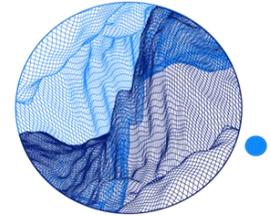




Take Kair

PROJET D'USINE DE E-CARBURANT
POUR L'AVIATION



CONCERTATION PRÉALABLE DU 16 DÉCEMBRE 2024 AU 9 MARS 2025

COMPTE-RENDU SYNTHÉTIQUE DE LA TABLE-RONDE « QUELLES VOIES POUR DÉCARBONER L'AÉRIEN ? »

Jeudi 27 février 2025 | De 18h30 à 20h30

Salle des Guifettes de DONGES

Dans le cadre de la concertation préalable sur Take Kair, un projet d'usine d'e-carburant à Donges, une table-ronde s'est tenue dans la salle des Guifettes de Donges, le jeudi 27 février 2025.

À l'issue des temps introductifs, la table-ronde s'est déroulée en 3 temps :

- « *En quoi la décarbonation de l'aérien est nécessaire pour lutter contre le dérèglement climatique ?* », suivi d'un premier temps d'échanges avec le public (+/- 30 min) ;
- « *La décarbonation de l'aviation : quelle(s) stratégie(s) des acteurs de l'aérien ?* » (+/- 30 mn) ;
- « *Focus sur le e-kérosène : quelle place dans les mesures de décarbonation ? Quelles perspectives et quelles limites ?* », suivi d'un second temps d'échanges avec le public (+/- 30 mn).

Les participants avaient la possibilité de s'exprimer à l'oral lors des temps d'échange, ainsi que par écrit, par l'intermédiaire d'un outil d'envoi de questions écrites (sli.do). 21 personnes ont assisté à la table-ronde.

Les tables-rondes sont des temps d'approfondissement thématique autour du projet, sur des enjeux qui dépassent le projet Take Kair. De ce fait, la prise de parole était répartie entre plusieurs intervenants.

Intervenants :

- **Loïc BONIFACIO**, Membre de l'association et coordinateur étude approvisionnement énergétique, Association Aéro Décarbo ;
- **Alexandre STUBER**, Sustainability manager, Air France ;
- **Stéphane CAMPION**, Directeur de l'usine Airbus Atlantic de Montoir de Bretagne ;
- **Christophe ROBIN**, Head of Design, Daher ;
- **Nicolas MEIJERS**, Co-fondateur de Estuaire.

Représentants de la maîtrise d'ouvrage Hynamics :

- **Géraldine ANCEAU**, Directrice du projet Take Kair ;
- **Arnaud SOUILLÉ**, Responsable territorial du projet Take Kair.

Un des deux garants désignés par la Commission nationale du débat public (CNDP), **Bernard PACORY**, était également présent en tribune afin de présenter son rôle et rappeler le cadre de la concertation.

1. Ouverture de la réunion

La table-ronde commence à 18h30.

Frédéric FIATTE (consultant à l'agence stratéact, AMO d'Hynamics) introduit la réunion par une présentation du déroulé de la table-ronde, puis un rappel des dates de la concertation et des modalités de participation.

Bernard PACORY, garant de la Commission nationale du débat public (CNDP), demande à l'assistance de bien vouloir excuser l'absence de Mireille AMAT, garante de la CNDP, qui, pour des raisons familiales, ne peut être présente à cette table-ronde ce soir. Il présente la CNDP, une autorité indépendante, et son rôle qui, conformément à l'article 7 de la Charte de l'environnement, garantit le droit à l'information de tous les publics. Les garants ne sont pas partie prenante du projet et ne se prononcent ni sur sa pertinence ni sur sa faisabilité. Leur rôle est de veiller à garantir l'accessibilité et la transparence de l'information, ainsi que la participation du public dans les projets ayant un impact sur l'environnement. Les modalités d'expression possibles pendant la concertation sont les suivantes : le site internet, les coupons T, l'expression lors des rendez-vous de la concertation. À la fin de la concertation, qui se termine le 9 mars, les garants auront un mois pour rédiger un bilan et poser des questions au maître d'ouvrage, qui disposera deux mois pour y répondre. Ces documents seront publiés sur le site internet de la concertation.

L'animateur présente les objectifs de la rencontre :

- prendre de la hauteur vis-à-vis du projet Take Kair en invitant des acteurs de l'aérien à partager les voies de décarbonation de ce secteur ;
- répondre à une demande forte du public et des associations en début de concertation ;
- répondre aux questions et recueillir des avis sur le projet et les transformations économiques, industrielles et écologiques dans lesquelles il s'inscrit.

L'animateur introduit les intervenants de la table-ronde.

Une vidéo pédagogique de 3 minutes présente le projet Take Kair.

Géraldine ANCEAU, Directrice du projet Take Kair, explique que le projet Take Kair s'inscrit dans la démarche de décarbonation de l'aviation. Ce projet vise la production de kérosène de synthèse, ou e-kérosène, un carburant obtenu à partir de CO₂ capté sur une unité industrielle et acheminé sur le site de production, ainsi que d'hydrogène produit sur place par électrolyse de l'eau, à l'aide d'électricité. Ces deux éléments sont ensuite combinés dans des réacteurs afin de produire du kérosène de synthèse.

L'intérêt principal de ce carburant repose sur son procédé de fabrication, qui permet de réduire par cinq l'impact des émissions de CO₂ sur l'ensemble du cycle de vie, en comparaison avec le kérosène d'origine fossile. Il est strictement identique au kérosène issu du pétrole et peut être utilisé immédiatement dans les moteurs d'avion, y compris pour les vols long-courriers.

Cette technologie s'inscrit pleinement dans la stratégie de décarbonation de l'Union européenne, qui imposera, à partir de 2030, l'intégration d'une proportion minimale de ce type de carburant dans l'aviation. À hauteur de sa capacité de production, le projet Take Kair permettra d'éviter environ 130 000 tonnes de CO₂ fossile par an. La production d'hydrogène nécessitera 1,7 TWh d'électricité bas carbone par an. La consommation d'eau annuelle s'élèvera à 220 000 m³, avec une démarche visant la sobriété en matière d'approvisionnement (utilisation des eaux usées de la station d'épuration de Montoir pour alimenter l'électrolyseur et réutilisation d'une partie des eaux issues du processus de production). Le projet nécessitera également 160 000 tonnes de CO₂ biogénique et produira chaque année 50 000 tonnes de carburant, dont 37 500 tonnes de kérosène.

2. En quoi la décarbonation de l'aérien est nécessaire pour lutter contre le dérèglement climatique ?

Frédéric FIATTE, animateur de la table-ronde :

Le projet Take Kair s'inscrit dans une dynamique de transformation du secteur de l'aérien. Avant la discussion sur les solutions de décarbonation de l'aviation, nous souhaitons lancer cette table ronde par un panorama des impacts de l'aviation sur le dérèglement climatique et des scénarios pour y répondre dans les années qui viennent, à l'échelle française et à l'échelle internationale. La première question s'adresse à Aéro Décarbo.

Pouvez-vous d'abord nous résumer quels sont les impacts du secteur aérien sur l'environnement ? Quel impact carbone, quelle part de l'aviation dans les émissions de CO₂ ?

Loïc BONIFACIO, Membre de l'association et coordinateur étude approvisionnement énergétique, Association Aéro Décarbo :

Le transport aérien représente entre 2,5 % et 3 % des émissions mondiales de CO₂. Ce chiffre varie en fonction de la prise en compte des émissions indirectes. Si l'on considère uniquement le CO₂ émis lors de la combustion du kérosène, la part est d'environ 2,5 %. En intégrant l'ensemble du cycle de vie du carburant - extraction du pétrole, transport, raffinage, etc. -, cette proportion s'élève à environ 3 %.

À l'échelle française, l'impact est plus important, s'élevant à environ 5 % des émissions nationales. Cette différence s'explique par un usage proportionnellement plus élevé du transport aérien en France par rapport à la moyenne mondiale.

Au-delà des émissions de CO₂, d'autres facteurs contribuent à l'impact climatique de l'aviation, notamment les traînées de condensation et les oxydes d'azote (NOx) émis à haute altitude. En moyenne, ils doublent l'impact climatique global de l'aviation. Ainsi, certaines estimations situent l'empreinte climatique du secteur autour de 10 % des émissions en France, en tenant compte de l'ensemble des effets, et non uniquement du CO₂.

Par ailleurs, il existe d'autres problématiques, telles que la pollution de l'air et la pollution sonore, qui concernent principalement les zones situées autour des aéroports. Toutefois, dans le cadre de cette table-ronde, nous nous concentrerons sur la décarbonation et donc essentiellement l'impact climatique.

Frédéric FIATTE :

Aéro Décarbo (anciennement Supaéro Décarbo) a travaillé sur l'analyse de ces impacts et donc des scénarios de décarbonation en 2021 avec le Shift-Project, dans une étude intitulée « Pouvoir voler en 2050 : quelle aviation dans un monde contraint ? ».

Pouvez-vous nous en dire plus ? Quelles sont les premières solutions qui en ressortent ?

Loïc BONIFACIO :

Il existe trois grands leviers pour réduire les émissions de gaz à effet de serre du transport aérien.

Le premier concerne l'efficacité énergétique : il s'agit de continuer à voler, mais en consommant moins d'énergie par passager transporté ou par kilomètre parcouru. Cela passe par des avions plus efficaces et des moteurs avec un meilleur rendement. L'industrie aéronautique travaille sur ces améliorations depuis longtemps, car elles représentent un enjeu économique fort : les constructeurs cherchent à vendre des avions plus performants que ceux de la concurrence, et les compagnies aériennes ont tout intérêt à réduire leur consommation de carburant, qui constitue une part importante de leurs dépenses.

Le deuxième levier repose sur le changement de carburant. Les avions continueront à brûler du carburant. L'enjeu est donc d'utiliser des carburants qui émettent moins de CO₂ lors de leur combustion. Deux grandes familles existent : les biocarburants, produits à partir de biomasse, et les e-carburants, fabriqués à partir d'électricité, comme le e-kérosène du projet Take Kair.

Le troisième levier concerne la modération du trafic. Il s'agit d'une approche de sobriété visant soit à ralentir la croissance du trafic, soit à le stabiliser, voire à le réduire légèrement.

Il existe de nombreux scénarios qui combinent ces différents leviers avec des choix plus ou moins marqués en faveur de la modération du trafic. Certains scénarios n'en font pas du tout usage, tandis que d'autres misent fortement dessus.

Les travaux menés par Aéro Décarbo et le Shift Project il y a quatre ans ont abouti à deux scénarios. Le premier était très ambitieux et supposait un développement technologique rapide avec une généralisation des carburants bas carbone. Il arrivait à tenir les objectifs climatiques et permettait une croissance du trafic de 2,5 % par an, légèrement inférieure aux 3,5 % prévus par le secteur de l'aérien. Ce scénario, présenté à des professionnels du secteur, était souvent jugé peu réaliste car il poussait tous les paramètres à leur maximum. Le second scénario prenait en compte des retards technologiques, comme un déploiement de l'avion à hydrogène cinq ans plus tard que prévu. Avec des hypothèses moins optimistes, il nécessitait une stabilisation, voire une légère baisse du trafic, estimée à -0,7 % par an.

D'autres scénarios existent, notamment ceux développés par l'ADEME. Un outil appelé [AeroMaps](#), conçu par des chercheurs de l'ISAE-SUPAERO, permet d'explorer différentes trajectoires. Il s'agit d'une interface interactive qui permet d'ajuster différents paramètres, comme l'évolution des carburants ou les gains d'efficacité, et d'observer en temps réel leur impact sur la trajectoire de décarbonation du secteur.

L'un des enjeux soulevé par ces travaux concerne la répartition des ressources entre les différents secteurs. Développer des carburants bas-carbone pour l'aérien demande des ressources importantes, qui pourraient également être allouées à d'autres secteurs comme le transport maritime ou routier.

Frédéric FIATTE :

La question suivante s'adresse à Air France. Vous avez directement participé l'élaboration de la feuille de route article 301 de la Loi Climat et Résilience, mais aussi à l'élaboration d'autres scénarios de décarbonation, y compris en interne.

Pouvez-vous d'abord nous expliciter le processus d'élaboration et les grandes lignes du contenu de la feuille de route ?

Alexandre STUBER, Sustainability manager, Air France :

Il existe de nombreux rapports proposant différentes trajectoires, avec des scénarios qui jouent sur divers paramètres. Toutefois, une constante demeure : une trajectoire type met en avant plusieurs leviers d'action.

Pour revenir sur le contexte réglementaire, la loi Climat et Résilience de 2022 a demandé aux secteurs dits « *hard to abate* », ou « difficiles à décarboner », de produire leurs propres trajectoires afin d'aider l'État à construire la Stratégie nationale bas carbone (SNBC). Ce travail sectoriel n'a pas concerné uniquement l'aérien, mais aussi la production de ciment, le bâtiment ou encore le transport maritime. L'enjeu est désormais de rassembler ces différentes trajectoires, qui ont chacune leurs propres besoins en énergie, en matériaux, en ressources et en foncier, pour élaborer une vision d'ensemble cohérente.

Concernant la répartition des différents leviers, la courbe projetée (cf. *Figure 1* ci-dessous ou la slide 18 du [support de présentation](#)) illustre l'évolution des émissions du secteur.

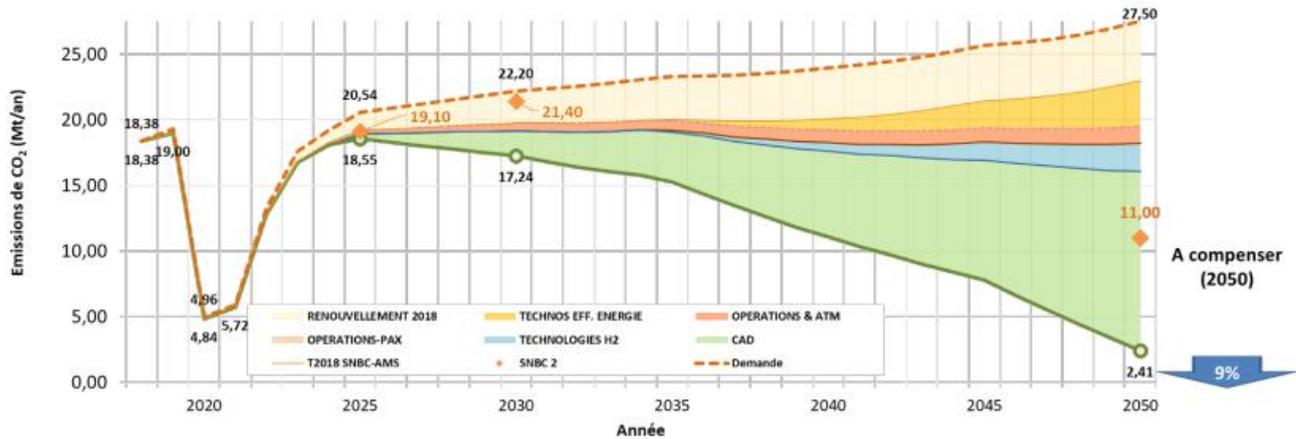


Figure 1 - Scénario « Accélération » vols internationaux au départ de la France (source : senat.fr)

- La ligne pointillée en haut représente la croissance attendue des émissions du trafic aérien si aucune mesure de décarbonation n'était prise. Elle repose sur une projection à partir des performances énergétiques observées en 2019 : efficacité des avions, opérations au sol et en vol, consommation de kérosène, donc exclusivement fossile. En multipliant cette situation de référence par la croissance de la demande, on obtient la première valeur du scénario. Les différents leviers permettent ensuite de réduire progressivement ces émissions.
- La première zone, en jaune pâle, représente les leviers disponibles immédiatement, notamment le renouvellement de la flotte. En effet, les émissions directes de CO₂ en tant que compagnie aérienne sont liées à 99% au kérosène brûlé dans les avions. Aujourd'hui, Airbus et Boeing mettent sur le marché des avions de nouvelle génération, plus économes en carburant. Ce renouvellement constitue une priorité pour les compagnies aériennes, puisque la consommation de kérosène représente 30 % de leurs dépenses. Ce levier est donc actionné en permanence, indépendamment de la question climatique.
- À partir de 2035, une deuxième zone jaune plus foncée, représente l'arrivée d'une nouvelle génération d'avions bénéficiant d'innovations technologiques, non seulement au niveau de leur structure, mais aussi de leur motorisation. En France, Safran travaille notamment sur des moteurs à hélices ouvertes, semblables à ceux de l'A400M militaire, pour améliorer l'efficacité énergétique.
- La bande orange au centre du graphique représente un autre levier disponible dès aujourd'hui : l'optimisation des opérations aériennes, en l'air et au sol. Cela inclut des pratiques telles que l'utilisation d'un seul moteur sur les taxiways¹, l'optimisation des trajectoires de vol et des procédures de décollage et d'atterrissage pour réduire la consommation de carburant. Certaines contraintes, comme l'obligation actuelle de contourner l'espace aérien russe, peuvent limiter néanmoins ces optimisations.
- Un autre levier, particulièrement optimiste, concerne le changement de vecteur énergétique avec l'électrification et l'hydrogène comme alternatives à long terme.
- Enfin, le dernier levier, et le cœur du sujet de cette table-ronde, concerne l'incorporation de carburants d'aviation durables. Ces carburants non fossiles, reposant dans un premier temps sur la biomasse, nécessitent un relais technologique avec le développement des carburants de synthèse. La trajectoire montre que, malgré les progrès réalisés grâce aux autres leviers, le développement de cette filière sera essentiel pour atteindre les objectifs de décarbonation du secteur.

Frédéric FIATTE :

Pouvez-vous préciser l'origine de la réglementation, notamment européenne, à l'origine du projet Take Kair ?

¹ Une voie de circulation d'un aéroport (le terme anglais « taxiway » est plus communément utilisé dans le jargon aéronautique) est une voie délimitée et aménagée pour le déplacement des avions entre les points de stationnement et les pistes.

Alexandre STUBER :

En matière de réglementation, la feuille de route du secteur du transport aérien, issue de l'article 301, a été remise à l'État français et intégrée aux travaux en cours sur la Stratégie nationale bas carbone (SNBC). Au-delà du cadre national, l'essentiel des obligations réglementaires pour le secteur aérien européen repose sur le règlement Refuel EU, adopté par la Commission européenne. Ce règlement instaure des mandats d'incorporation progressive de carburants non fossiles dans la consommation des vols au départ de l'Union européenne.

Depuis le 1er janvier 2025, une obligation impose à toute entreprise mettant du kérosène à la consommation sur un aéroport européen d'incorporer 2 % de carburants non fossiles sur l'ensemble de l'année. Ce pourcentage augmentera par paliers de cinq ans : en 2030, il passera à 6 %. À cette échéance, l'Union européenne a également introduit un sous-mandat spécifique aux carburants de synthèse. Ainsi, sur ces 6 %, 1,2 % devront provenir de carburants de synthèse.

À long terme, l'objectif fixé pour 2050 est d'atteindre une incorporation de 70 % de carburants durables, dont 35 % devront provenir de carburants de synthèse. Cette montée en puissance des obligations vise à structurer progressivement la filière et à anticiper les limites liées à la biomasse, qui ne suffira pas à long terme. Il s'agit donc dès maintenant de développer des alternatives comme les carburants de synthèse pour assurer une transition durable.

Loïc BONIFACIO :

La filière des carburants durables, qu'il s'agisse de biocarburants ou de e-kérosène, suit une trajectoire de développement progressif. Elle démarre principalement avec la biomasse, puis le e-kérosène prend progressivement le relais. De fait, le développement de projets comme celui présenté aujourd'hui est essentiel pour répondre aux premières obligations d'incorporation et pour structurer une filière capable d'évoluer à long terme. Il est nécessaire de lancer dès maintenant des projets pilotes, afin de démontrer leur viabilité et d'entraîner l'émergence d'autres initiatives similaires.

Sur le plan des stratégies de long terme, l'ensemble des acteurs s'accorde sur la nécessité de ces projets pour accompagner la transition du secteur aérien. Là où les divergences apparaissent entre scénarios, c'est sur la place accordée à la modération du trafic d'ici 2050. Certains envisagent une forte montée en puissance des carburants de synthèse, atteignant l'objectif des 35 %, tandis que d'autres considèrent qu'une réduction de la croissance du trafic peut jouer un rôle complémentaire dans l'atteinte des objectifs climatiques. En revanche, sur la nécessité de développer ces solutions dès aujourd'hui, il existe un consensus.

Frédéric FIATTE :

La question s'adresse maintenant à Estuaire.

Pouvez-vous nous décrire les impacts non CO₂ de l'aviation ? Existe-t-il déjà des solutions concernant ces derniers ?

Nicolas MEIJERS, Co-fondateur de Estuaire :

Estuaire travaille spécifiquement sur les effets hors CO₂ du transport aérien. Aujourd'hui, lorsqu'on évoque l'impact climatique de l'aviation, on parle majoritairement du CO₂, avec une équation simple : pour 1 kg de carburant brûlé, 3,16 kg de CO₂ sont rejetés dans l'atmosphère, uniquement lors de la combustion. À cela s'ajoutent d'autres phénomènes regroupés sous la catégorie des effets hors CO₂, le premier étant les traînées de condensation.

Les traînées de condensation ne sont pas des gaz à effet de serre, mais des nuages générés par le passage d'un avion dans une zone humide et froide. Les particules imbrûlées issues de la combustion se

transforment en cristaux de glace au contact de l'humidité ambiante. La plupart du temps, ces traînées disparaissent rapidement, mais dans environ 25 % des cas, elles persistent et deviennent de vrais nuages. Ces nuages, composés d'eau ou de glace, sont visibles sur certaines images satellites, comme celles montrant des formations blanches au-dessus de la péninsule ibérique. Leur impact est extrêmement localisé, avec seulement 3 % des vols responsables de 80 % de cet effet. En utilisant une métrique conservatrice d'équivalence CO₂, l'impact des traînées de condensation représente environ 30 % supplémentaires par rapport aux seules émissions de CO₂. Ce phénomène est difficile à quantifier avec précision, car il compare un effet de courte durée - un nuage persistant une douzaine d'heures - à un effet à long terme, le CO₂ restant dans l'atmosphère entre 100 et 200 ans.

Un autre effet important est lié aux oxydes d'azote (NOx). Dans les chambres de combustion des moteurs d'avion, les températures élevées provoquent la recombinaison des atomes d'azote avec l'oxygène, formant des NOx (NO et NO₂). Ces oxydes d'azote n'agissent pas directement comme des gaz à effet de serre, mais agissent sur les concentrations de méthane et d'ozone dans l'atmosphère, générant à la fois un effet réchauffant et refroidissant. Leur impact climatique est estimé à 16 % supplémentaires par rapport aux émissions de CO₂.

D'autres phénomènes contribuent également à l'empreinte climatique de l'aviation. La combustion du carburant libère divers gaz à effet de serre, notamment de la vapeur d'eau. Des particules de suie (des particules imbrûlées), ainsi que des oxydes de soufre, ont également un impact, bien que ces derniers aient un effet refroidissant. Ce panorama prend en compte l'impact direct des vols, mais en phase amont, d'autres éléments doivent être considérés, comme la construction des avions, la production des carburants et la consommation énergétique des infrastructures aéroportuaires.

Concernant les traînées de condensation, soit des nuages générés par les avions, il est possible de limiter leur impact via trois leviers. Les avions passent dans des zones humides et froides, qui sont très localisées. Des modèles météorologiques permettent de prédire, avant le départ d'un vol, les zones à éviter et contourner, soit verticalement, soit latéralement, pour éviter la génération des traînées de condensation. Une collaboration est en cours avec une compagnie aérienne européenne sur ce sujet. La Commission européenne demande d'ailleurs, dès cette année, aux compagnies de reporter certaines données pour affiner l'évaluation de l'impact des traînées.

D'autres pistes incluent le développement de moteurs prenant en compte ces phénomènes ou l'utilisation de carburants d'aviation durables, comme ceux du projet Take Kair. Ces carburants présentent des propriétés physico-chimiques légèrement différentes des kérosènes traditionnels, influençant la formation et la durée de vie des traînées. Plusieurs instituts de recherche travaillent actuellement à mieux comprendre ces interactions et à évaluer dans quelle mesure ces carburants pourraient réduire l'impact climatique des traînées de condensation.

3. Premier temps d'échange

Un membre de l'Association Sauvegarde et protection de la corniche nazairienne et de son environnement (SPCNE) demande si le e-carburant est utilisable dans les turboréacteurs et dans les turbopropulseurs.

Par ailleurs, si l'usine prévoit de fonctionner 24h sur 24, 7 jours sur 7, et sachant que l'alimentation de 125 000Twh pourrait être coupée, quelles seront les sources de secours ?

M. ROBIN (Head of Design chez Daher) indique que le e-carburant est utilisable de la même manière que le carburant d'origine fossile ; c'est le même carburant avec les mêmes propriétés.

Un élu à la communauté de communes Saint-Nazaire demande d'où provient le biocarburant et comment est-il acheminé.

Quelle est l'estimation du coût du e-kérosène par rapport au kérosène fossile ?

Concernant l'unité industrielle, est-ce qu'il existe des risques industriels ? Est-ce qu'il y a des émissions de gaz et de polluants dans l'air, dans le sol et dans l'eau ? Et quelles ont été les raisons du choix du site ?

M. FIATTE, animateur de la table-ronde, précise que des réponses aux questions directement en lien avec le projet ont déjà été apportées lors des réunions précédentes et que la table-ronde se concentre sur les sujets liés à la décarbonation de l'aérien. Une réunion de synthèse, le mardi 4 mars, reviendra sur les sujets liés au projet.

Une membre de l'Association Environnementale Dongeoise des Zones à Risque et du PPRT (AEDZRP) souligne que, depuis le début de la concertation Take Kair, le sujet de la modération du trafic est peu évoqué. Selon elle, c'est un levier important à actionner car activable tout de suite et qui pourrait avoir des répercussions immédiates, comme le démontrent des scénarios de l'ADEME.

Un membre de l'AEDZRP s'exprime également en faveur de la modération du trafic. Il demande aux intervenants si ces derniers croient en ce levier et ce qui sera mis en œuvre pour arriver à cette modération du trafic ?

Concernant les traînées de condensation, est-ce que les compagnies aériennes sont prêtes à modifier leurs trajets pour les diminuer voire les éviter ?

Selon **M. STUBER**, Air France est directement concernée par la modération du trafic. Il s'agit d'un sujet majeur. Il ne suffit pas de travailler uniquement sur la décarbonation de l'offre proposée ; il est également nécessaire d'aborder la question de la demande.

D'un point de vue factuel, dans le monde post-Covid, la demande pour le transport aérien repart à la hausse. Paradoxalement, certains segments, comme celui des jeunes voyageurs, continuent d'utiliser ce mode de transport. Cependant, des évolutions notables sont à souligner, en particulier sur le réseau domestique français. Le trafic y a fortement diminué : en comparaison avec la période pré-Covid, le trafic aérien point à point au sein du territoire national a quasiment été divisé par deux. Cette baisse ne relève pas uniquement d'un changement de comportement des voyageurs, mais également de l'impact de la réglementation. En effet, une loi interdit désormais les trajets aériens domestiques lorsque qu'une alternative ferroviaire de moins de deux heures trente existe. Ainsi, la question de la sobriété repose sur deux leviers principaux : les évolutions comportementales et les mesures réglementaires. Toutefois, dans le secteur du transport aérien, notamment pour les vols longs courriers, le marché est totalement ouvert. La principale difficulté réside dans la gestion d'un marché global avec des réglementations localisées, pouvant engendrer des effets de bord inattendus.

Concernant les comportements, Air France met en place des initiatives pour les inciter. Par exemple, le programme de fidélisation d'Air France intègre une approche favorisant la sobriété. Depuis début février, les clients disposant de points « miles » peuvent les utiliser non seulement pour des vols, mais également pour acheter des billets de TGV vendus par la SNCF. Cette initiative permet d'élargir les options d'utilisation des miles en dehors du transport aérien.

Une autre initiative concerne la possibilité offerte aux voyageurs, qu'ils soient particuliers ou entreprises, de contribuer volontairement à l'achat de carburant d'aviation durable, telle que l'option d'un bagage supplémentaire par exemple.

L'objectif est d'encourager des comportements qui amènent à la sobriété. Toutefois, il est important d'avoir une vision d'ensemble du secteur aérien. Si le marché français est aujourd'hui mature, certaines régions du monde connaissent un développement rapide du transport aérien, qui constituera une part significative de la croissance du secteur dans les années à venir.

M. ROBIN indique que, pour un constructeur aéronautique, la question de la modération est un sujet délicat, car l'activité repose sur la fabrication d'avions. Néanmoins, un changement de comportement est nécessaire afin de réduire le volume des vols et d'encourager un usage plus réfléchi et optimisé du transport aérien. Cela passe par un effort d'éducation. Chez Daher, des actions ont été mises en place en ce sens. Une application a été développée pour informer les utilisateurs sur leur consommation et leurs émissions de CO₂ à chaque vol. Par ailleurs, l'amélioration progressive des avions inclut l'intégration de modes d'utilisation recommandés et plus économes en carburant, à l'image des évolutions observées dans l'industrie automobile.

Ainsi, la modération repose sur une évolution de la demande et sur la sensibilisation des clients et des utilisateurs. Un mouvement se dessine progressivement, et l'éco-responsabilité devient une préoccupation croissante.

M. BONIFACIO complète sur la question de la modération. Il s'agit d'un levier essentiel. Les e-carburants permettent une réduction des émissions de CO₂ de 70 à 80 %, avec des effets variables sur les émissions hors CO₂. Cependant, la sobriété reste la solution la plus efficace : sans vol, les émissions de CO₂ et hors CO₂ sont réduites de 100 %, sans nécessiter aucune avancée technologique et pouvant être appliquée immédiatement.

Dans les feuilles de route, ce levier est clairement identifié comme crucial. Les associations qui travaillent sur ces sujets considèrent la modération du trafic comme un élément central, probablement le plus important, en particulier à court terme. Cependant, sa mise en application est extrêmement complexe. L'essentiel des émissions du transport aérien provient des longs courriers, qui relèvent d'une gestion internationale. Mettre en place une modération à cette échelle implique une coordination mondiale, déjà difficile au sein de l'Europe et encore plus compliquée à l'échelle du globe. Actuellement, la sobriété progresse donc très lentement et reste largement insuffisante.

Les évolutions comportementales sont contrastées. Par exemple, au sein de la jeune génération, certains renoncent à l'avion, tandis que d'autres l'utilisent fréquemment, influencés par un mode de vie où ce type de transport est largement promu. L'augmentation des prix peut aussi être un facteur limitant, mais ce n'est pas réellement de la sobriété, plutôt une forme de précarité : ce n'est pas un choix, mais une contrainte. Ce levier a été pris en compte dans les projections de la feuille de route française, mais même avec ces hypothèses intégrées, une croissance du trafic était toujours prévue. Cela montre que cette approche seule ne suffira pas, et qu'il est nécessaire d'aller plus loin.

Sur le plan économique, au-delà de l'impact des carburants durables, la question des taxes se pose également. Récemment, la taxe Chirac sur les billets d'avion a été instaurée, générant environ un milliard d'euros de recettes annuelles en France. C'est une avancée, mais des débats subsistent sur le niveau de sobriété à atteindre et les mesures fiscales à appliquer. Tous les acteurs ne s'accordent pas sur la marche à suivre. Ces sujets restent donc au cœur des travaux menés par les associations engagées sur ces enjeux.

Concernant l'évitement des traînées de condensation, **M. MEIJERS** explique que deux approches sont possibles : un contournement vertical ou latéral. L'évitement vertical implique généralement de voler plus bas, si l'appareil ne peut pas monter au-dessus de la zone humide et froide où se forment ces traînées. Cela entraîne une consommation accrue de carburant et donc une augmentation des émissions de CO₂.

Les compagnies aériennes travaillent sur ces enjeux en minimisant les coûts supplémentaires. Les solutions favorisées sont celles d'évitement à isocoût, soit en adaptant l'altitude de vol pour réduire la formation des traînées, soit en limitant au maximum la surconsommation de carburant associée.

Un point important à noter est l'initiative de la Commission européenne sur ce sujet. Dès 2025, un système de monitoring des effets des traînées de condensation sera mis en place. À partir de 2028, ces effets non-CO₂ seront intégrés au mécanisme d'échange de quotas d'émission (EU-ETS, *Emission Trading Scheme*). Actuellement, ce dispositif impose aux compagnies aériennes de payer pour leurs émissions de CO₂ sur les vols intra-européens, avec un prix du carbone estimé à 70 euros par tonne. L'intégration des effets non-

CO₂ dans ce mécanisme représentera une contrainte supplémentaire mais aussi un levier pour encourager l'évitement des traînées et la réduction de leur impact climatique.

Un membre des Shifters44 demande si le calcul effectué, montrant que le e-kérosène permettait de diviser par cinq les émissions de CO₂, prend en compte les effets des traînées de condensation.

Par ailleurs, la réouverture de la liaison vers Port Orly soulève des interrogations, notamment pour un trajet aller-retour d'1h30. L'industrie aéronautique a enregistré des gains d'efficacité énergétique d'environ 2 % par an depuis une vingtaine d'années, et pourtant, les émissions de CO₂ continuent d'augmenter. En observant les projections du GIFAS, ne risque-t-on pas d'assister à un effet rebond, où l'amélioration de l'efficacité serait compensée par une augmentation du volume de vols ?

M. STUBER indique que, dans le passé, tous les gains d'efficacité réalisés par le secteur aérien ont été plus que compensés par l'augmentation du trafic. Cela s'explique par le fait que ces gains ont permis aux compagnies d'opérer leurs avions à un coût marginal d'exploitation plus faible, augmentant ainsi la taille du marché. L'émergence des compagnies low-cost en est une illustration parmi d'autres. En réduisant les coûts d'exploitation des flottes, la demande s'est mécaniquement accrue.

Cependant, la situation évolue. L'un des principaux leviers de la décarbonation repose désormais sur l'incorporation des carburants d'aviation durables (CAD). Or, ces carburants présentent un coût nettement plus élevé que le kérosène fossile, ce qui pourrait limiter l'effet rebond observé par le passé. À titre d'exemple, en 2023, l'Agence européenne de la sécurité aérienne (EASA) indiquait que les CAD de type biocarburants, issus d'huiles de cuisson usagées et de graisses animales, étaient commercialisés à environ 2 700 euros la tonne. En 2024, leur prix est descendu autour de 2 000 euros la tonne. À titre de comparaison, le kérosène fossile s'achetait dans la même période entre 700 et 800 euros la tonne, soit un rapport de 1 à 3. Pour rappel, le carburant représente environ 30 % des coûts d'exploitation d'une compagnie aérienne. Avec l'obligation d'incorporer 10 % de CAD d'ici 2030, cela signifie qu'une part significative de ces coûts sera consacrée à un carburant trois fois plus cher que le kérosène classique. Cet impact financier devrait atténuer l'effet rebond observé jusqu'à présent et, par conséquent, renforcer une forme de sobriété, bien que celle-ci soit davantage contrainte qu'intentionnelle. Par ailleurs, à partir de 2030, l'introduction des carburants de synthèse viendra encore accentuer cette dynamique. Ces carburants seront bien plus coûteux que les biocarburants. L'augmentation progressive du prix du billet d'avion sera donc une conséquence inévitable de cette transition énergétique.

Un participant habitant à Donges souhaite savoir si le e-kérosène sera utilisable dans les avions militaires.

M. CAMPION (Directeur de l'usine Airbus Atlantic de Montoir de Bretagne) indique que les e-carburants sont des molécules similaires au Jet A1, le kérosène actuellement utilisé par les avions civils et militaires. Il n'y a donc aucune raison technique empêchant leur utilisation par les forces armées. Les moteurs des avions militaires et civils sont développés selon des principes similaires, même si leurs rapports de puissance diffèrent. Par ailleurs, les CAD, notamment ceux issus de la biomasse, sont déjà en usage. Certains avions, y compris ceux qui atterrissent quotidiennement à Montoir, comme les Belugas, fonctionnent avec un mélange contenant jusqu'à 50 % de ces carburants. Ces technologies sont donc éprouvées, du moins pour une incorporation à hauteur d'environ 50 % dans les moteurs d'aviation.

M. STUBER confirme que les avions utilisent des CAD, et qu'Air France en consomme une quantité significative. Pour donner quelques ordres de grandeur, en 2024, la production mondiale de CAD – qui, à ce stade, repose uniquement sur des biocarburants et non des e-carburants – est estimée à environ un million de tonnes. Air France-KLM a consommé 100 000 tonnes de CAD, soit 10 % de la production mondiale, alors que sa part dans la consommation globale de carburant aérien ne représente que 3 %. Cet écart illustre l'effort réalisé par Air France-KLM sur ce marché, bien au-delà de ce que son poids dans le

secteur pourrait représenter. Ce constat était encore plus marqué en 2022 et 2023, périodes durant lesquelles la consommation d'Air France représentait environ 17 % de la production mondiale de CAD.

Concernant l'armée, pour donner un autre ordre de grandeur, la consommation de Jet A1 en temps de paix par l'armée française est d'environ 350 kilotonnes. Cela représente un volume significatif, équivalent à la production d'une dizaine de projets comme Take Kair.

| *Un participant demande des précisions concernant la différence entre les types de carburants.*

M. STUBER présente une analogie avec la pompe à essence. Lorsqu'un automobiliste fait le plein, il a le choix entre plusieurs types de carburants : éthanol, diesel, essence. Cependant, un véhicule fonctionnant à l'éthanol ne pourra pas utiliser du diesel et réciproquement.

Dans l'aérien, la situation évolue d'un modèle où le kérosène était exclusivement issu du pétrole fossile vers un système plus diversifié, avec plusieurs filières de production basées sur différentes matières premières. Malgré cette diversité, l'avantage du secteur aérien réside dans le fait que, quelle que soit la voie de production utilisée et indépendamment du coût du carburant produit, toutes ces molécules restent compatibles avec les avions. Elles peuvent être embarquées et utilisées sans nécessiter de modifications majeures des appareils. C'est une différence majeure par rapport au secteur maritime, où l'avenir énergétique repose sur plusieurs types de carburants comme le e-méthanol ou le gaz naturel liquéfié. Or, en fonction de la technologie choisie, les navires doivent être conçus et adaptés en conséquence. Dans l'aérien, cette contrainte n'existe pas. Tous les carburants durables développés par différentes filières industrielles et technologiques pourront être utilisés par les avions en service aujourd'hui. C'est un atout considérable pour la transition énergétique du secteur.

| *Un participant demande si le e-carburant coûtera plus cher à fabriquer et quel est l'intérêt des compagnies aériennes d'y avoir recours.*

M. STUBER précise que, pour une compagnie aérienne dont 30 % des coûts sont liés au kérosène, l'enjeu principal est d'optimiser le pouvoir décarbonant du carburant tout en minimisant son coût. C'est l'indicateur clé dans cette transition, tout en veillant à respecter les critères environnementaux les plus stricts. Dans le cas d'Air France, les exigences européennes en matière de durabilité des carburants sont appliquées systématiquement, quel que soit le lieu d'embarquement du carburant à travers le monde. L'objectif reste donc clair : maximiser l'efficacité environnementale du carburant utilisé, tout en maîtrisant les coûts.

4. La décarbonation de l'aviation : quelle(s) stratégie(s) des acteurs de l'aérien ?

Frédéric FIATTE :

| *Les questions suivantes s'adressent aux constructeurs Airbus et Daher, deux acteurs industriels actifs sur le territoire : quelles sont aujourd'hui vos feuilles de route et vos stratégies de décarbonation privilégiées ?*

Christophe ROBIN, Head of Design, Daher :

Mon rôle consiste à superviser la conception des avions, aussi bien pour les modèles actuels que pour les développements à long terme. Je suis également chargé de la recherche et de la feuille de route de décarbonation de Daher.

Daher est le plus ancien avionneur encore en activité, qui produit des avions sans discontinuer depuis 1911. En 1913, Roland Garros traverse la Méditerranée avec un avion Morane-Saulnier, une marque qui appartient aujourd'hui à Daher. L'entreprise se positionne sur le marché de l'aviation générale, qui regroupe tout ce qui n'est ni aviation commerciale ni aviation militaire. Ce secteur englobe des missions variées, comme la

surveillance des feux de forêt, les évacuations sanitaires, l'aviation d'affaires ou encore l'aviation de loisirs. Daher produit actuellement des avions turbopropulseurs à hélice, qui peuvent fonctionner aussi bien au kérosène qu'avec des carburants d'aviation durable (biocarburants ou carburants de synthèse). Deux modèles sont en production : le TBM, un avion rapide de six places, et le Kodiak, un avion utilitaire conçu pour atterrir sur des terrains très courts, utilisé notamment en Afrique et en Amérique du Sud pour des missions sanitaires.

La feuille de route de Daher pour la décarbonation repose sur deux axes. Le premier concerne la réduction des émissions de ses propres avions. Le second passe par une collaboration avec l'ensemble des acteurs du secteur. Daher est membre du CORAC, le Conseil de l'orientation de la recherche pour l'aviation civile, aux côtés d'Airbus, Safran, Air France et Dassault. Ce comité vise à aligner les feuilles de route technologiques des avionneurs, des motoristes et des compagnies aériennes, afin d'optimiser les investissements et d'accélérer la transition vers une aviation plus propre.

Un exemple de projet issu de cette collaboration est *Ecopulse*, un avion à propulsion hybride développé par Daher (leader du projet), Airbus et Safran (motoriste). Ce programme a été lancé en 2019 et les essais en vol ont été achevés en 2024. L'objectif est de tester rapidement de nouvelles technologies grâce à un petit avion, ce qui permet de réduire les délais de développement. Ce type d'initiative profite à l'ensemble des acteurs : Safran progresse dans la maîtrise de ses moteurs, Airbus affine ses modèles de simulation pour des avions de plus grande taille, et Daher accélère son apprentissage des nouvelles technologies. La transition vers une aviation bas carbone repose sur un écosystème mobilisé autour d'un objectif commun. Un constructeur ne travaille pas seul, il s'appuie sur des partenariats avec des motoristes, des compagnies aériennes et des fournisseurs de carburants. Bien que Daher ne soit pas impliqué directement dans la production d'e-kérosène, soutenir le développement de cette filière est essentiel pour garantir la disponibilité future de ces carburants.

Concernant sa propre feuille de route, Daher vise un objectif de neutralité carbone d'ici 2050, suivant une trajectoire similaire à celle de l'aviation commerciale. Pour y parvenir, plusieurs leviers doivent être actionnés simultanément. L'amélioration de l'efficacité énergétique passe par l'optimisation des moteurs, une meilleure aérodynamique - avec notamment un travail sur la voilure - et une réduction du poids des avions grâce à l'utilisation de matériaux composites. Des recherches sont également menées sur le recyclage de ces matériaux. Parallèlement, l'intégration d'énergies moins carbonées, comme les e-carburants et l'électricité, joue un rôle clé.

Daher accompagne aussi ses clients dans l'adoption de pratiques plus écoresponsables, en introduisant progressivement des améliorations incrémentales, permettant des gains d'efficacité de quelques pourcents par an. L'objectif est d'accélérer autant que possible la transition vers une aviation neutre en carbone. Toutefois, atteindre la neutralité carbone sera impossible sans une incorporation significative de carburants durables. L'instauration d'un mandat européen imposant leur utilisation est une avancée positive, qui doit encourager le développement et la structuration de cette filière. Il est nécessaire que l'industrie pétrolière évolue pour que ces carburants soient disponibles à grande échelle dans les années à venir.

Frédéric FIATTE :

La parole est à Airbus Atlantic pour nous partager la vision d'un constructeur mondial.

Stéphane CAMPION, Directeur de l'usine Airbus Atlantic de Montoir-de-Bretagne :

La feuille de route d'Airbus suit une approche en plusieurs étapes, couvrant l'ensemble des leviers de décarbonation du secteur.

Les avions modernes actuels, comme l'A350, l'A330 NEO et les monocouloirs NEO, consomment environ 30 % de carburant en moins par rapport à la génération précédente. Cette amélioration représente un avantage économique pour les compagnies aériennes, avec une réduction de 30 % des coûts en carburant,

mais aussi une diminution proportionnelle des émissions de CO₂. En plus de cette baisse de consommation, ces nouveaux moteurs permettent une réduction significative du bruit.

La deuxième phase de la feuille de route repose sur des innovations progressives visant à améliorer l'efficacité des avions existants. Airbus travaille sur des matériaux plus légers, l'optimisation des voilures pour réduire la traînée et le développement de moteurs plus sobres en partenariat avec des motoristes comme Safran, Pratt & Whitney et Rolls-Royce. L'objectif est de maximiser les performances des avions en service tout en explorant des ruptures technologiques sur la motorisation.

Le troisième volet concerne l'optimisation des opérations aériennes. L'amélioration des phases de montée et de descente des avions permet de réduire la consommation de carburant. Des solutions sont également testées pour limiter la consommation au sol, comme l'utilisation d'un seul moteur lors du roulage ou l'installation de moteurs électriques sur les trains d'atterrissage. Une autre innovation en cours d'étude consiste à faire voler les avions en formation, à l'image des oiseaux, pour bénéficier d'une réduction de la traînée aérodynamique et diminuer la consommation des avions suiveurs comparé à l'avion de tête.

L'étape suivante porte sur l'utilisation de carburants durables, qu'il s'agisse de biocarburants ou de e-kérosène. Les moteurs actuels sont déjà compatibles avec ces carburants. Airbus utilise jusqu'à 50 % de carburants durables dans ses Belugas, qui se posent plusieurs fois par jour à Montoir pour embarquer des sections d'avion. Des ATR effectuant des liaisons régulières entre Toulouse et Montoir volent également avec des carburants durables. Il n'existe pas de contrainte technologique empêchant l'usage de ces carburants, et des études sont en cours pour s'assurer que les moteurs vieillissent correctement sur la durée et valider l'utilisation de ces carburants à 100 % d'ici 2030. L'enjeu principal n'est pas technologique, mais lié à l'écosystème : plus la production de e-kérosène augmentera, plus son coût diminuera, facilitant son adoption massive par les compagnies aériennes.

À plus long terme, Airbus travaille sur une transition vers l'hydrogène comme source d'énergie directe. Le principe est similaire à celui des moteurs de fusée : l'hydrogène combiné à l'oxygène produit de l'eau sans émission de carbone. Cependant, cette solution pose des défis technologiques et logistiques. L'hydrogène doit être stocké à des températures inférieures à -150°C, nécessitant des réservoirs spécifiques avec des enjeux de sécurité. De plus, il faudrait développer une infrastructure mondiale pour produire, stocker et distribuer l'hydrogène liquide dans les aéroports : un défi considérable. Bien que cette technologie puisse jouer un rôle dans la décarbonation, elle sera probablement adaptée en priorité aux avions régionaux avant d'être envisagée pour des vols long-courriers.

L'ensemble de cette feuille de route suit une progression cohérente avec la stratégie de l'industrie. L'usage des carburants d'aviation durables est déjà une réalité et continuera à se développer rapidement. Contrairement aux solutions à très long terme comme l'hydrogène, les carburants durables sont disponibles dès aujourd'hui et constituent un levier immédiat pour réduire les émissions de l'aviation.

Frédéric FIATTE :

Dans la suite directe de la chaîne des acteurs, la question suivante s'adresse aux compagnies aériennes, dont Air France est le représentant ce soir.

Quelle est la disponibilité des carburants d'aviation durables (CAD) aujourd'hui ? À quel prix ? Anticipez-vous une hausse des coûts et donc une hausse des prix du billet ?

Alexandre STUBER :

L'émergence d'une filière de CAD repose sur plusieurs éléments. À court terme, l'Union européenne a déjà instauré des mandats d'incorporation depuis le 1^{er} janvier 2025. D'ici 2030, il n'y a pas d'inquiétude majeure sur la disponibilité des volumes requis. Les 2 % de carburants durables imposés par la réglementation seront fournis grâce à la production issue de la biomasse, et les entreprises distribuant du kérosène dans l'Union européenne respecteront cette obligation.

L'échéance de 2030 marque une étape importante avec une obligation de 6 % de carburants durables au départ de l'Union européenne. Pour Air France-KLM, l'objectif interne est encore plus ambitieux, avec une incorporation de 10 %. Cette différence s'explique par le fait que tous les vols de la compagnie ne partent pas de l'Union européenne. En intégrant la part de vols alimentés hors de l'UE, l'obligation réglementaire de 6 % représente en réalité entre 4 et 5 % pour l'ensemble de la flotte Air France-KLM. L'objectif affiché est donc de doubler cette exigence pour accélérer la transition.

Si le respect du mandat global de 6 % ne pose pas de problème particulier, le défi réside dans le sous-mandat concernant le e-kérosène, qui impose une incorporation de 1,2 % en 2030. À ce jour, aucun site de production industrielle de e-kérosène n'est opérationnel. Il est donc impératif que des projets comme Take Kair atteignent rapidement la phase de décision finale d'investissement et amorcent la construction d'infrastructures de production. Cette situation représente une incertitude, mais en dehors de ce point, les objectifs réglementaires des 6 % d'incorporation restent atteignables.

L'échéance suivante, en 2035, prévoit une incorporation de 20 %, dont 5 % de e-carburants. Jusque-là, il n'y a pas d'inquiétude majeure, sous réserve que les projets de production de e-kérosène aboutissent. Au-delà, le défi sera plus important.

Sur la question du coût, un enjeu majeur pour les compagnies aériennes européennes est celui des fuites de carbone. L'application des mandats européens crée un risque de distorsion de concurrence avec les transporteurs hors UE. Par exemple, un passager français cherchant un vol de Nice à Singapour dispose de plusieurs options : passer par Paris-Charles-de-Gaulle avec Air France, par Istanbul avec Turkish Airlines, par Francfort avec Lufthansa, par Doha avec Qatar Airways... Le problème ne réside pas seulement dans le coût pour les compagnies européennes, mais dans le fait que certaines alternatives offrent des tarifs bien plus compétitifs. En choisissant Turkish Airlines via Istanbul, un passager évite en grande partie l'obligation d'incorporation de CAD imposée par l'Union européenne. Dans ce cas, seul le segment Nice-Istanbul est concerné par la réglementation, alors qu'un vol via Paris-Charles-de-Gaulle serait soumis à l'obligation sur l'ensemble du trajet. Cette différence se traduit par un surcoût estimé à environ 110 euros pour un aller-retour Nice-Singapour via Paris-CDG, comparé à une correspondance via Istanbul.

Cette situation soulève un enjeu de compétitivité entre compagnies aériennes internationales. L'application des réglementations environnementales européennes, bien qu'indispensable, doit tenir compte de ces disparités pour éviter un report du trafic vers des hubs non soumis aux mêmes contraintes.

5. Focus sur le e-kérosène : quelle place dans les mesures de décarbonation ? Quelles perspectives et quelles limites ?

Frédéric FIATTE :

Le e-kérosène est cité par les acteurs comme une des solutions pour décarboner l'aviation. Outre Take Kair, d'autres projets se développent en Europe et en France. Se pose alors la question des perspectives d'espoir offertes par le e-kérosène et notamment la structuration en cours d'une filière industrielle sur le territoire français et en Pays de Loire.

La principale limite potentielle serait la disponibilité des ressources pour fabriquer le e-kérosène. C'est également un sujet de préoccupation qui est souvent revenu pendant la concertation Take Kair.

Aéro Décarbo, que pouvez-vous en dire ? Comment travaille le secteur là-dessus ?

Loïc BONIFACIO :

La question essentielle concernant les carburants durables est leur capacité à être produits en quantité suffisante. Actuellement, ce sont les biocarburants qui se développent en premier. Les mandats européens imposent 2 % d'incorporation, fournis majoritairement par la biomasse. En 2030, l'obligation passe à 6 %, avec 4,8 % de biocarburants et seulement 1,2 % d'e-carburants. En 2035, la part totale atteint 20 %, dont 15 % de biocarburants et 5 % d'e-carburants. Les biocarburants sont privilégiés dans un premier temps, mais leur potentiel est limité par la disponibilité des ressources et des gisements exploitables. C'est pourquoi les feuilles de route incluent progressivement les carburants de synthèse. Une question demeure : ces carburants pourront-ils être produits en quantité suffisante pour répondre aux besoins du secteur ?

En France, les projections estiment que l'aérien nécessitera environ 100 TWh d'électricité en 2050. À titre de comparaison, la production électrique actuelle, tous secteurs confondus, est de 500 TWh et devrait augmenter jusqu'à 645 TWh. L'aérien représenterait donc 15 % de la production nationale dans un scénario combinant biocarburants, e-carburants et hydrogène. Si l'aviation devait fonctionner uniquement avec du carburant de synthèse, la consommation grimperait à 200 TWh, soit 30 % de l'électricité française.

D'autres secteurs auront également des besoins énergétiques croissants. Le maritime présente des besoins similaires à ceux de l'aérien, tandis que le transport routier nécessitera à lui seul une centaine de TWh. En cumulant les différentes demandes énergétiques, il devient évident que la production nationale ne suffira pas et qu'il faudra importer une partie des carburants. Or, à l'échelle mondiale, les ordres de grandeur sont comparables : il faudrait 15 % de l'électricité mondiale pour décarboner l'aviation globale. La question centrale est donc de savoir si une telle part des ressources énergétiques pourra être allouée à l'aviation.

Certains acteurs industriels adoptent une vision optimiste, misant sur des avancées technologiques pour relever ce défi. À l'inverse, d'autres acteurs, dont l'association Aéro Décarbo, estiment qu'il est peu probable que l'aérien puisse capter une proportion aussi importante de l'énergie disponible. Tous ces acteurs se rejoignent cependant pour dire que des projets comme celui de Take Kair sont vitaux. Jusqu'en 2030-2035, il n'y a pas d'inquiétude majeure sur la capacité à répondre aux objectifs fixés. Néanmoins, après cette échéance, la demande en carburants durables devrait augmenter de manière exponentielle, et la possibilité d'y répondre deviendra plus incertaine. C'est pourquoi la question de la modération du trafic revient régulièrement dans le débat. Pourtant, cette question est encore très peu abordée et appliquée dans les politiques publiques et les stratégies industrielles.

Nicolas MEIJERS :

En Europe, un mécanisme de financement indirect est prévu pour soutenir l'achat de carburants d'aviation durable (CAD) par les compagnies aériennes. Cela passe notamment par l'attribution de quotas d'émissions gratuits dans le cadre du système d'échange de quotas d'émissions de l'Union européenne (ETS). Ce dispositif, bien que limité en volume, vise à compenser en partie le surcoût des CAD, en particulier des e-carburants, et à encourager leur adoption.

Au-delà de la question du financement des e-carburants, l'ensemble des acteurs du secteur aérien s'organise pour accompagner la décarbonation. Les constructeurs et les compagnies aériennes sont évidemment en première ligne, mais d'autres acteurs jouent un rôle clé. Les banques, qui financent le secteur aérien, accordent une attention croissante à la performance environnementale des compagnies. Elles analysent notamment l'intensité carbone des flottes, en mesurant les émissions de CO₂ par passager-kilomètre, afin de proposer des conditions de financement plus avantageuses aux compagnies adoptant des pratiques plus vertueuses, que ce soit pour l'achat d'appareils neufs ou pour des emprunts.

Les aéroports participent également à cette transition en modulant leurs redevances en fonction de la performance carbone des avions. Cela concerne notamment les émissions générées au sol, appelées les émissions LTO (Landing and Take-Off Cycle). Certains aéroports, comme celui de Bordeaux, travaillent aussi

sur des mécanismes de distribution de CAD, explorant par exemple des allocations ségréguées pour certains vols afin d'optimiser l'utilisation des CAD.

Enfin, de nombreuses entreprises font voyager leurs salariés. Pour certaines d'entre elles, le transport aérien est un outil de travail indispensable. Conscientes des enjeux environnementaux, elles sont prêtes à absorber une partie du surcoût des CAD en passant directement des contrats avec les compagnies aériennes pour financer l'achat de CAD. Ce type de partenariat permet d'accélérer l'intégration des CAD dans le secteur et de soutenir leur développement à grande échelle.

Christophe ROBIN :

Dans l'aviation générale, la sensibilité au coût est moindre par rapport à l'aviation commerciale. Les utilisateurs sont plus enclins à payer un surcoût pour des carburants durables, et cela se fait souvent de manière volontaire. Cette dynamique est importante à souligner, car elle montre une volonté d'engagement de la part des acteurs de ce secteur.

Chez Daher, toutes les opérations internes, y compris les essais en vol et les premiers legs de convoyage, sont réalisées avec des CAD. Bien que cela représente un coût supplémentaire, cette démarche est assumée car elle s'inscrit dans une prise de conscience plus large au sein de l'aviation générale.

Cependant, la principale difficulté pour l'aviation générale n'est pas tant le prix des carburants durables que leur accessibilité. Contrairement aux grands hubs comme Roissy, où la forte demande facilite l'approvisionnement en CAD, l'aviation générale repose sur un réseau de petits terrains où la logistique est plus complexe. L'exemple de Tarbes illustre bien cette contrainte : il a fallu deux ans pour y rendre les CAD disponibles, alors même qu'il ne s'agit pas du plus petit terrain du réseau. La distribution des carburants durables reste donc un défi majeur pour le développement de leur utilisation dans l'aviation générale.

7. Troisième temps d'échange

Un membre de Shifters44 demande à M. Stuber quelles seraient les conséquences si Air France n'atteignait pas les objectifs d'incorporation de CAD.

Il soumet l'hypothèse de ne pas produire de e-kérosène en trop grosse quantité, ce qui permettrait de réduire les coûts, pour à l'inverse « maintenir artificiellement un prix haut » et permettre un effet de sobriété.

Les Shifters44 ont lu le rapport d'e-carburant de l'ADEME, RTE, l'Académie des sciences, et selon celui-ci, le besoin en électricité pour toutes les applications de l'hydrogène, y compris industrielles, se situe autour de 50 TWh. Comment pourra-t-on atteindre 100 TWh pour produire les e-carburants ? Comment appréhendez-vous les modèles de RTE par exemple ?

M. STUBER explique que le mandat européen sur l'incorporation des CAD ne repose pas directement sur les compagnies aériennes, mais sur les metteurs à la consommation de carburant - c'est-à-dire les fournisseurs comme Total, Exxon, Chevron ou BP, qui approvisionnent les aéroports européens en kérosène. L'obligation européenne leur impose un certain pourcentage de CAD dans le carburant mis à la consommation. En pratique, ces fournisseurs répercutent le coût supplémentaire sur les compagnies aériennes via une surcharge sur le carburant acheté. À leur tour, les compagnies intègrent cette augmentation dans le prix des billets, ajustant ainsi le coût pour les passagers.

Si un metteur à la consommation ne respecte pas cette obligation, une pénalité est prévue, équivalente à deux fois l'écart de prix entre le CAD requis et le kérosène fossile non incorporé. Cette sanction n'est pas libératoire : l'obligation reste en vigueur, et la quantité de CAD non mise en circulation doit être compensée l'année suivante. La mise en œuvre détaillée de ces pénalités est encore en cours de finalisation par la Direction générale de l'aviation civile (DGAC) en France.

Un participant s'interroge sur le devenir des anciens avions.

Par ailleurs, où est produit le biocarburant et à partir de quelle matière première ? Des forêts sont-elles déforestées pour produire de l'huile de palme ?

Enfin, serait-il envisageable de taxer les kilomètres parcourus au-dessus de l'espace européen, pour éviter les différences de prix expliquées par M. Stuber concernant l'exemple d'un trajet Nice-Singapour ?

M. CAMPION souligne que le recyclage est un sujet important. Comme tout industriel, Airbus dispose d'usines dédiées au démantèlement des avions en fin de vie. L'une d'elles est située à Tarbes. On y démonte les avions et recycle un maximum de matériaux. Par ailleurs, les avions produits aujourd'hui intègrent une proportion beaucoup plus élevée de matériaux recyclables par rapport aux générations précédentes. Des sites spécialisés existent donc pour récupérer et réutiliser l'aluminium, les composants électriques, et bien d'autres éléments.

M. STUBER indique que, Air France-KLM n'étant pas producteur de carburants, la compagnie se repose sur la réglementation en vigueur et les critères de durabilité établis. En tant que compagnie aérienne mondiale, un engagement a été pris chez Air France-KLM pour appliquer partout les critères définis par l'Union européenne, indépendamment du lieu de départ des vols. Ainsi, même pour un vol au départ de Los Angeles, aucun biocarburant de première génération, produit à partir de maïs par exemple, n'est utilisé, contrairement à certaines pratiques aux États-Unis. Cette approche garantit une cohérence environnementale et évite une différenciation des critères selon les régions du monde. La réglementation s'appuie sur des certificateurs reconnus, principalement ISCC et RSB, qui assurent que les carburants respectent les exigences européennes.

Toutefois, la question des matières premières utilisées reste un enjeu majeur. Aujourd'hui, les principaux intrants sont l'huile de cuisson usagée et les graisses animales, provenant en grande partie d'Asie. Une unité de raffinage majeure, située à Singapour et exploitée par Neste, figure parmi les principaux producteurs de biocarburants. Un autre site de raffinage est implanté à Rotterdam. Des initiatives positives émergent néanmoins, comme celles annoncées par TotalEnergies, qui prévoit une production accrue de biocarburants à court terme. Des raffineries comme celle de Gonfreville, près du Havre, ou celle de Grandpuits, au sud-est de Paris, s'engagent à privilégier des matières premières issues d'un périmètre européen afin d'éviter les risques de fraude liés à l'importation de ressources d'Asie. Cette vigilance est essentielle pour préserver la crédibilité de la filière et assurer son rôle dans la décarbonation du transport aérien. Malgré la complexité du suivi, les schémas de certification restent le principal outil de contrôle, sur lesquels Air France-KLM repose.

M. MEIJERS indique que le secteur aérien est déjà soumis à une taxation à travers le mécanisme ETS (Emissions Trading System), qui impose un coût de 70 euros par tonne de CO₂ émise. Le mandat d'incorporation de CAD ne vise pas à pénaliser les compagnies aériennes, mais plutôt à encourager leur décarbonation en favorisant l'adoption d'une solution technologique : l'utilisation de carburants durables.

Il s'agit de deux approches distinctes : d'un côté, une taxation basée sur les émissions de CO₂, et de l'autre, une obligation imposée aux fournisseurs d'énergie d'incorporer un certain pourcentage de CAD dans le carburant livré aux aéroports européens. Si l'objectif était d'augmenter la taxation du transport aérien, un renforcement du système existant pourrait être envisagé, mais cela relèverait d'une démarche différente.

Concernant les effets de bord liés aux taxes appliquées au transport aérien, **M. BONIFACIO** explique que le principal risque réside dans l'arbitrage économique des compagnies aériennes : si la taxe est faible, il devient plus avantageux de la payer plutôt que de modifier les trajets. Dans ce cas, son impact environnemental reste limité. En revanche, si la taxe est élevée, certaines compagnies pourraient contourner l'Europe pour l'éviter, ce qui entraînerait une augmentation des émissions de CO₂ en raison des distances supplémentaires parcourues. Ce dilemme illustre la difficulté à concevoir une régulation efficace

à l'échelle internationale. L'enjeu majeur est d'obtenir une coordination entre tous les acteurs afin d'éviter ces stratégies d'évitement qui réduiraient l'efficacité des mesures environnementales.

Concernant la taxe récemment adoptée, d'un montant d'un milliard d'euros, son application concerne les vols au départ de la France. Peu importe le nombre d'escales, la taxation couvre l'ensemble du trajet jusqu'à la destination finale. Cependant, des moyens de contournement existent, comme l'achat de billets séparés pour éviter que le vol soit considéré comme un itinéraire unique. Bien qu'aucune réglementation ne soit totalement hermétique aux stratégies d'évitement, ces problématiques ont été prises en compte dans la conception du dispositif, afin de limiter au maximum ces effets de bord.

M. STUBER indique qu'il existe aussi un enjeu sur les redevances aériennes. Lorsqu'un avion, qu'il soit commercial ou non, survole un territoire, une redevance doit être versée à l'État concerné pour financer la gestion du trafic aérien et les services associés. Cependant, ces frais varient d'un pays à l'autre. Hors d'Europe, ces différences de taxes peuvent inciter certaines compagnies à modifier leurs itinéraires pour éviter de survoler certaines zones uniquement pour des raisons économiques, parfois au détriment d'une optimisation des trajectoires et de la réduction des émissions. L'harmonisation des redevances de survol à l'échelle mondiale pourrait être une solution efficace pour limiter ces pratiques et favoriser des trajets plus directs et écologiquement optimisés. Cependant, cela impliquerait une coordination internationale complexe entre les États.

Un participant demande d'où proviendra l'eau nécessaire à la production de l'usine Take Kair et si Donges a les ressources nécessaires.

M. FIATTE rappelle que des réponses aux questions portant directement sur le projet ont déjà été apportées lors des précédentes réunions. La réunion de synthèse du mardi 4 mars reviendra sur ces sujets.

Une participante exprime sa difficulté à comprendre comment l'addition des besoins en térawatts - pour l'aviation, le transport maritime, le commerce, la production d'hydrogène, etc. - aboutit à un total dix fois supérieur à la capacité actuelle de production. L'annonce d'un coup de frein, voire d'un arrêt, des recherches d'Airbus sur l'avion à hydrogène l'interpelle également. D'où vient ce revirement ? Quels sont les principaux obstacles ? Existe-t-il des difficultés communes entre l'avion à hydrogène et les initiatives menées avec le projet Take Kair ?

M. CAMPION explique qu'il ne s'agit pas d'un "coup de frein", mais d'un constat. Des alternatives telles que le e-kérosène ou le kérosène issu de biomasse existent déjà sur le plan technologique. L'hydrogène, en revanche, soulève deux grandes difficultés : son stockage et son intégration dans un avion, qui diffère fondamentalement d'une fusée, ainsi que la mise en place d'une infrastructure mondiale adaptée à sa production, son stockage et son approvisionnement.

Les recherches menées ont révélé que ces défis sont encore plus complexes que prévu. L'échéance de 2035 pour les premiers vols ne pourra donc pas être tenue, et un délai supplémentaire est nécessaire pour assurer la maturation de la technologie et le développement des infrastructures. Toutefois, cela ne remet pas en cause la poursuite des travaux sur l'avion à hydrogène. Il s'agit simplement d'un ajustement du calendrier, inhérent aux processus de recherche et développement.

La participante précise son intervention. Il existe également des coûts relatifs à l'hydrogène (d'électricité, de construction d'électrolyseurs...). Est-ce que cette problématique est prise en compte dans le projet ?

Mme ANCEAU explique que la principale différence avec le projet Take Kair réside dans la gestion de l'hydrogène. Dans le cadre du projet, l'hydrogène est produit sur place par électrolyse et immédiatement transformé en e-kérosène, ce qui permet d'éviter les contraintes logistiques liées à son transport et à son stockage. Ensuite, le projet s'appuie sur une chaîne logistique déjà bien maîtrisée et en place depuis des décennies : celle du transport du kérosène.

Un membre de la SPCNE interroge la quantité d'électricité nécessaire pour le fonctionnement de l'usine. Selon lui, l'électricité ne sera pas 100 % renouvelable.

Mme ANCEAU précise que l'approvisionnement en l'électricité du projet n'est pas uniquement de l'énergie renouvelable, mais également de l'énergie bas carbone, donc nucléaire.

8. Conclusion et remerciements

L'animateur rappelle le calendrier du projet et la fin de la concertation le 9 mars. Il invite les participants à la réunion de synthèse du 4 mars, à Donges.
