



SAF (Sustainable Aviation Fuel) : comment l'aviation européenne peut-elle se décarboner sans dépendre de l'Asie ?

François Sfarti, Associate Partner

Juin 2025

L'aviation est l'un des secteurs les plus difficiles à décarboner :

- Le trafic aérien mondial devrait doubler d'ici 2050, ce qui aura pour conséquence d'annuler les effets des améliorations technologiques (ex : efficacité des moteurs) et opérationnelles visant à réduire les émissions de CO₂
- Les carburants alternatifs, tels que l'hydrogène ou l'électricité, sont des solutions fortement limitées par les contraintes de poids

Les SAF sont donc la principale solution pour décarboner l'aviation. La consommation de SAF émerge grâce aux engagements des compagnies aériennes et à la réglementation (ex : ReFuelEU Aviation depuis janvier 2025 en Europe), mais leur part dans la consommation totale de carburant du secteur reste mineure (ex : 1,25% pour Air France-KLM) et son **augmentation s'accompagne de défis importants** :

- Disposer de technologies matures avec des **coûts de production qui permettent d'aboutir à une équation économique viable** : les coûts de production actuels sont 2 à 5 fois supérieurs à ceux du kérosène
- **Garantir la disponibilité des matières premières localement** : En Europe, la majeure partie des SAF sont aujourd'hui produits par un processus appelé HEFA, qui utilise des **huiles de cuisson usagée (UCO)**, **principalement importées d'Asie**.

Le développement des capacités de production de SAF nécessitera des investissements massifs.

Les premières conditions nécessaires pour déclencher ces investissements sont réunies : engagements du secteur en faveur de la neutralité carbone d'ici 2050, reconnaissance par le secteur aérien du caractère incontournable des SAF pour se décarboner, obligations d'incorporation de SAF dans plusieurs pays, contrats d'approvisionnement à long terme entre compagnies aériennes et fournisseurs de SAF.

Mais les cinq prochaines années seront clé pour transformer les premières initiatives en projets opérationnels concrets, pour rendre les technologies de production suffisamment matures, pour réduire les coûts de production et pour développer une chaîne d'approvisionnement locale en matières premières, afin de faire des SAF un atout stratégique national et d'**éviter une dépendance aux importations d'huiles de cuisson usagées d'Asie**.

1. Etant donnée la croissance continue du trafic aérien, les SAF sont un levier essentiel à sa décarbonation

Compte tenu de la croissance du trafic aérien mondial (un doublement est attendu d'ici 2050) et du potentiel limité des autres carburants alternatifs (hydrogène et électrique), le recours aux SAF est incontournable pour décarboner le secteur.

En **2024**, l'aviation représentait **environ 1,2 Mt d'émissions de CO₂**. Cela correspond à environ 2,5 % des émissions mondiales de CO₂, mais en raison de la croissance soutenue du trafic aérien, cette part pourrait augmenter significativement si le secteur ne met pas en œuvre des mesures de transformation majeures.

Le secteur de l'aviation fait face à des défis considérables pour tenir ses engagements de **neutralité carbone d'ici 2050** :

- Les **avancées technologiques** (ex : nouvelles générations de moteurs) et les **améliorations opérationnelles** (ex : green taxiing, ou roulage électrique au sol) permettront de réduire les émissions de CO₂, mais leur **potentiel de réduction est estimé à 15% environ**, ce qui sera **entièrement annulé par la croissance du trafic aérien, qui devrait doubler d'ici 2050**
- La transition vers des carburants bas carbone est donc une étape incontournable pour décarboner l'aviation et atteindre l'objectif de neutralité carbone d'ici 2050. **L'IATA vise une réduction d'environ 65 % des émissions de CO₂ grâce la transition vers des carburants bas carbone**
- Les **~20% d'émissions de CO₂ restants** du secteur de l'aviation devront être compensés (par des projets de reforestation par exemple)

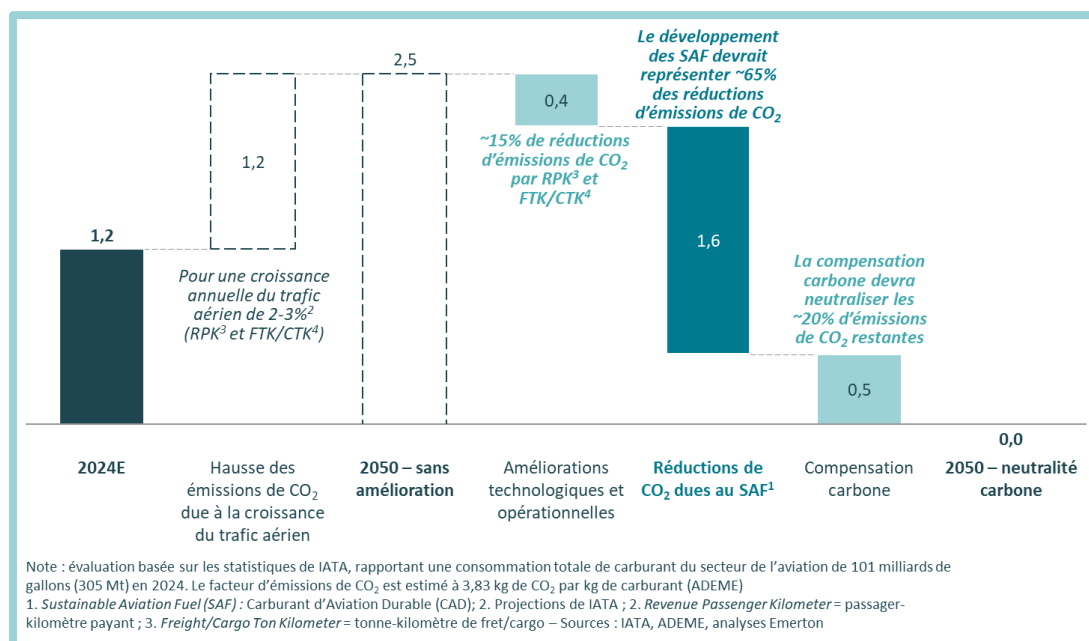


Figure 1 : Emissions de CO₂ du trafic aérien (monde, en milliards de tonnes) – Résolution IATA neutralité carbone 2050

En ce qui concerne les solutions de carburant bas carbone, **l'électrique se limite aujourd'hui aux avions régionaux ou de petite taille en raison du poids des batteries.**

L'hydrogène est souvent présenté comme un levier de décarbonation de l'aviation. Cependant, son utilisation directe comme carburant est **limitée par des contraintes technologiques (stockage), d'infrastructure et de densité énergétique.** C'est pourquoi les projets actuels se concentrent également sur les avions régionaux.

- En 2022, Airbus a lancé un projet d'avion à hydrogène (ZEROe) de plus de 100 passagers avec un rayon d'action de 3 700 km d'ici 2035
- **Mais Airbus a récemment revu ses ambitions et repoussé ce projet**

Parmi les solutions possibles, les SAF apparaissent donc comme incontournables.

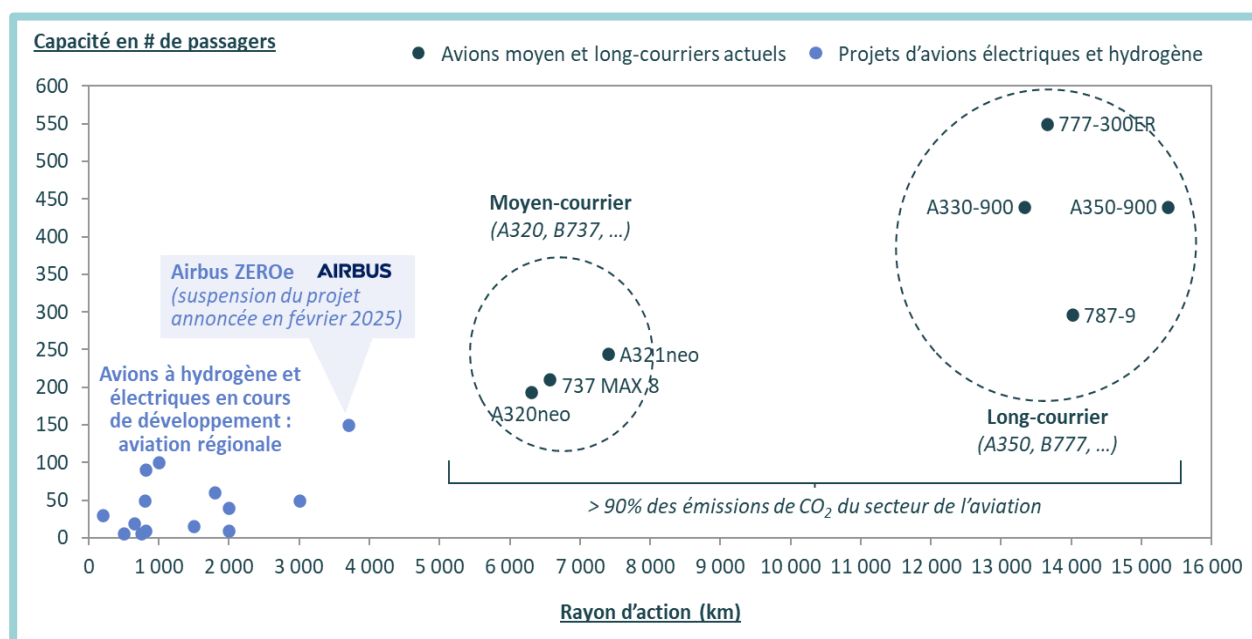


Figure 2 : capacité et rayon d'action des projets actuels d'avions à hydrogène et électriques par rapport aux avions actuels

2. La consommation de SAF émerge grâce aux réglementations et aux engagements des compagnies aériennes

Les compagnies aériennes intègrent déjà des SAF dans leur consommation de carburants, et les réglementations telles que *ReFuelEU Aviation* (entrée en vigueur en janvier 2025 dans l'UE) devraient garantir une demande croissante de SAF.

Les SAF sont un carburant produit à partir de biomasse ou synthétisé à partir d'hydrogène renouvelable (e-fuels) et de CO₂ capturé.

Son principal avantage est sa **compatibilité avec les moteurs et les infrastructures existants**, permettant de remplacer directement le kérosène.

De plus, la technologie **a déjà fait ses preuves lors de vols commerciaux : outre quelques vols d'essais réalisés avec 100 % de SAF, de nombreuses compagnies aériennes ont commencé à intégrer une part croissante de SAF** (même si elle est encore très faible) dans leur consommation de carburants.

Par exemple, **Air France-KLM** et **IAG** ont déjà signé des partenariats avec des producteurs de SAF afin de **sécuriser leur approvisionnement jusqu'en 2030 et visent un objectif de 10 % de SAF dans leur consommation de carburant d'ici 2030** (objectif supérieur à l'obligation de 6 % imposée par *ReFuelEU Aviation*) :

- **Air France-KLM a incorporé 1,25 % de SAF dans sa consommation totale de carburants en 2024** et a signé plusieurs contrats d'approvisionnement à long terme avec des producteurs de SAF (ex : Engie, EDF, Elyse Energy, TotalEnergies, OMV, Raven, SAF+). En particulier, l'accord avec TotalEnergies représente 1,5 Mt de SAF entre 2025 et 2035
- **IAG a incorporé 1,9 % de SAF dans sa consommation totale de carburants en 2024.** Le groupe a signé des contrats d'approvisionnement à long terme avec des producteurs de SAF tels que BP, Neste, Repsol, LanzaJet et Gevo, et a déjà annoncé plus de 3,5 milliards de dollars d'investissements dans des achats futurs de SAF.

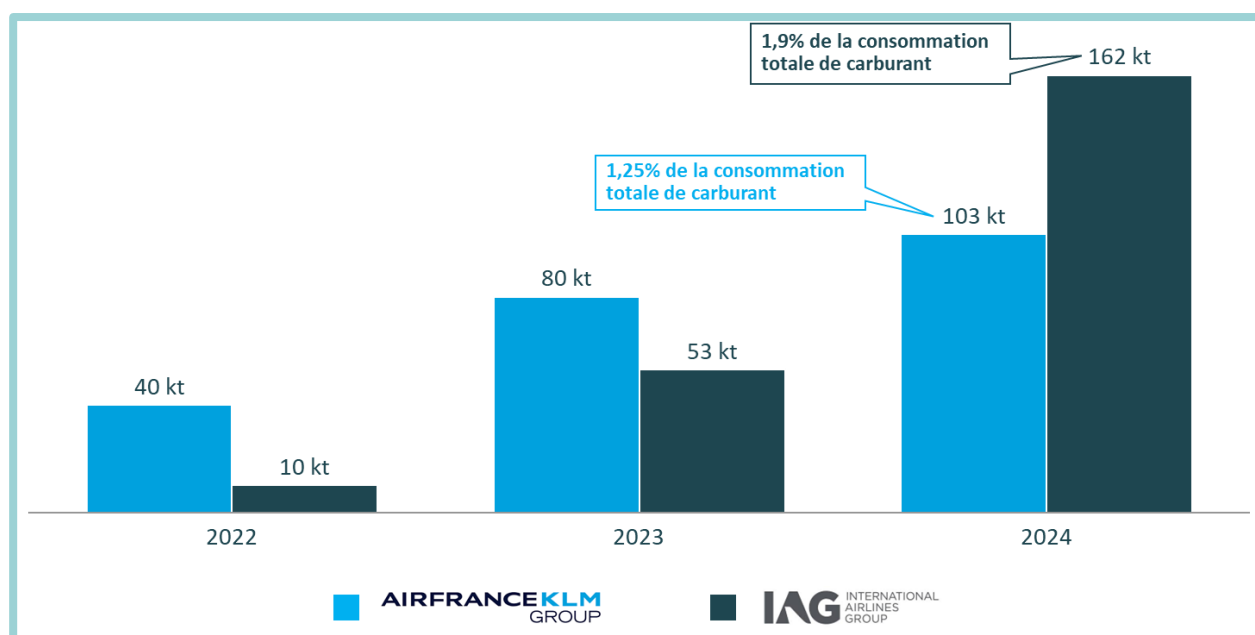


Figure 3 : Consommation de SAF d'Air France-KLM et d'IAG

Afin d'accélérer le développement des SAF, plusieurs pays ont défini des obligations d'incorporation progressive :

- **Europe** : depuis janvier 2025, la **réglementation ReFuelEU Aviation** est entrée en vigueur, imposant **2 % de SAF en 2025, 6 % en 2030 et 70 % en 2050** ;
- **Royaume-Uni** : **2 % de SAF en 2025, 10 % en 2030** et, pour l'instant, **22 % en 2040** ;
- **Singapour** a fixé une obligation de **1 % de SAF en 2026** et est en cours d'élaboration de nouvelles obligations pour 2030 (qui devraient se situer **entre 3 % et 5 %**) ;
- **Le Japon** s'est fixé comme objectif national d'atteindre **10 % de SAF en 2030** ;
- **Les États-Unis** ont été très ambitieux en ce qui concerne les SAF, avec un objectif national de **100 % d'ici 2050**. Les États-Unis ont également mis en place des mécanismes financiers importants pour soutenir la production de SAF, notamment avec l'*Inflation Reduction Act* (IRA), et visent une capacité de production de SAF de 9 Mt/an en 2030 et de 100 Mt/an en 2050. L'élection récente de Donald Trump remet toutefois en question cette trajectoire, son administration ayant fortement freiné tous financements liés à la transition énergétique, y compris certaines dispositions de l'*Inflation Reduction Act* (IRA).

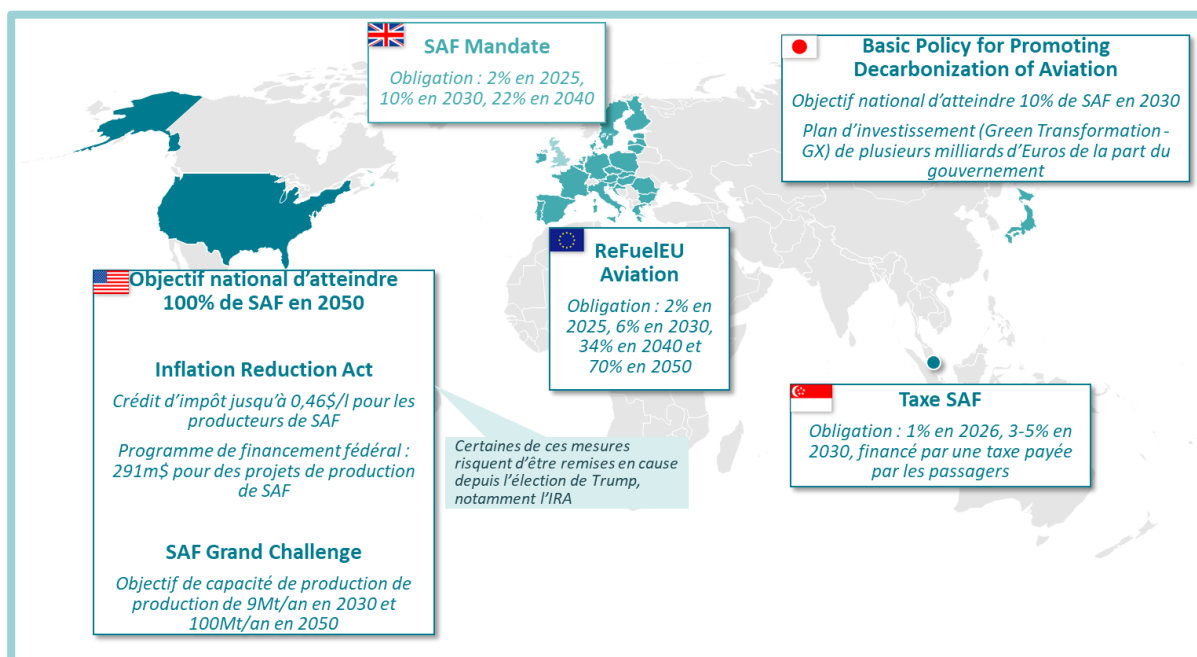


Figure 4 : Obligations d'incorporation de SAF et objectifs nationaux dans le monde

Les obligations d'incorporation de SAF sont essentielles pour garantir une trajectoire de demande stable et encourager les investissements. En France, par exemple, l'initiative **ReFuelEU Aviation** devrait générer une demande prévisible de SAF de **0,2 Mt en 2025 et 11 Mt d'ici à 2050**.

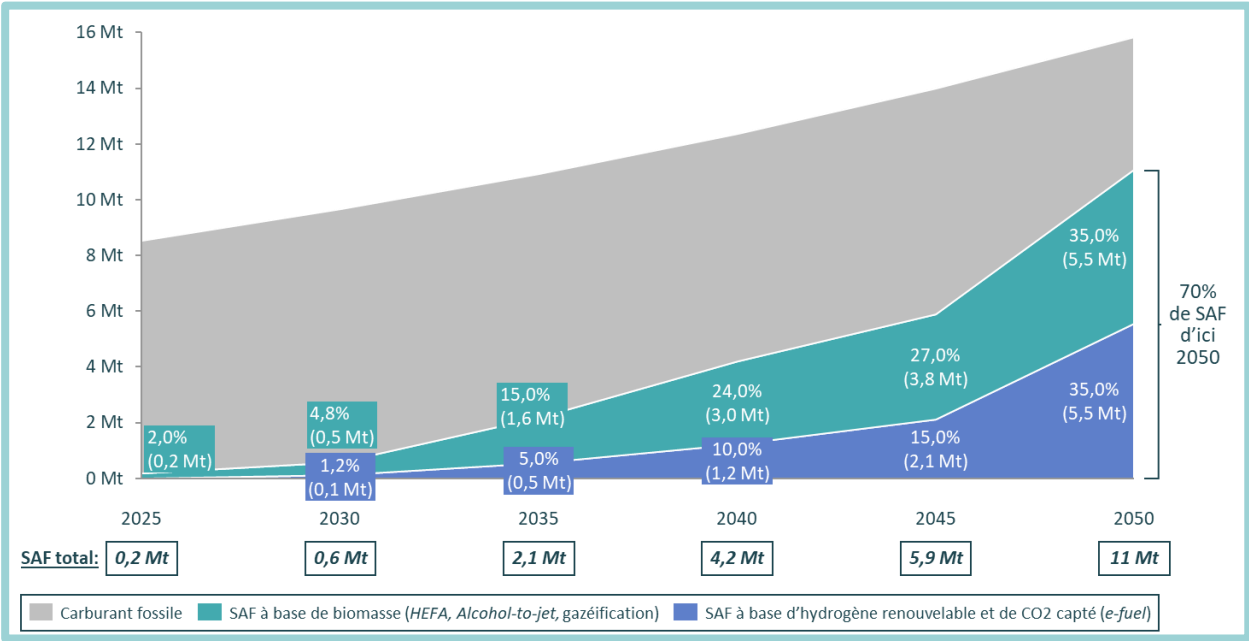


Figure 5 : ReFuelEU Aviation – Obligation pour les fournisseurs de carburant d'inclure des SAF dans le carburant fourni aux aéroports

3. Le premier défi à relever est de réduire les coûts de production des SAF, afin d'avoir une équation économique viable pour les compagnies aériennes

Le défi le plus important est de développer des capacités de production importantes à un coût économiquement viable pour les compagnies aériennes. L'HEFA, procédé le plus économique et le plus mature aujourd'hui, reste deux fois plus cher que le kérosène.

Les futures technologies SAF se répartissent **en deux grandes catégories** :

- **SAF à base de biomasse :**

- **HEFA (*Hydrotreated Esters and Fatty Acid*)** : technologie la plus mature, consistant à raffiner les huiles de cuisson usagées (UCO). Un de ses avantages est le faible investissement nécessaire pour convertir les raffineries actuelles ;
- **Alcohol-to-jet** : En Europe, son utilisation est limitée par des contraintes réglementaires qui limitent l'utilisation de matières premières agricoles. Le Brésil, par exemple, ne s'est pas imposé de telles limites et a un potentiel de matières premières valorisables en SAF important grâce à sa production de canne à sucre
- **Gazéification** (ex : procédé breveté par Haffner Energy) : Ce procédé en cours de maturation a l'avantage de pouvoir utiliser une grande variété de sources de biomasse différentes. Elle génère toutefois du CO₂ en sous-produit, qui doit être capturé ou compensé

- **Les e-fuels utilisant le procédé de Fischer-Tropsch** : ils reposent sur l'hydrogène et le CO₂ bas carbone. De grandes quantités d'électricité renouvelable sont nécessaires pour produire de l'hydrogène, ainsi que des infrastructures conséquentes pour capturer le CO₂ et transporter l'hydrogène et le CO₂.

La maturité technologique et la disponibilité des matières premières sont des obstacles importants à la production de SAF aujourd'hui. Le premier obstacle est le coût de production : même l'HEFA, technologie la plus mature, est **deux fois plus cher (~1,2 \$/kg) que le prix actuel du kérosène (~0,7 \$/kg en moyenne entre 2019 et 2024)**. Ce ratio peut dépasser 4 pour le procédé *Power-to-liquid* (en fonction du prix de l'électricité).

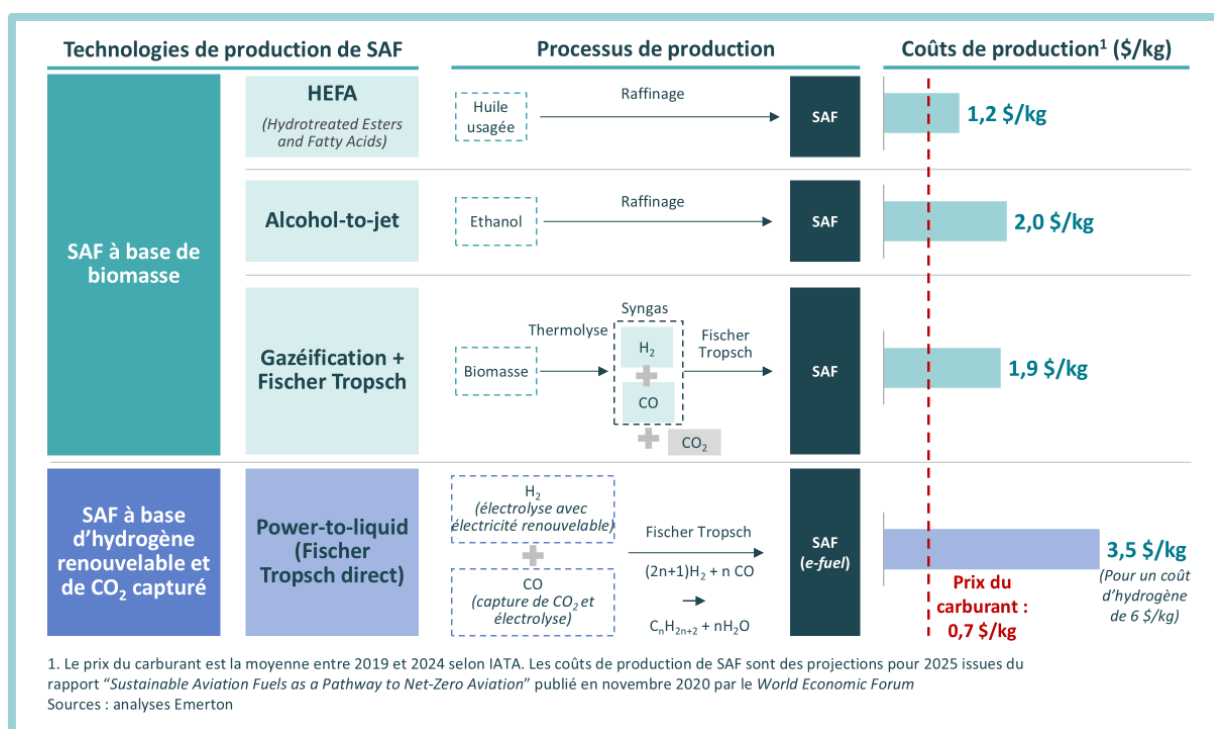


Figure 6 : Processus et coûts de production des SAF

4. Le deuxième défi est la disponibilité de matières premières locales, afin d'éviter de dépendre des importations : aujourd'hui, la France produit principalement des SAF à partir d'huiles de cuisson usagées (UCO) importées d'Asie

Le procédé HEFA est actuellement le plus utilisé en France (et dans le monde), mais il dépend des UCO (huiles de cuisson usagées), qui sont majoritairement importées (l'Europe importe ~80 % des UCO) de Chine (~50% des importations totales d'UCO).

En raison de son **coût et de sa maturité technologique**, le procédé HEFA représente aujourd'hui la quasi-totalité de la production mondiale de SAF. L'HEFA est une solution qui suscite beaucoup d'intérêt, mais son **potentiel est fortement limité par la disponibilité de la matière première : L'huile de cuisson usagée (UCO)**.

En effet, la **production et la collecte d'UCO sont très limitées**. En France, environ 90 000 tonnes sont utilisées chaque année. Même si la totalité de ce volume était dédiée à la production de SAF (il est également utilisé pour produire des biocarburants pour le transport routier), cela représenterait une quantité **négligeable par rapport aux besoins nationaux en SAF** : 0,2 Mt en 2025 et 11 Mt en 2050.

Par conséquent, si les autres technologies (Alcohol-to-jet, gazéification, Power-to-liquid) ne sont pas développées à un coût compétitif, la France continuera à **dépendre fortement des importations d'UCO en provenance de Chine pour produire des SAF** (limitant ainsi l'impact en termes de décarbonation).

SAF à base de biomasse	HEFA <i>(Hydrotreated Esters and Fatty Acids)</i>	Mature: technologie la plus utilisée aujourd'hui, mais potentiel très limité par la disponibilité des UCO ¹	Used Cooking Oil (UCO ¹)	Faible, majoritairement importée d'Asie
	Alcohol-to-jet	Mature mais quantité de matière première limitée du fait de la réglementation européenne <i>(conflit avec l'alimentation humaine ou animale)</i>	déchets agricoles (ex : production de sucre)	Faible, du fait de l'interdiction de l'utilisation des cultures sucrières pour produire des SAF en Europe (RED III)
	Gazéification + Fischer Tropsch	Projets pilotes	Biomasse (déchets agricoles et forestiers)	Forte disponibilité de matières premières peu coûteuses, mais sources fragmentées
SAF à base d'hydrogène renouvelable ou de capture de carbone	Power-to-liquid (Fischer Tropsch direct)	Technologie en cours de développement	H ₂ (produit à base d'électricité bas carbone) et CO ₂	H ₂ : pas de production d'hydrogène à grande échelle à ce jour CO ₂ : nécessite la capture de carbone (biogénique uniquement à partir de 2040)

Figure 7 : maturité des processus de production de SAF et disponibilité des matières premières

5. Les premières conditions nécessaires pour initier les investissements dans la production de SAF sont réunies, mais les cinq prochaines années seront clé pour transformer les premières initiatives en projets opérationnels

A ce jour, **environ 15 projets de production de SAF sont annoncés en France**. Ils représentent une **capacité totale de production de SAF d'environ 1 Mt par an d'ici 2030** (ce qui est supérieur aux 0,6 Mt par an requis par *ReFuelEU Aviation*).

Projet	Localisation	Capacité de SAF (kt/an)	Parties prenantes
LICHEN	Charente	153	 VERSO energy
Reuze	Dunkerque	100	 ENGIE  INFINIUM™
DEZiR	Rouen	81	 VERSO energy
ReSTart	Landes (Tartas)	81	 VERSO energy  RYAM
EpHyne	Grand Est	81	 VERSO energy
Hylann	Hautes-Pyrénées (Lannemezan)	80	 Qair
E-CHO (BioTjet)	Pyrénées-Atlantiques (Lacq)	75	 Elyse 
NeoCarb	Fos-sur-Mer	75	 Elyse 
KerEAUzen	Le Havre	70	 ENGIE
Lhyfe & SAF +	Le Havre	70	 Lhyfe  SAF+ CASSEPI INTERNATIONAL
H2V – Hy2gen	Fos-sur-Mer	50	 H2V  HY2GEN  VINCI
Take Kair	Nantes Saint-Nazaire	37,5	 EDF  HOLCIM  IFP Energies nouvelles  Axens
Paris-Vatry SAF	Grand Est (Paris Vatry)	30	 Haffner Energy Making Hydrogen Super Green
Hynovera	Provence (Meyreuil, GazelEnergie)	25	 HY2GEN
MassHylia	Fos-sur-Mer	4,8	 TotalEnergies  ENGIE

Figure 8 : liste des projets annoncés de production de SAF en France

Ces projets **nécessiteront des investissements financiers massifs**, chaque projet de production de SAF représentant généralement des investissements de plus d'un milliard d'euros.

Au total, **la France devra investir environ 28 milliards d'euros d'ici 2050 pour être auto-suffisant en SAF et atteindre une capacité de production de 11 Mt**.

Les premières conditions pour initier les investissements dans la production de SAF sont réunies :

- L'industrie aéronautique internationale a pris conscience de **l'impératif de décarbonation** et s'est engagée à atteindre la **neutralité carbone d'ici 2050**
- Les **SAF** sont reconnus comme une solution incontournable pour décarboner l'aviation
- De nombreux pays ont défini des **obligations d'incorporation de SAF**, ce qui garantit une demande prévisible et croissante

De nombreuses **compagnies aériennes** commencent à conclure des **accords d'approvisionnement à long terme avec des fournisseurs de SAF** (voir les exemples d'Air

France-KLM et d'IAG en **Figure 10**), afin de sécuriser des volumes de SAF jusqu'en 2030-2035, ce qui constitue un signal très positif.

Cependant, **les investissements des fonds d'infrastructure restent encore faibles à ce jour**, Hy24 et Mirova étant parmi les premiers en France : en 2024, ils ont annoncé un investissement de 120 millions d'euros pour soutenir les projets de production de SAF d'Elyse Energy en France (et en Espagne).

Les cinq prochaines années seront déterminantes pour la concrétisation des **~15 projets SAF en France**, notamment pour :

- Permettre aux technologies de **devenir matures** ;
- **Réduire les coûts de production** et aboutir à un **modèle économique viable** ;
- Développer une **chaîne d'approvisionnement locale** en matières premières afin que la transition vers les SAF soit un **avantage stratégique national** et ne génère pas une dépendance aux importations d'huiles usagées (UCO) en provenance d'Asie

La transition vers les SAF représente également une opportunité pour de **nouveaux acteurs** de concurrencer les acteurs historiques tels que TotalEnergies, BP ou ExxonMobil. Nous observons en effet l'arrivée de nouveaux types d'acteurs :

- Des acteurs issus du secteur de l'hydrogène comme Elyse Energy, H2V, Lhyfe et Hy2gen
- Des fournisseurs de technologie comme Haffner Energy
- Des grands fournisseurs d'énergie comme Engie, qui saisissent cette opportunité pour entrer sur ce nouveau marché de l'énergie verte

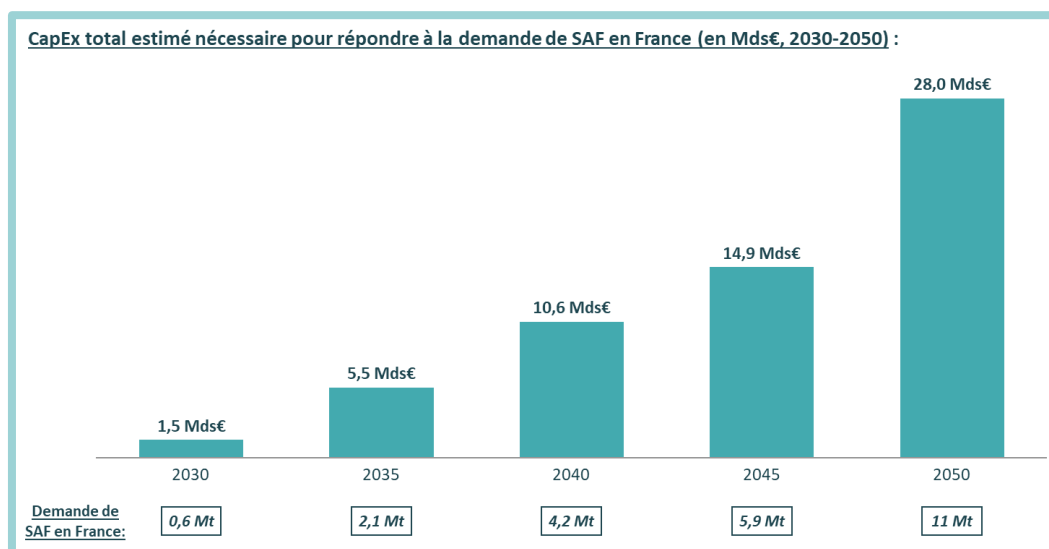


Figure 9 : besoins d'investissement pour répondre à la demande de SAF en France

Compagnie aérienne	Fournisseur de SAF	Volume total	Période concernée
AIRFRANCEKLM GROUP	 Le SAF sera produit dans les bioraffineries et les raffineries par coprocessing ¹ de TotalEnergies en France et en Europe	1,5 Mt	2025-2035
AIRFRANCEKLM GROUP	NESTE	1 Mt	2023-2030
AIRFRANCEKLM GROUP	DFUELS	0,6 Mt	2027-2036
IAG INTERNATIONAL AIRLINES GROUP BRITISH AIRWAYS vueling IBERIA AerLingus	LanzaJet   REPSOL NESTE  Contrats avec plusieurs fournisseurs de carburant (ex : BP, NESTE, REPSOL, LanzaJet, GEVO ...)	~4,4 Mt	Une partie des contrats est déjà effective depuis 2021. D'autres contrats débiteront d'ici 2029

Figure 10 : exemples d'accords d'approvisionnement et d'investissements récents dans des projets SAF en France

EMERTON

Emerton est un cabinet de conseil en stratégie international de premier plan, reconnu pour son expertise approfondie des industries et technologies émergentes. Ses équipes sont constituées de consultants en stratégie de haut niveau et de professionnels expérimentés de l'industrie. Emerton est présent en Amérique du Nord, en Asie et en Europe.

Contact :

François SFARTI, Associate Partner

François Sfarti est Associate Partner chez Emerton. Il possède une vaste expérience dans l'industrie aéronautique et les énergies renouvelables. Avant de rejoindre Emerton, il a occupé plusieurs postes opérationnels et de direction pendant 8 ans chez Safran.

✉ francois.sfarti@emerton-group.com

