

Décarbonation du secteur aérien: Quel avenir pour la France?

Adèle ABADA, Elliot GAMPEL, Valentin-Tomoki ROY,
Pierre-Esteban SOUBESTE, Keanu TOOFA

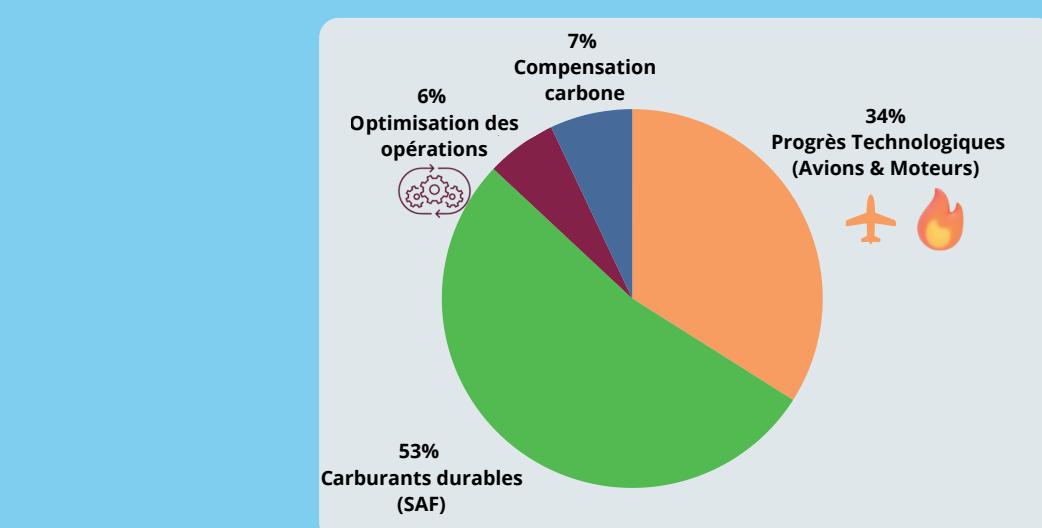
INTRODUCTION

L'aérien est un contributeur majeur aux émissions mondiales de CO₂ (2,8% des émissions). On lui attribue 8% de la consommation mondiale de pétrole, sous forme de kérosène. En 2024, c'est 22,1 millions de tonnes de carburant utilisé pour tout le transport aérien français. Enfin, on calcule en moyenne 9kg CO₂/100km/pax ce qui correspond au moyen de transport le plus polluant, son empreinte devrait être divisée par 10 d'ici 2050 pour respecter les accords de Paris.

Des efforts ont été déployés par les industriels (avionneurs/compagnies aériennes) dans cette direction. On peut principalement citer ces points : fuselage en carbone plus léger, moteur plus efficient, et enfin l'inclusion de SAF dans le kérosène. C'est ce point qui nous intéresse.

Les **SAFs (Sustainable Aviation Fuel)** sont des carburants de synthèse, durable, et qui réduisent grandement l'impact du secteur aérien sur l'environnement. Sa combustion génère naturellement du CO₂, mais celui-ci était déjà dans l'environnement, et non stocké sous forme de pétrole.

MOTIVATIONS



Dans le meilleur scénario, les améliorations techniques pourraient permettre une diminution de 2,2% de l'intensité énergétique. (rapport Waypoint 2050)

Focus : Le développement des SAFs

IMPOSER LES SAFs

ReFuelEU Aviation

Une contrainte de volume est fixé sur l'apport en carburant. Les fournisseurs de carburant dans les aéroports de l'UE doivent incorporer plus de SAF (carburant d'aviation durable) dans le kérosène fossile.

Trajectoire d'incorporation :

2025 : 2% 2035 : 20%
2030 : 6% 2050 : 70% (dont 35% de e-fuels)

CORSIA & objectif Net Zéro 2050

Le dispositif CORSIA, porté par l'OACI, encadre les émissions de l'aviation internationale via des mécanismes de compensation. Les SAF sont reconnus comme un levier de réduction, sans obligation chiffrée contraignante.

Trajectoire internationale :

2021-2023 : phase pilote (volontaire)
2024-2026 : première phase volontaire
2027-2035 : phase obligatoire pour les États participants
2050 : objectif sectoriel mondial de neutralité carbone (Net Zéro)

SEQE-UE (quotas d'émissions)

Les compagnies doivent acheter des droits d'émission pour leurs vols intra-européens selon un principe de cap-and-trade. La suppression progressive des quotas gratuits renchérit le coût du kérosène fossile et renforce l'intérêt économique des SAF.

Trajectoire entre 2024 et 2026 :

2024 : -25 % de quotas gratuits
2025 : -50 %
2026 : suppression totale des quotas gratuits



Loi Climat et Résilience (2021) – Taxe Chirac

La loi Climat et Résilience vise à réduire l'empreinte carbone du transport aérien en France, principalement par des mesures de sobriété et de signal-prix. Elle n'impose pas directement l'usage des SAF.

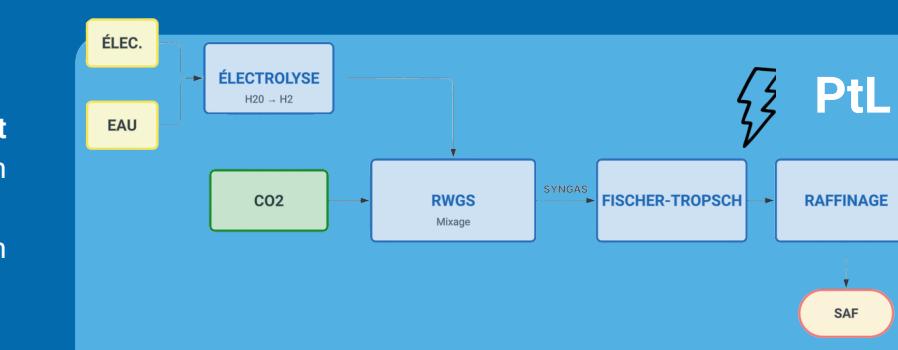
Trajectoire nationale :

2021 : adoption de la loi
2023 : interdiction de liaisons aériennes intérieures avec alternative ferroviaire < 2h30
2024-2030 : maintien de la taxe Chirac (1,5 € à 18 € par billet)
Absence de trajectoire obligatoire d'incorporation de SAF

LES TECHNOLOGIES

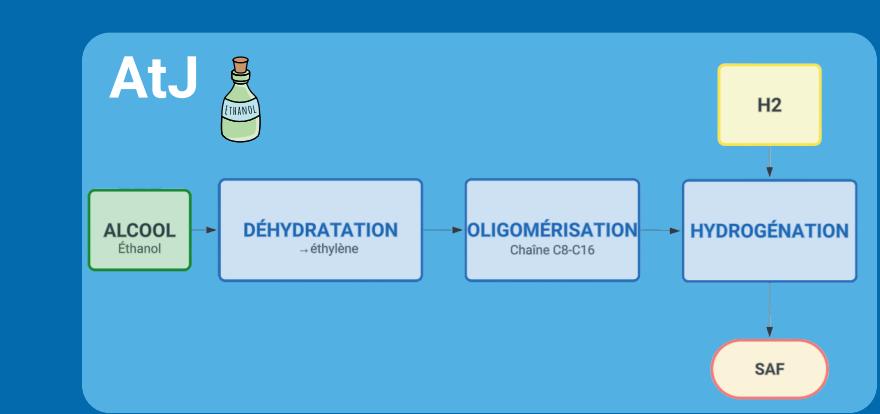
HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)

Le processus HEFA repose sur l'utilisation de matières premières telles que les huiles végétales, de cuisson ou les graisses animales. Le processus se caractérise par une étape d'hydro-traitement suivie d'une isomérisation permettant d'obtenir un carburant "drop-in". Il s'agit de la solution la plus mature pouvant être mélangée à 50% avec du jet A1, elle est déjà certifiée commercialement et constitue la voie la moins coûteuse du marché.



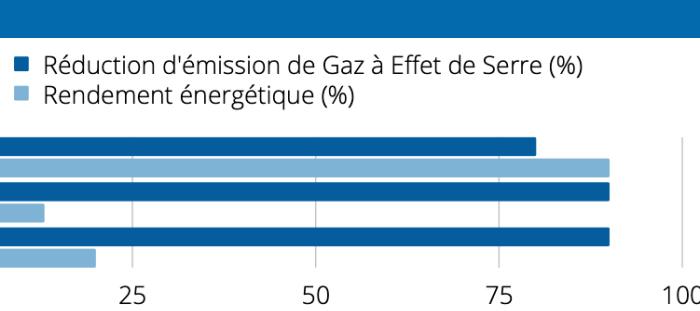
FT / GtL (Fischer-Tropsch / Gas-to-Liquid)

Synthèse à partir de gaz naturel ou de biomasse pour créer un e-fuel par gazéification, reformage puis par synthèse Fischer-Tropsch. Le raffinage permet de séparer les différents éléments issus de la synthèse FT (Cires, Diesel, kérosène, etc.).



AtJ (Alcohol-to-Jet)

La filière AtJ exploite des alcools comme l'éthanol ou le butanol, produits à partir de matières premières telles que les sucres, la biomasse ou même du CO₂ fermenté. La technologie repose sur une suite de transformations chimiques incluant la déshydratation, l'oligomérisation et l'hydrogénération. Bien que prometteuse, cette technologie demeure encore peu industrialisée par rapport aux solutions plus anciennes comme l'HEFA.



PROSPECTIVE 2050

Les atouts du territoire français pour la transition

MIX ÉNERGÉTIQUE BAS-CARBONE

Nucléaire et ENRs - 95% de l'électricité française est décarbonée

Investissement en R&D accru

285M € de crédits CORAC* annuels pour la recherche aéronautique décarbonée

CO2 biogénique

140 TWh de potentiel biogaz en France

710 sites injectant du biogaz dans le réseau

Méthanisation agricole : env. 1M CO2/an

Le CO2 biogénique est particulièrement important pour le développement des SAF puisqu'en comparabilité carbone, il est considéré comme neutre et éligible pour les technologies SAFs.

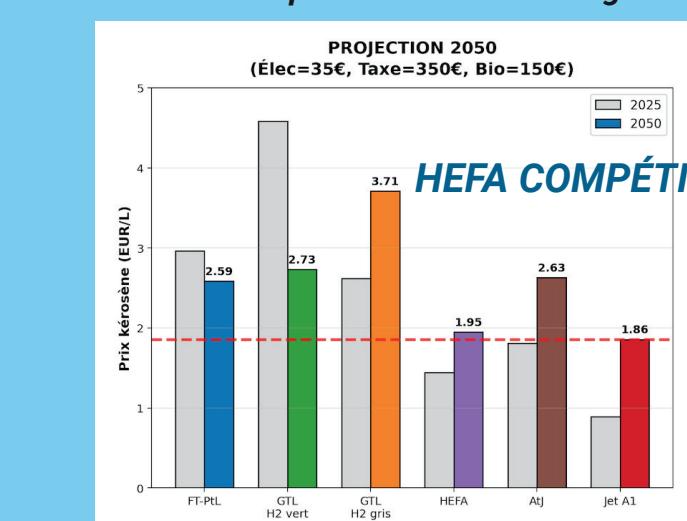
*CORAC : Comité pour la Recherche Aéronautique Civile

Ministère de l'environnement, Assises Européennes de la Transition Énergétique

Comment rendre les technologies SAF compétitives et viables d'ici 2050 en France ?

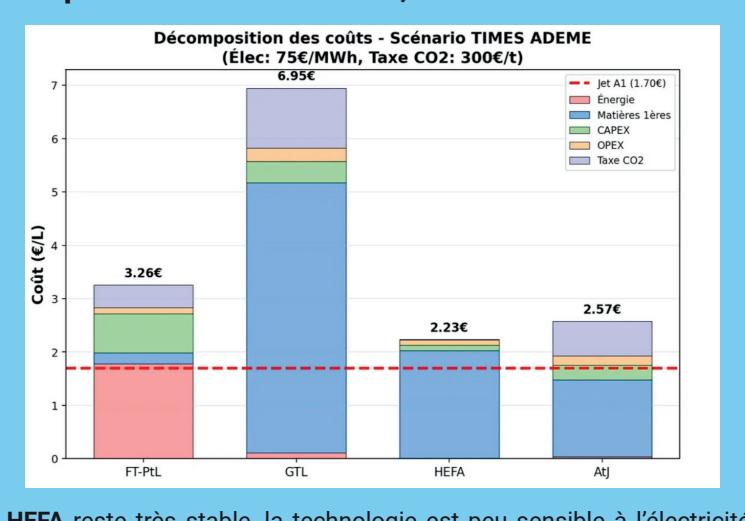
(1) Scénario de prospective - horizon 2050

Améliorer la compétitivité des technologies SAFs



(2) Scénario de prospective - horizon 2050

D'après des scénarios RTE, modèle TIMES-France



BILAN : QUELLE TECHNO DÉVELOPPER ?

La technologie HEFA est aujourd'hui la voie la moins chère des SAF, typiquement 1,5-2x le prix du kérosène fossile. La technologie AtJ apparaît parallèlement prometteuse mais les ressources manquent pour l'aérien, et elle est plutôt développée pour le secteur routier. Par ailleurs, la technologie power-to-liquid (PtL) est très prometteuse, en cela qu'elle permet une monté en volume très importante pour autant que la production d'électricité suive la demande, tant en quantité qu'en prix, c'est un point sur lequel la France est particulièrement avantageée. À court terme, si on veut augmenter la part de SAF, il est impératif de modérer les prix de la biomasse afin que les technologies HEFA et AtJ soient compétitives face au kérosène fossile. En parallèle, une monté en production de la GtL (verte ou grise), permettrait de familiariser l'industrie avec la synthèse Fischer-Tropsch à grande échelle. Cette expérience pourrait être réinjectée, à plus long terme, dans une filière power-to-liquid (PtL) durable, à faible impact environnemental, et avec des grands volumes.

Dans le cadre de la PtL notamment, la captation de CO₂ est une question essentielle, non traitée dans cette étude. À court terme, capturer du CO₂ émis du fossile pour le faire à nouveau travailler est une mesure d'atténuation, mais à plus long terme, il serait souhaitable de se "contenter" de capturer et de réémettre le même CO₂ (technologies CCS/CCUS). Ce serait un cycle durable, ou l'apport d'énergie serait assuré par une électricité décarbonée et abondante, et où les carburant de synthèse ne sont qu'un vecteur de densité énergétique pour les applications qui le nécessitent, l'aviation en tête de file.

Rq: On observe sur le scénario prospective 2050 l'importance des CAPEX dans le coût au litre de la technologie PtL. Les hypothèses réalisées durant cette étude correspondent à une usine de taille petite à moyenne en développement. Or, en augmentant la production annuelle (ex. grande usine), les CAPEX peuvent aussi être diminués ce qui rendrait, à long terme, la technologie PtL encore plus compétitive.

