, économes en carburant et respectueux de l'environnement.

Nous nous attachons à développer et porter à maturité les technologies nécessaires à la décarbonation, notamment avec des évolutions en matière thermopropulsive des moteurs, ou plus révolutionnaire comme l'utilisation de l'hydrogène ; des essais en vol seront bientôt effectués sur l'un de nos avions d'essai. Un autre levier important est l'utilisation grandissante des carburants d'aviation durables pour atteindre les objectifs de réduction des émissions carbone du transport aérien d'ici à 2030. Un partenariat stratégique a d'ailleurs été récemment signé entre Airbus et TotalEnergies afin d'accélérer leur déploiement ; ce carburant fourni par TotalEnergies devrait permettre de réduire jusqu'à 90 % les émissions de CO₂ sur l'ensemble du cycle de vie, en comparaison de leur équivalent fossile.

Enfin, « être pionnier dans l'aéronautique durable » signifie, pour nous, assumer notre responsabilité en tant que *leader* reconnu de notre industrie, pour créer une valeur à long terme pour nos parties prenantes et pour la société. Notre ambition comprend des engagements forts pour réduire nos impacts environnementaux et notre empreinte écologique, en adoptant une perspective de cycle de vie. Cette responsabilité environnementale commence dès la phase de conception, se poursuit durant le processus de fabrication et après la livraison, ainsi que dans le quotidien de chaque salarié, dans nos opérations industrielles et celle de notre chaîne d'approvisionnement.

Toutes ces évolutions technologiques majeures et cette transformation de notre entreprise font d'Airbus un acteur majeur dans la société, avec des défis passionnants et stimulants à relever.

Le préambule de la Convention de Chicago déclare en 1944 que « l'aviation civile internationale peut grandement aider à créer et à préserver entre les nations et les peuples du monde l'amitié et la compréhension ». Chez Airbus, nous croyons en cet apport positif de l'aviation dans nos sociétés, et sommes déterminés à permettre aux générations actuelles et futures de continuer à en bénéficier. Ceci suppose, entre autres, de trouver des solutions qui permettront de réduire l'impact de l'aviation sur le changement climatique. Le transport aérien est responsable de 2,5 % des émissions anthropiques de CO₂. Lorsque l'on considère dans le bilan radiatif les effets dits « non CO₂ », la contribution de l'aviation augmente à 3,5 %.

Étant donné la concentration, mais aussi la bonne organisation mondiale de ce secteur, ses chercheurs et ingénieurs ont une opportunité rare d'agir à l'échelle de la planète. Ils ont pour cela différents moyens d'action qui s'additionnent.

Le premier est le renouvellement des flottes, qui consiste à tirer bénéfice de la recherche, des développements et investissements industriels des années passées. Ce levier est puissant, car seulement 20 % des flottes mondiales sont aujourd'hui constituées d'avions de dernière génération. La production actuelle d'Airbus a par exemple une intensité carbone de 63 gCO₂eq/passager/km. Ce chiffre, qui prend en compte l'émission des appareils lors de

leur utilisation et le taux de remplissage moyen, s'est amélioré de 20 % entre 2015 et 2022.

Le deuxième moyen d'action est de poursuivre sans discontinuer la quête de performance et de sobriété qui est la marque de notre industrie, en continuant à investir dans des programmes de recherche qui permettront de réaliser un autre saut d'efficacité dans le milieu de la prochaine décennie. Les leviers théoriques sont connus. Sur les avions subsoniques, la traînée d'onde est désormais négligeable. La traînée induite par la portance sera réduite par l'augmentation de l'envergure. La masse de la voilure sera minimisée grâce à un contrôle actif des charges et du flottement par des systèmes de commande de vol fiables et ultra rapides. Une évolution des règles de certification dans ce domaine sera nécessaire. La traînée de frottement pourra être minimisée par le contrôle de la laminarité et l'introduction de manipulateurs de couche limite turbulente au sein de la peinture. Ces deux technologies ont été démontrées en vol, et leur incorporation *in fine* dans un produit dépendra du contexte opérationnel du produit final.

L'efficacité thermopropulsive des moteurs continuera de s'améliorer *via* l'augmentation du taux de dilution, rendue possible par la généralisation de configuration où un réducteur entraîne une soufflante carénée ou non. Dans les deux cas, l'intégration aérodynamique avec le porteur nécessitera une cocréation des formes aérodynamiques entre l'avionneur et le motoriste. Le taux de compression et la température de la chambre

de combustion n'augmenteront que modérément. Les échanges d'énergies pourront être optimisés *via* un réseau électrique à forte puissance connectant les différents éléments du moteur et de l'avion. Cette hybridation électrique tirera bénéfice de l'introduction de batteries à électrolyte solide dont la technologie fait l'objet de recherche considérable, en particulier dans le secteur automobile. Bien qu'assurant des fonctions toujours plus complexes nécessaires à la sécurité et l'efficacité du vol, les systèmes avioniques et électriques verront leur masse réduite grâce à l'intégration au sein d'une même plateforme multifonctions. Les échanges de données numériques rendus possible par les technologies de connectivité permettront à l'optimisation des trajectoires de passer d'une échelle mono-avion à une échelle multi-flotte.

Une fois réduites les incertitudes scientifiques et choisi un critère d'optimisation, ces techniques pourront être aussi utilisées pour minimiser les traînées de condensation. Ces composants s'intégreront de façon synergétique dans une configuration optimisée « tube et voilure » classique avec moteur sous voilure, ou combinant voilure laminaire et propulsion arrière, voire aile volante. Afin de réduire au plus vite les incertitudes liées à ces nouvelles techniques, mais aussi pour former une nouvelle génération d'ingénieurs, Airbus s'est engagé dans une démarche de démonstrateurs dont quelques exemples sont illustrés par deux images de cet article.



A380 Démonstrateur CFM Open Fan (© Airbus 2022).



Vol transatlantique "Projet fello'fly" – 2021 (© Airbus 2021).

Le troisième moyen d'action est de reconsidérer le carburant utilisé. Après un parcours exhaustif des différentes solutions envisageables, les deux candidats restant en lice pour l'aviation commerciale sont les carburants d'aviation durables (CAD – ou SAF en anglais) et l'hydrogène stocké essentiellement sous forme liquide à température cryogénique. Lors de leur combustion, les CAD produisent la même quantité de CO_2 qu'un carburant classique, mais ce CO_2 a été capturé précédemment dans l'atmosphère de façon naturelle ou artificielle (capture du carbone). On estime que les carburants durables d'aviation à base de biomasse peuvent ainsi permettre aujourd'hui de réduire les émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 80 % tout au long de leur cycle de vie. Dans l'avenir, en partant de CO_2 capturé artificiellement dans l'atmosphère et d'hydrogène décarboné, ce chiffre pourra se rapprocher de 100 %. Du point de vue de l'avion, il existe à l'heure actuelle sept filières de production de ces carburants dont il a été démontré que le mélange à du carburant « classique » dans une proportion de 50 %, au plus, permettait de maintenir les propriétés du carburant classique.

Cette limite est en fait essentiellement établie pour maintenir dans le carburant final un taux d'hydrocarbures aromatiques suffisant, quelle que soit l'origine du carburant classique utilisé dans le mélange. Cette limite de 50 % pourrait donc être relevée en introduisant des aromatiques de synthèse dans le carburant synthétique. C'est l'objet d'une évolution de

la norme ASTM (organisme régissant la sécurité et la performance des carburants d'aviation).

Avec ce carburant miscible, les avions actuels seront donc compatibles « 100 % CAD ». On cherchera ensuite à réduire ces aromatiques de synthèse, pour minimiser les coûts de production, et réduire les émissions de particules non volatiles. Mais comme ces molécules aromatiques influent aussi sur la température d'auto-inflammation du carburant, il faudra trouver des solutions techniques ou réglementaires pour garantir les mêmes marges de sécurité qu'aujourd'hui. Le tout fera l'objet d'une nouvelle norme ASTM dans la décennie.

Les avions « 100 % CAD » produits dans les prochaines années seront donc compatibles avec l'objectif net zéro émission de CO_2 en 2050. Les émissions résiduelles de CO_2 liées à l'utilisation de 100 % de CAD étant faibles, elles pourront être compensées par des mesures externes, comme la captation de CO_2 dans l'air qui est également étudiée par Airbus.

Si la production mondiale de CAD reste à ce jour très modeste, l'année 2023 a vu un triplement de cette production, représentant cependant encore un peu moins de 1 % du total de la consommation mondiale de kérosène. Le contexte réglementaire se met en place rapidement en particulier en Europe ("Re-Fuel EU") ou aux États-Unis avec l'obligation de mandats croissants de production de CAD (Europe) ou de subvention à leur incorporation (États-Unis), qui devrait permettre d'approcher au niveau mondial de l'ordre de 5 à 10 % de CAD à l'horizon 2030.

L'hydrogène est l'autre carburant envisageable. Celui-ci pourra être consommé dans une pile à combustible, alimentant un système de propulsion électrique. La taille de l'avion sera alors limitée par les puissances électriques qui peuvent être mises en jeu, de l'ordre d'un multiple du mégawatt. L'hydrogène pourra aussi être brûlé au sein de la chambre de combustion d'un moteur « classique », sans limitation de puissance, mais au prix d'émissions résiduelles d'oxydes d'azote, que l'on minimisera en optimisant les chambres de combustion en tirant parti des excellentes propriétés de combustion de l'hydrogène. Dans les deux cas, l'eau remplace le CO₂ comme produit essentiel de l'extraction d'énergie du carburant. L'effet sur les traînées de condensation reste à étudier de façon expérimentale. Afin d'atteindre la densité massique et volumique compatible avec les besoins d'un aéronef, l'hydrogène doit être stocké sous forme liquide à très basse température, environ 20 kelvins. La taille, la géométrie et la masse du réservoir cryogénique rendent l'avion à hydrogène moins efficace énergétiquement que son homologue à carburant classique, mais la production de la simple molécule de dihydrogène nécessite moins d'énergie que celle des plus complexes molécules d'hydrocarbures synthétiques. Les besoins énergétiques de la chaîne complète "well-to-wake" (production énergie finale au sol + énergie nécessaire à la mission en vol) entre les électrocarburants synthétiques et le dihydrogène cryogénique sont donc, *in fine*, similaires pour des missions courtes régionales. En s'appuyant sur les connaissances acquises en particulier dans le domaine spatial, Airbus a démontré que, même avec

les incertitudes sur les performances des différents composants, il était possible de « boucler » – au sens des masses et de la performance – un avion de transport commercial de taille ou de rayon d'action variable. Il reste cependant à démontrer la faisabilité des technologies dans un contexte aéronautique civil. C'est l'objet des programmes de recherche en cours.

Comme pour les carburants durables, le développement de tout un écosystème de production, y compris ses sources d'énergie décarbonée primaire, est nécessaire. Airbus est aussi présent dans ce domaine. Pour les CAD, il s'agit de pousser les investissements *via* des mesures réglementaires, incitatives, ou des financements. Airbus a ainsi notamment décidé de créer un « fonds CAD » ("SAF fund") pour permettre avec d'autres partenaires de lever des fonds pour la création d'unités de production. Airbus veut stimuler aussi l'innovation dans ce domaine avec le développement de nouveaux processus de fabrication des CAD : "alcohol-to-jet", "Fischer-Tropsch", "power-to-liquid", etc., permettant d'utiliser des ressources plus larges et d'aller au-delà des quantités potentiellement limitées de matières premières provenant de la biomasse. Pour l'hydrogène décarboné, Airbus travaille avec certains aéroports comme Paris-Charles de Gaulle et Lyon-Saint Exupéry en France, à la création de « hubs à hydrogène », qui dans un premier temps vont alimenter des transports terrestres fonctionnant à l'hydrogène (voitures, bus ou camions), pour pouvoir ensuite mettre à disposition de nos avions ZEROe cet hydrogène sous forme liquide.



Tanker CAD (carburant d'aviation durable) - Fuel Jet A1 (© Neste 2022).

Le quatrième moyen d'action est de réduire l'impact environnemental lié aux activités industrielles d'Airbus. Chez Airbus, l'approche de la responsabilité environnementale commence dès la phase de conception de ses avions, mais ne s'arrête pas là. Pendant le processus de fabrication, après la livraison et même à la fin de vie de l'avion, Airbus continue à rechercher des moyens de réduire son empreinte environnementale mondiale.

En particulier, Airbus s'engage à réduire ses émissions de gaz à effet de serre liées à ses opérations classées scope 1 et 2 – qu'est-ce que cela signifie ? Pour mieux analyser leur impact sur le changement climatique, les entreprises mesurent leurs émissions selon trois catégories, ou scope 1, 2 et 3. Airbus en a fait de même.

Le scope 1 désigne, alors, tous les gaz à effet de serre émis directement par les opérations industrielles d'Airbus, comme le combustible fossile brûlé lors des essais en vol. Airbus a déjà réduit ces émissions en utilisant du carburant d'aviation durable CAD ou SAF – que nous venons de mentionner. Par exemple, Airbus alimente avec du CAD sa flotte de Beluga depuis 2019 et ses opérations d'essais en vol depuis 2022. Airbus continue à réduire progressivement ses émissions en utilisant également des carburants renouvelables dans ses opérations logistiques, notamment dans le transport routier et maritime. Par exemple encore, d'ici à 2030, la flotte maritime transatlantique d'Airbus – trois navires rouliers spécialement commandés pour transporter des assemblages d'avions entre l'Europe et la chaîne d'assemblage finale de Mobile, en Alabama – fonctionnera avec un mélange de diesel maritime, d'e-méthanol et de propulsion éolienne, qui permettra de réduire de 50 % les émissions de CO₂ par rapport à 2023.

Le scope 2 comprend les émissions indirectes provenant de l'achat d'électricité, de vapeur, de chauffage et de refroidissement. Airbus a déjà réduit ces

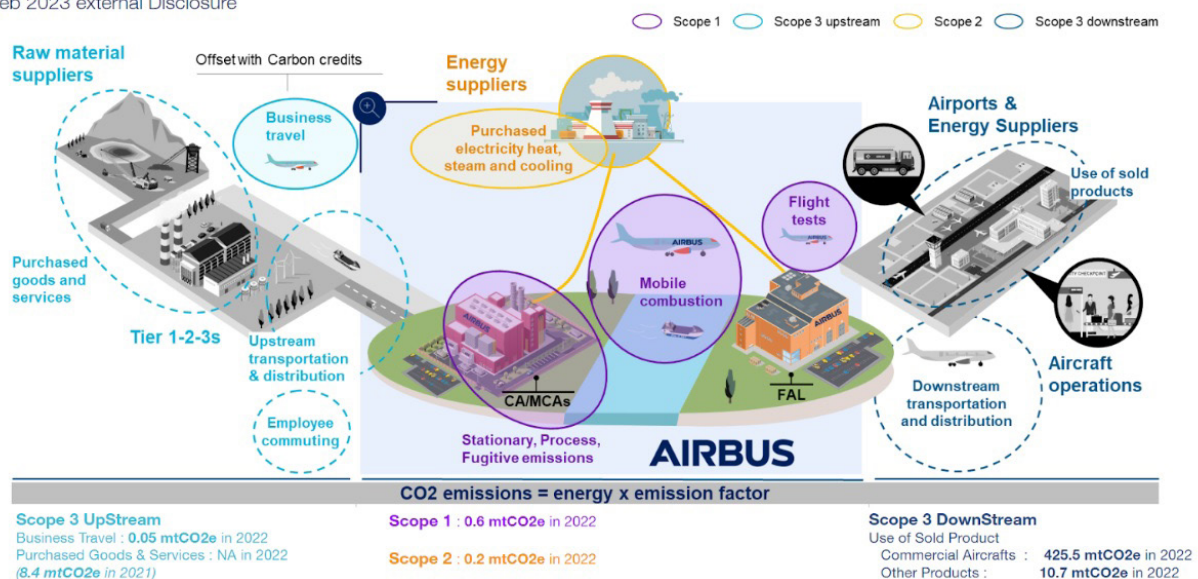
émissions indirectes en améliorant son efficacité énergétique, en utilisant notamment des éclairages LED dans ses bureaux et ses hangars, et en installant des panneaux solaires sur certains de ses bâtiments. Airbus continuera à les réduire en utilisant au moins 90 % d'électricité renouvelable et bas carbone sur tous ses sites européens d'ici à 2030, et en modernisant ses systèmes de chauffage avec des énergies décarbonées telles que le biogaz et la biomasse.

Enfin le scope 3 regroupe toutes les autres émissions générées par notre chaîne de valeur, notre filière d'approvisionnement et enfin nos produits en service, qu'Airbus traite avec les moyens d'action décrits précédemment – l'avancée du renouvellement des flottes, la poursuite sans discontinuer de la quête de performance et de sobriété des produits Airbus et la reconsidération du carburant utilisé. Le scope 3 représente environ 98 % de nos émissions qui sont les plus difficiles à maîtriser. Airbus s'engage à les réduire, en soutenant la feuille de route pour la décarbonation du secteur aéronautique et spatial définie par l'ATAG et l'IATA, et afin d'atteindre, comme nous l'avons déjà mentionné, zéro émission nette d'ici à 2050.

Pour agir, Airbus s'est en effet fixé des objectifs à moyen terme basés sur des données scientifiques. Airbus s'engage à réduire (par rapport à la référence 2015) de 63 % les émissions industrielles et, pour le scope 3 USP (*use of sold product i.e.* les émissions de CO₂ des scopes 1 et 2 d'ici à 2030, à neutraliser les émissions résiduelles, et le CO₂ des avions en opération) à réduire l'intensité des émissions en carbone (exprimée en CO₂/RPK) de 46 % d'ici à 2035. Ces objectifs ont été validés par l'organisme indépendant SBTi (Science-Based Target initiative), une des références en matière de validation des objectifs climatiques. Dans cette optique, Airbus joue un rôle de premier plan dans la mise en place d'un écosystème favorable aux énergies nouvelles.

AIRBUS 2022 CO₂eq Footprint according to the GHG protocol

Feb 2023 external Disclosure



AIRBUS

GHG protocol (© Airbus).

Cette volonté d'Airbus de réduire ses émissions industrielles s'inscrit dans un programme plus large – c'est le Programme High5+. Ce programme couvre non seulement la réduction des émissions de scope 1, 2 et 3 dans ses volets « CO₂ » et « Énergie », mais intègre aussi trois autres dimensions : la réduction de production de déchets et matières premières, de prélèvements de l'eau, et enfin d'émissions de COV (composés organiques volatils) et atmosphériques. High5+ repose sur un ensemble d'objectifs ambitieux de réduction absolue par rapport aux niveaux de 2015, qui profitent à l'environnement tout en restant judicieux sur le plan commercial. Pour les déchets, l'objectif d'Airbus est de détourner 100 % des déchets de la mise en décharge et de l'incinération sans valorisation énergétique, et de réduire la quantité de déchets produits de 20 %. Sur les émissions atmosphériques, l'objectif est de respecter la réglementation avec une augmentation de 0 % de ces émissions d'ici 2030. Et enfin pour l'eau, l'objectif d'Airbus est de développer de solides programmes d'entretien et de réhabilitation pour réduire l'eau potable (achetée) de 50 %, sans augmentation du prélèvement d'eau au global.

Enfin, chez Airbus aujourd'hui, ce sont plus de 85 % de ses 130 000 collaborateurs dans le monde avec plus de 100 nationalités différentes et 180 sites de production à travers 35 pays qui travaillent sous la norme ISO 14001, qui définit des critères forts de gestion de la responsabilité environnementale. Airbus se concentre sur l'intégration de normes élevées dans l'ensemble de ses opérations afin de favoriser une chaîne d'approvisionnement responsable. Cela implique de travailler à une gestion des ressources naturelles et humaines

à chaque étape du processus de production. Environ 8 000 fournisseurs directs et 18 000 indirects de plus de 100 pays fournissent des pièces, composants, systèmes et services à Airbus.

Pour atténuer l'empreinte environnementale au sein de sa chaîne d'approvisionnement, Airbus exige de ses fournisseurs qu'ils respectent les mêmes normes de responsabilité environnementale et sociale que celles que l'entreprise s'est fixées. Ces normes sont clairement décrites dans le code de conduite Airbus qu'elle leur soumet. Par exemple, Airbus travaille en étroite collaboration avec ses fournisseurs pour sélectionner des matériaux provenant de sources éthiques et responsables, avec un impact moindre sur l'environnement.

C'est donc bien à une transformation globale de l'ensemble de l'écosystème aéronautique à laquelle nous travaillons. Notre objectif est de permettre à nos avions commerciaux et militaires, ainsi qu'aux hélicoptères de voler avec 100 % de CAD d'ici à 2030. Nous avons également pour ambition de développer le premier avion commercial à hydrogène au monde d'ici 2035. Ce ne sont que quelques exemples de nos engagements et des mesures que nous souhaitons mettre en place dans les mois, années et décennies à venir.

Un défi difficile, mais tellement motivant pour tous les acteurs de l'industrie aéronautique impliqués dans la conception, la production et l'opération des avions. Un défi pour permettre aux nouvelles générations de voler dans le respect de l'environnement et de continuer ainsi à bénéficier de cette ouverture sur le monde, que seul l'avion permet.



AIRBUS

Programme High5+ (© Airbus).