

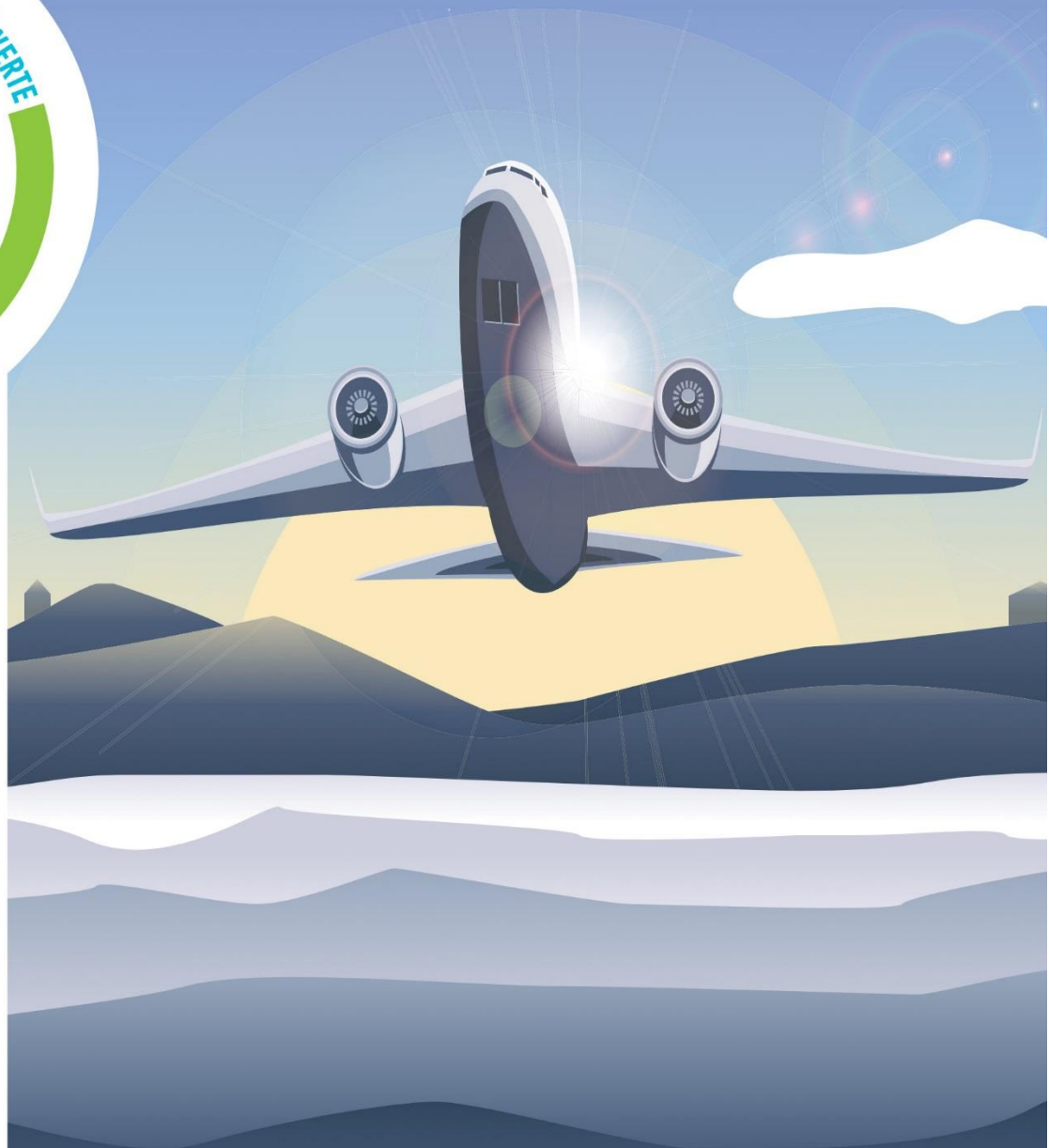


Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE  
ET SOLIDAIRE



# Mise en place d'une filière de biocarburants aéronautiques durables en France



2020

## PREAMBULE

Cette étude de faisabilité est le résultat d'un travail collaboratif entre l'État et des entreprises privées.

Les éléments contenus dans ce rapport sont uniquement représentatifs des sujets traités dans l'étude faisant partie des engagements initiaux des partenaires.

Les recommandations formulées ne sauraient préjuger de décisions futures de l'État.

**DIRECTEUR DE LA PUBLICATION** : Thomas Lesueur

### **MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE**

Tour Séquoia, 1 place Carpeaux  
92800, Puteaux

**REDACTION** : Clémence BAUDOUIN (Suez), Sandra COMBET (Air France), Antoine ETHEVENOT (DGEC – au moment de l'étude), Frédéric EYCHENNE (Airbus), Alice FRANCOU (Suez), Laurent GALTIER (Suez), Nicolas JEULAND (Safran), Mathilde LAMBERT (CGDD – au moment de l'étude), Steven LE MOING (Airbus), Philippe Marchand (Total), Nicolas MORIN (DGEC – au moment de l'étude), Antioco Piras(Total), Claire RAIS ASSA (DGAC – au moment de l'étude), Mathilde TANNOUS (DGEC – au moment de l'étude), Stéphane THION (Total).

**ILLUSTRATIONS** : Tous droits réservés.

**ISBN** : En cours.

**DEPOT LEGAL** : Novembre 2019

### **CONDITIONS GENERALES D'UTILISATION : LICENCE OUVERTE V2.0**

Le « Concédant » concède au « Réutilisateur » un droit non exclusif et gratuit de libre « Réutilisation » de l'« Information » objet de la présente licence, à des fins commerciales ou non, dans le monde entier et pour une durée illimitée, dans les conditions exprimées ci-dessous.

Le « Réutilisateur » est libre de réutiliser l'« Information » :

- de la reproduire, la copier,
- de l'adapter, la modifier, l'extraire et la transformer, pour créer des « Informations dérivées », des produits ou des services,
- de la communiquer, la diffuser, la redistribuer, la publier et la transmettre,
- de l'exploiter à titre commercial, par exemple en la combinant avec d'autres informations, ou en l'incluant dans son propre produit ou application.

Sous réserve de mentionner la paternité de l'« Information » : sa source (au moins le nom du « Concédant ») et la date de dernière mise à jour de l'« Information réutilisée ».

## RESUME POUR DECIDEURS

Pour répondre au défi climatique et réduire son empreinte carbone, le secteur du transport aérien s'appuiera notamment sur le déploiement des biocarburants aéronautiques durables. Ceux-ci constituent en effet un levier stratégique pour la réduction à court et moyen terme des émissions nettes du secteur qui dispose de peu d'alternatives énergétiques dans cet horizon de temps.

Si l'utilisation des biocarburants aéronautiques ne pose pas de problème d'un point de vue opérationnel et technique, leur utilisation dans le monde est encore confidentielle (la barre des 180 000 vols a été dépassée en juin 2019, soit 0,06% des vols). En effet, il existe un fort enjeu de viabilité économique limitant aujourd'hui le déploiement d'un marché. La France a tous les atouts pour être un pionnier de ce déploiement : ressources, technologie maîtrisée, industriels et pouvoirs publics engagés.

### Mise en perspective de la situation actuelle

En France, la quantité de carburants d'aviation vendue chaque année sur les aéroports métropolitains est estimée à 7 millions de tonnes. Parmi ces 7 millions de tonnes, environ 5 millions correspondent à la consommation sur les aéroports franciliens (Paris – Orly et Paris – Charles de Gaulle). Ainsi, à titre d'illustration, l'incorporation annuelle d'1% de biocarburant sur les aéroports métropolitains représenterait une quantité d'environ 70 000 tonnes par an.

La question centrale de cet Engagement pour la Croissance Verte réside donc dans l'identification des conditions de réussite de l'émergence d'une filière viable pérenne et durable de biocarburants aéronautiques durables en France, qu'elles soient techniques ou économiques. Le projet s'est organisé autour des 5 thématiques suivantes : impacts environnementaux de l'usage des biocarburants ; gisements de matières premières mobilisables en France et technologies de production ; circuits logistiques pour l'approvisionnement des aéroports ; modèle économique de la filière et politiques publiques.

**Des messages clés associés à ces 5 thématiques sont disponibles dans le cœur du rapport.**

La durabilité des biocarburants aéronautiques constitue un prérequis qui assure que ces produits émettent moins de CO<sub>2</sub> que le carburant conventionnel d'origine fossile et que les impacts environnementaux liés à leur production soient maîtrisés. L'exigence de durabilité de ces biocarburants aéronautiques et de leur production, conformément à la réglementation européenne, doit constituer le cadre de déploiement d'une filière en France. Les matières premières sans concurrence directe alimentaire seront privilégiées pour la production de biocarburant aéronautiques. Le caractère indiscutablement durable de ces produits permet également d'assurer leur acceptabilité par la société.

Ces exigences de durabilité ont amené les acteurs privés à s'intéresser aux technologies permettant de produire un carburéacteur qui n'est pas intégralement issu d'une base fossile. Émergeant il y a moins de 10 ans, les procédés de production des biocarburants d'aviation ont connu un développement rapide avec 5 filières actuellement certifiées par l'ASTM et une vingtaine d'autres à l'étude. L'ensemble des avions et plateformes aéroportuaires est d'ores et déjà totalement compatible avec les carburants issus de ces 5 filières, avec des taux d'incorporation pouvant aller jusqu'à 50%. Cependant, les unités de production restent encore souvent à l'état de pilote et la phase d'industrialisation est peu engagée. Ainsi, il n'est actuellement pas possible de se prononcer en faveur d'une filière de production spécifique, ni sur les coûts d'investissement en infrastructure que chacune d'entre elle pourrait requérir. En soutenant une industrie se construisant sur un modèle d'économie circulaire, les filières qui se développeront seront en lien avec les ressources disponibles localement. À court terme, les filières construites sur l'hydrotraitement des huiles (filières HEFA) devraient se développer. À moyen et long terme, les filières utilisant la technologie de gazéification ou de fermentation de la matière première semblent les plus adaptées au traitement des ressources mobilisables en métropole.

Les ressources disponibles en métropole sont en quantités suffisantes pour assurer le besoin de la filière française à court et moyen terme. Un premier modèle de production serait construit sur les huiles usagées, filière existante, mais ne pouvant vraisemblablement pas satisfaire l'ensemble de la demande. À moyen terme, l'emploi des ressources à dominante « lignine » et « cellulose » sera indispensable pour le développement de la filière. En raison de l'éparpillement de la ressource, la principale difficulté viendra de la capacité des acteurs à mobiliser les volumes nécessaires à la production tout en maîtrisant les coûts de récupération. L'intervention de la puissance publique pour faciliter ces opérations apparaît comme nécessaire afin d'initier la construction d'une filière basée sur l'économie circulaire.

La distribution des biocarburants aéronautiques constitue un maillon indispensable de la filière. Pour qu'elle soit facilitée et qu'elle permette un déploiement à grande échelle de ces produits, la distribution des biocarburants aéronautiques doit être intégrée aux circuits logistiques existants sur les différentes plateformes. La démonstration du recours au transport par oléoducs pour l'approvisionnement des aéroports apparaît comme une prochaine étape indispensable.

La viabilité économique des filières de biocarburants aéronautiques constitue un frein majeur à leur développement, du fait du différentiel de prix important avec le carburant fossile. Dans un environnement international concurrent, il convient de rester vigilant à la compétitivité des compagnies aériennes françaises. À titre d'exemple, sur la base d'une incorporation de 5% de biocarburant en 2030, le surcoût total en France du biojet représenterait entre 300 et 500 millions d'euros par an.

De multiples outils de politique publique sont envisageables pour favoriser le développement de cette filière. Ainsi, des appels à projet, pouvant être basés sur des critères environnementaux et sociaux, permettant l'émergence d'une capacité de production de biocarburants aéronautiques avancés ou issus de l'économie circulaire (matières sans concurrence alimentaire) sur le territoire national pourraient être envisagés. Les dispositions

soutenant le déploiement de ces produits devront également intégrer les problématiques spécifiques à chaque acteur de la filière.

Sur la base des travaux détaillés, les acteurs de l'ECV considèrent qu'il est indispensable afin de permettre une transition énergétique réussie dans le domaine du transport aérien de susciter l'émergence d'une filière française de biocarburants durables

Pour ce faire, il paraît essentiel de :

- **Mobiliser des volumes nécessaires de matières premières** vers le secteur de l'aérien qui ne dispose pas d'alternatives technologiques à ce stade.
- Garantir par des mécanismes incitatifs adaptés, la viabilité économique de l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur.
- Tester les circuits de distribution des biocarburants sur l'aéroport de Roissy Charles de Gaulle et sur l'aéroport de Toulouse pour vérifier leur bonne intégration dans les circuits logistiques existants.
- **Soutenir le principe de diversification** selon lequel les filières de production de biocarburants aéronautique en France s'appuient sur une hétérogénéité de ressources et de technologies et favoriser la Recherche et Développement dans ces domaines ainsi que les travaux de certification technique.

## SOMMAIRE

<b>Préambule</b> .....	<b>2</b>
<b>Résumé pour décideurs</b> .....	<b>3</b>
<b>Sommaire</b> .....	<b>6</b>
<b>Partie 1 : L'ECV, un partenariat innovant</b> .....	<b>8</b>
A. L'Engagement du projet.....	9
B. Gouvernance du projet.....	9
<b>Partie 2 : Durabilité des biocarburants</b> .....	<b>12</b>
Messages clés.....	13
A. Le cadre international du CORSIA.....	13
B. Le cadre européen de la directive énergies renouvelables .....	15
C. Les coûts de certification.....	16
D. Autres impacts environnementaux.....	17
<b>Partie 3 : Ressources et Procédés</b> .....	<b>19</b>
A. Le développement rapide des technologies de production face au défi de l'industrialisation .....	20
Messages clés.....	20
B. Une ressource durable, affiliée à l'économie circulaire, dont la quantité disponible sur le marché français permet de satisfaire les besoins de la filière.....	27
Messages clés.....	27
<b>Partie 4 : Quels circuits de distribution pour les biocarburants aéronautiques ?</b> .....	<b>39</b>
Messages clés.....	40
A. Description des plateformes aéroportuaires prises en compte dans le cadre de l'ECV .....	41
B. Vision générale de la logistique primaire du carburant d'aviation .....	43
C. Les flux logistiques sur les plateformes étudiées .....	44
<b>Partie 5 : Politiques publiques et viabilité économique</b> .....	<b>50</b>
Messages clés.....	51

A.	Les défis de l'émergence d'une filière de biocarburants aéronautiques durables en France .....	52
B.	Description de la filière des biocarburants aéronautiques .....	56
C.	Les dispositifs existants dans le monde.....	57
D.	Les perspectives identifiées en France.....	59
<b>Annexe</b>	.....	<b>65</b>
	Impact potentiel des biocarburants sur la qualité de l'air locale, revue de littérature....	66

# PARTIE 1 : L'ECV, UN PARTENARIAT INNOVANT





L'ECV est un projet partenarial qui a réuni pendant un an et demi 5 entreprises privées françaises (Airbus, Air France, Safran, Total et Suez) et 3 administrations (le ministère des transports, le ministère de la transition écologique et solidaire et le ministère de l'économie et des finances) autour de la question du déploiement des biocarburants aéronautiques.

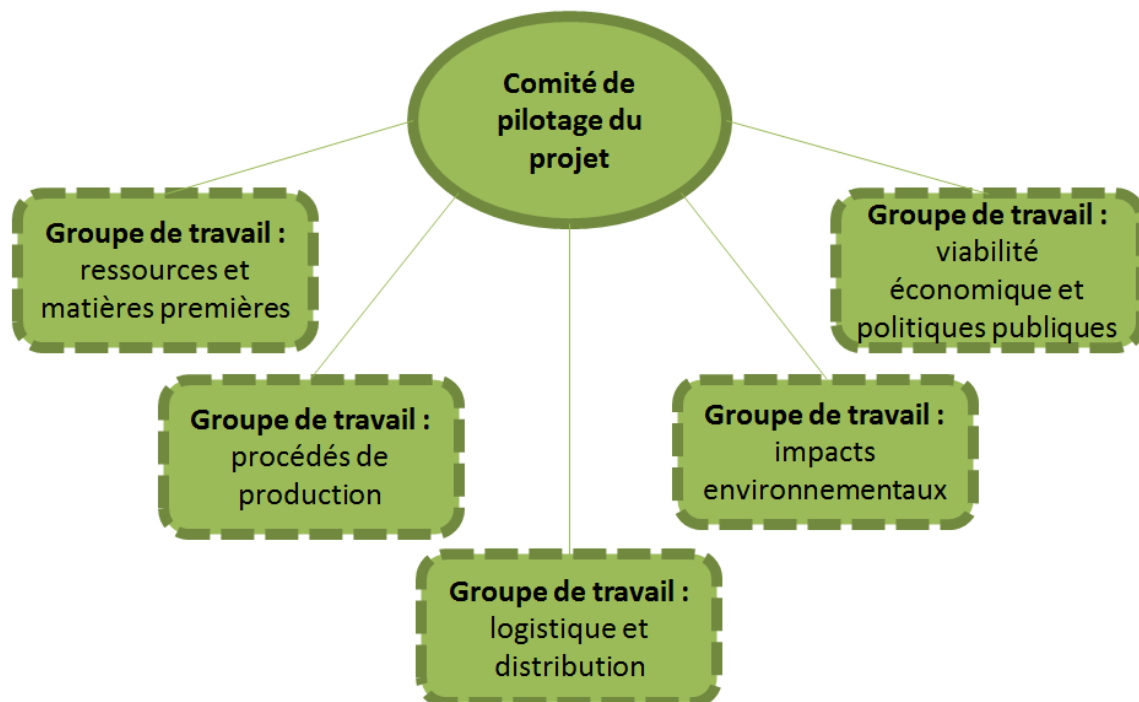
## A. L'Engagement du projet

L'Engagement pour la Croissance Verte relatif à la « mise en place d'une filière des biocarburants aéronautiques durables en France » a été signé par l'ensemble des partenaires en décembre 2017. Dans ce document, chaque partenaire s'engage à fournir des éléments de réflexion en cohérence avec son champ d'expertise. Ces engagements ont pour objet d'apporter des éléments sur la faisabilité de la mise en place d'une filière française de biocarburants aéronautiques durables. Ils portent sur des aspects ayant trait :

- Aux gisements de matières premières mobilisables en France ;
- Aux technologies et procédés de production ;
- Aux impacts environnementaux des biocarburants ;
- Aux circuits logistiques pour l'approvisionnement des aéroports ;
- Au modèle économique de la filière et aux politiques publiques pouvant être développées.

## B. Gouvernance du projet

La structure de gouvernance du projet s'est organisée autour des thèmes présentés précédemment :



Le comité de pilotage du projet, composé de l'ensemble des personnes impliquées dans le projet chez tous les partenaires, s'est réuni 4 fois. Les groupes de travail, composés d'un interlocuteur par partenaire, ont adopté un mode de travail agile, sur la base d'audioconférences bimensuelles assorties de réunions présentielles trimestrielles. Cette flexibilité a permis une plus grande réactivité de l'ensemble des personnes impliquées. Le mode travail adopté a été celui de la recherche d'un consensus entre l'ensemble des parties prenantes. Sur des thèmes particuliers d'autres partenaires dont l'expertise était nécessaire ont pu être impliqués avec l'accord du Comité de pilotage du projet. C'est par exemple le cas de l'IFP Énergies Nouvelles (IFPEN) ou le Service des Essences des Armées (SEA). L'enjeu était la construction d'une compréhension commune des enjeux et de la co-construction de positions partagées sur les solutions à développer. Les conclusions représentent donc une vision partagée par l'ensemble des partenaires du projet.

## Pour Air France

---

**Sandra COMBET** : Diplômée d'un 3ème cycle de Sciences Politiques, d'un Magistère de Relations Internationales et du diplôme de l'Institut Français de Presse. Chargée de développer la stratégie d'Air France face aux enjeux de développement durable sur les Energies Nouvelles, notamment par les biocarburants, Sandra Combet est également expert auprès de la Commission Européenne (flightpass2020). Elle a participé en 2018 à l'élaboration de la feuille de route Recherche sur les biocarburants (ANCRE) auprès du ministère de la Recherche et représente Air France au Comité pour la Recherche Aéronautique Civile (CORAC) pour les enjeux environnementaux.

## Pour Airbus

---

**Steven LE MOING** : Docteur en Physique, actuellement en charge du sujet des carburants alternatifs au sein des affaires environnementales d'Airbus. Il poursuit le déploiement de la stratégie Airbus contribuant à soutenir l'émergence des carburants alternatifs dans l'industrie aéronautique. La présence d'Airbus est ainsi assurée au sein des groupes de travail nationaux et internationaux et se traduit également par le soutien aux utilisateurs finaux que sont les compagnies aériennes au travers notamment des vols de livraisons incluant des carburants alternatifs.

**Frédéric EYCHENNE** : Ingénieur de formation, aujourd'hui Director Air Transport Affairs, il a eu en charge la stratégie et la coordination des initiatives carburants alternatifs pour les affaires environnementales d'Airbus pendant 8 ans. A ce titre il a contribué à promouvoir les projets de collaboration sur ce thème auprès des instances européennes et internationales ainsi qu'avec les compagnies aériennes clientes d'Airbus.

## Pour SAFRAN

---

**Nicolas JEULAND** : expert carburants futurs et responsable prospective « carburants bas carbone » pour le groupe Safran, qu'il a rejoint en 2014 après 15 ans à l'IFP Énergies Nouvelles en tant que chef du département Carburants / Émissions et expert carburants.

Nicolas Jeuland est également responsable du WG3 (environnement et carburants alternatifs) d'acare (Advisory Council for Aviation Research in Europe) et officier de réserve auprès du Centre d'expertise Interarmées (Service des Essences des Armées).

## **Pour SUEZ**

---

**Clémence BAUDOUIN** : ingénieur Agronome de formation, au sein de la cellule développement et Innovation de SUEZ France, elle a en charge depuis 4 ans la qualification et le montage de nouvelles filières de valorisation des déchets ; plus particulièrement dans le domaine des biomasses déchets.

**Alice FRANCOU** : diplômée de l'EDHEC, au sein de la Business Unit dédiée à la valorisation des déchets organiques du groupe SUEZ, assure depuis 4 ans le pilotage du métier de collecte et de préparation des Huiles Alimentaires Usagées (HAU) pour la France.

**Laurent GALTIER** : ingénieur Agronome de formation, au sein de la Direction Innovation et Performance de SUEZ, il a en charge depuis 10 ans la coordination des programmes d'innovation du groupe pour le secteur des déchets organiques et de la Bioraffinerie.

## **Pour Total**

---

**Stéphane THION** : titulaire d'un diplôme de l'ESLSCA (Paris) et d'un MBA de Temple University (Philadelphie, Etats-Unis). En charge de l'élaboration et du déploiement de la stratégie des biocarburants durables aéronautiques au sein de la division BioFuels de Total.

# PARTIE 2 : DURABILITE DES BIOCARBURANTS



## MESSAGES CLES

### DURABILITE DES BIOCARBURANTS

#### Contexte :

- En matière de durabilité des biocarburants aéronautiques, des règles sont définies au niveau supranational. Ainsi, pour la production de biocarburants sur le territoire national, ce sont les règles définies par la Directive Energies Renouvelables Européenne qui s'appliquent.
- Les opérateurs du transport aérien peuvent valoriser les gains d'émission rendus possibles par l'utilisation des biocarburants au sein de mécanismes de marché tels que le marché carbone européen (ETS<sup>1</sup>) ou le mécanisme de compensation des émissions de l'aviation internationale (CORSIA).
- Les coûts de certification de la durabilité ne sont pas significatifs pour les producteurs et ne peuvent pas être responsables du différentiel de prix observé entre le biocarburant aéronautique et le kérosène conventionnel.

#### Recommandations :

- La production de biocarburants aéronautiques durables doit s'effectuer selon un cadre strict en respect de standards de durabilité reconnus, pour mesurer et maîtriser les impacts environnementaux.
- Les interactions avec les responsables de la certification de la durabilité, qui sont des acteurs très importants, doivent être facilitées.
- Les coûts de certification de la durabilité doivent continuer à être maîtrisés.

## A. Le cadre international du CORSIA

Les Etats membres de l'OACI<sup>2</sup> se sont fixé dès 2010 un objectif de croissance neutre en carbone à partir de 2020 c'est-à-dire un objectif de stabilisation des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation internationale au niveau qu'elles atteindront en 2020. Lors de la 38<sup>ème</sup> assemblée de l'OACI en 2013, la résolution A38-18 sur la lutte contre le changement climatique a confirmé cet objectif. En 2016, le CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), mécanisme mondial de compensation des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation internationale, a été adopté par les 191 Etats membres de l'OACI, lors de la 39<sup>ème</sup> assemblée de cette agence spécialisée des Nations-Unies. En juin 2018, les règles de mise en œuvre précises du CORSIA ont été adoptées par le Conseil de l'OACI. Elles portent notamment sur la

---

<sup>1</sup> Emissions Trading Scheme

<sup>2</sup> Organisation de l'Aviation Civile Internationale

manière de surveiller, de déclarer et de vérifier les émissions de CO<sub>2</sub> des opérateurs du transport aérien<sup>3</sup>. Le CORSIA est un dispositif parmi d'autres destiné à concrétiser la contribution de l'aviation internationale à la lutte contre le changement climatique mais il est intéressant dans le cadre de cet ECV, car il intègre les biocarburants et propose une méthodologie précise et détaillée pour les prendre en compte et assurer leur durabilité.

- **Principe général** : un opérateur de transport aérien (une compagnie aérienne par exemple) utilisant des carburants éligibles pour donner lieu à des réductions d'émissions dans le CORSIA pourrait s'en prévaloir pour demander une baisse du montant de ses émissions à compenser. Ces réductions d'émissions seront proportionnelles aux gains d'émissions estimés pour le biocarburant utilisé. Le suivi, la déclaration et la vérification des quantités de carburants éligibles utilisées par un opérateur aura lieu chaque année mais les exigences de compensation en résultant seront calculées selon un cycle triennal.

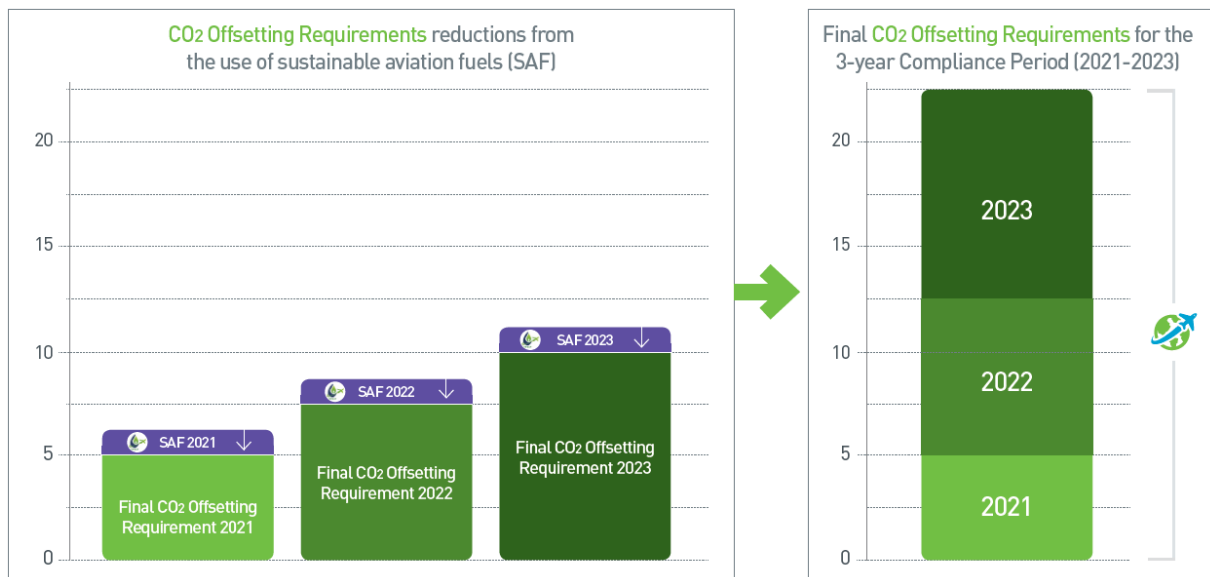


Figure : Principe de réductions des exigences de compensation d'un opérateur par l'utilisation de carburants éligibles à la réduction des émissions dans le CORSIA

- **Calcul des réductions d'émission** : dans le mécanisme CORSIA, les modalités de calcul des réductions d'émissions associées à l'utilisation de carburants éligibles sont explicitées. Elles reposent sur les principes suivants :
  - Chaque filière (couple entre un type de ressource et un procédé) équivaut à des gains potentiels d'émissions spécifiques (calculés par une analyse de cycle de vie) ;

<sup>3</sup> Toutes les règles définies pour le CORSIA sont disponibles sur le site internet de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale dédié au CORSIA : <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>

- Ces gains potentiels sont comparés à la référence établie pour le carburant conventionnel d'origine fossile à **89 gCO<sub>2</sub>eq/MJ** ;
- L'analyse de cycle de vie intègre deux composantes :
  - Les émissions liées aux effets directs ;
  - Les émissions liées aux effets indirects de changement d'affectation des terres.

Pour simplifier la mise en œuvre du dispositif, des **valeurs par défaut** d'émissions sont proposées pour chaque filière de biocarburant aéronautique. Un groupe d'experts travaille au calcul de ces valeurs de référence au sein de l'OACI. Les calculs ont déjà été réalisés pour un certain nombre de filières et se poursuivent. La liste présentant ces valeurs a été publiée par l'OACI fin 2019, donnant au secteur industriel une meilleure visibilité sur le dispositif. Il convient de noter que chaque producteur peut également effectuer ses propres calculs selon la méthodologie agréée par l'OACI.

- **Eligibilité des carburants aux réductions d'émissions** : pour être éligibles aux réductions d'émissions selon les modalités présentées ci-dessus, les carburants devront respecter les exigences suivantes :
  - Respecter les critères de durabilité du CORSIA définis par l'OACI. Ces critères seront amenés à évoluer lors des révisions successives du dispositif.
  - Avoir été certifiés vis-à-vis de ces critères par un certificateur au regard d'un standard reconnu (dit « *Sustainable Certification Scheme* ») ayant été approuvé par un groupe d'experts indépendants, rattaché à l'OACI.

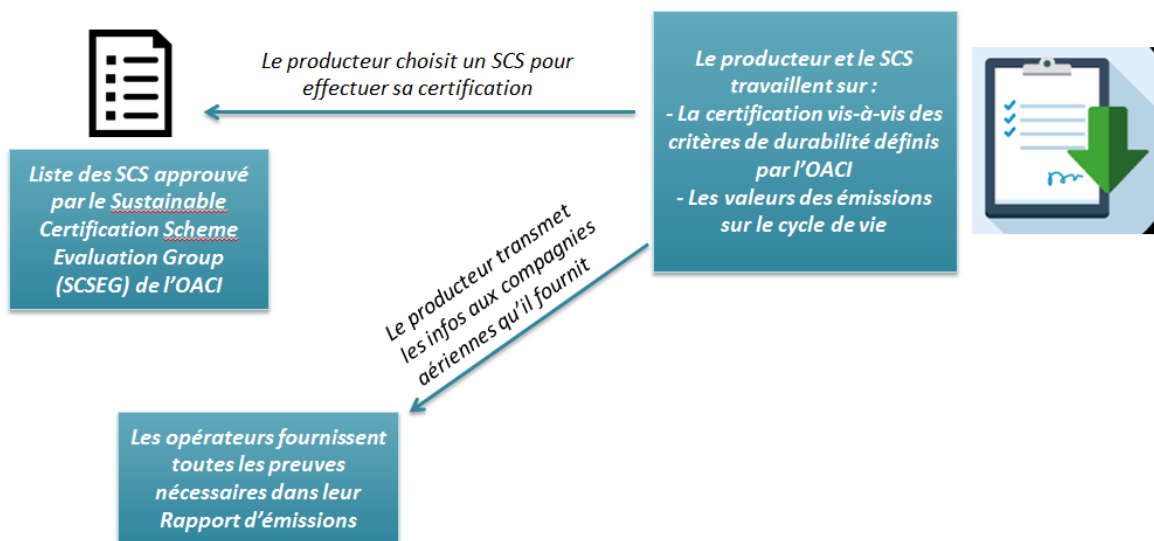


Figure : Les principes généraux de la certification des carburants éligibles dans le CORSIA

## B. Le cadre européen de la directive énergies renouvelables

La directive 2009/28/CE sur la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables (dite RED) crée une réglementation commune pour l'utilisation des

énergies renouvelables dans l'UE afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de promouvoir des transports plus propres. Elle fixe notamment, à l'horizon 2020 :

- a. Une ambition générale d'atteindre une part de 20 % de l'énergie provenant de sources renouvelables dans l'énergie de l'UE
- b. Une part de 10 % de ce type d'énergie dans les transports (calculées en termes de consommation finale brute d'énergie, à savoir la consommation finale d'énergie provenant de toutes les sources, y compris de sources renouvelables).

La directive RED 2 adoptée en décembre 2018, définit les nouveaux objectifs ambitieux de l'Union Européenne dans ces domaines à l'horizon 2030. Il est prévu de reconnaître aux biocarburants aéronautiques la possibilité de contribuer de façon significative à l'atteinte de l'objectif global d'incorporation d'énergies renouvelables dans les transports, et ce, afin de soutenir les difficultés de décarbonation de ce secteur (options alternatives très limitées, viabilité économique, contrainte internationale). La quantité d'énergie renouvelable incorporée dans les carburants aéronautiques bénéficie d'un facteur multiplicatif de 1,2 si la matière première utilisée n'est pas en concurrence alimentaire. Le coefficient peut être porté à 2,4 pour les biocarburants de l'annexe IX de la directive.

## C. Les coûts de certification

Il existe deux types de certification en ce qui concerne les biocarburants aéronautiques : la certification technique du produit (cf. Partie 3) et la certification « environnementale » relative à la durabilité du produit.

La reconnaissance du caractère durable de la production de biocarburants passe par la certification environnementale, délivrée par des organismes indépendants tels que par exemple le *Roundtable for Sustainable Biomaterials (RSB)* ou l'*International Sustainability and Carbon Certification (ISCC)*, permettant d'assurer la conformité avec les réglementations en vigueur dans les pays de production et de commercialisation ; pour des processus innovants, la certification doit être obtenue pour la partie production de matières premières et pour la partie conversion en biocarburant.

Ces certifications de durabilité assurent que la matière première ne provient pas de terres riches en carbone ou en biodiversité, et qu'elle permet une réduction conséquente des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport au carburant fossile.

A titre d'exemple, pour un pétrolier producteur de biocarburant, la certification du processus de transformation comporte 4 éléments de coûts externes, c'est-à-dire à payer à une société tierce. Ces coûts sont les suivants :

- i. *Devenir membre de l'organisme* : ~500 €/an pour une société avec un chiffre d'affaire de plus de 10 M€/an ;
- ii. *Prime d'enregistrement de la filière* : maximum 500 € ;



- iii. *Prime annuelle de certification* : maximum 500 €/an (selon la taille de l'entreprise et le volume de marché) ;
- iv. *Audit de certification annuel* (environ 2 jours d'audit par an, sachant que l'effort de préparation, y compris pour l'audit initial de certification, est de l'ordre des coûts internes à la société évaluée, qu'elle intègre ou pas dans le prix de vente du produit final) : maximum 3000 €/an.

Ainsi, en première approximation, le coût global de la certification environnementale est donc de moins de 5000 €/an pour l'ensemble de la chaîne de valeur, soit moins de 0,5 €/t pour une fabrication annuelle de 10 000 tonnes.

## D. Autres impacts environnementaux

La production et l'utilisation de biocarburants a d'autres impacts environnementaux. Ainsi, l'utilisation de biocarburants aéronautiques pourrait avoir des impacts potentiels qui restent à confirmer sur la qualité locale de l'air.

Les émissions de polluants liées à la combustion des carburants ont des effets sur la qualité locale de l'air. Dans le cadre de l'ECV, une revue de littérature sur l'impact potentiel de l'utilisation de biocarburants aéronautiques sur la qualité locale de l'air a été réalisée par Safran (voir étude en annexe).

Les principaux résultats sont les suivants :

- Les émissions de polluants des avions sont largement dépendantes des caractéristiques (propriétés physiques et composition chimique) des carburants utilisés ;
- Les biocarburants aéronautiques durables actuellement certifiés (HEFA, FT, SIP, AtJ) présentent des caractéristiques intéressantes vis-à-vis des émissions de polluants : ils ne contiennent pas de soufre, pas d'aromatiques et sont souvent légers ;
- L'usage des biocarburants aéronautiques durables pourrait avoir des impacts non négligeables sur les émissions de polluants dans le cas de taux d'incorporation significatifs (exemple d'un mélange à 50%)
  - Réduction des émissions de SOx et de particules (PM2.5) jusqu'à 40% ;
  - Réduction des émissions de CO et HC de l'ordre de 20% ;
  - Impact peu significatif sur les NOx (impact d'ordre 2).
- Les effets des biocarburants aéronautiques sur les émissions de polluants sont parfois clairement explicables (SOx, masse de particules), mais résultent parfois de couplages complexes entre composition chimique du carburant, propriétés physiques, technologies moteur et conditions de fonctionnement ;
- L'utilisation de certains biocarburants aéronautiques durables pourrait avoir un impact positif notable sur les émissions de polluants des avions et potentiellement sur la qualité de l'air à proximité des plateformes aéroportuaires, moyennant un taux d'incorporation substantiel.

- L'amélioration de la qualité de l'air n'est cependant pas une propriété intrinsèque des biocarburants aéronautiques durables, mais une conséquence d'une composition optimale pour certaines filières et d'un taux substantiel d'incorporation.
- Les effets de l'utilisation de biocarburants aéronautiques durables sur la qualité locale de l'air restent encore à valider et à quantifier par des études plus systématiques.

# PARTIE 3 : RESSOURCES ET PROCÉDES



De la matière première durable au biocarburant, le défi de l'industrialisation de la chaîne de production.

## A. Le développement rapide des technologies de production face au défi de l'industrialisation

### MESSAGES CLES

#### LES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION DES BIOCARBURANTS AERONAUTIQUES

- 5 filières de production de biocarburants d'aviation sont certifiées actuellement et permettent jusqu'à 50% d'incorporation maximum.
- L'absence de retour d'expérience ne permet pas de se prononcer sur la filière de production à retenir, ni sur les coûts de développement des infrastructures.
- Il apparaît cependant vraisemblable que le dispositif de production devra s'adapter à la disponibilité et au coût de la matière première.
  - Ainsi à court terme, l'hydrotraitement des huiles devrait se développer.
  - Cependant, à moyen-terme, les technologies de gazéification et de fermentation de la matière première sont plus adaptées au traitement des ressources nationales mobilisables.

La certification des biocarburants aéronautiques a commencé il y a moins de 10 ans et 5 filières sont aujourd'hui certifiées par l'ASTM International<sup>4</sup> comme des alternatives renouvelables et durables aux carburants d'aviation d'origine fossile ; une liste comprenant à ce jour une vingtaine de filières nouvelles et innovantes est actuellement à l'étude, avec des faisabilités et horizons de certification variables.

L'ECV soutient le principe de diversification selon lequel les filières de production de biocarburants d'aviation en France s'appuient sur une diversité de ressources et de technologies.

#### I. Des biocarburants d'aviation certifiés pour assurer un niveau de sécurité optimal

Le déploiement des biocarburants d'aviation en France doit s'effectuer avec une exigence de sécurité optimale. Ainsi, la certification technique des produits selon les normes et procédures en vigueur est jugée indispensable.

Au niveau mondial, 5 filières de biocarburants d'aviation sont actuellement certifiées techniquement et représentent ainsi des alternatives renouvelables et durables au carburant d'aviation d'origine fossile. Les carburants aéronautiques répondent à des exigences techniques sévères par des caractéristiques physico-chimiques précises. Pour garantir un

---

<sup>4</sup> American Society for Testing Material

niveau optimal de sécurité, tous les nouveaux carburants doivent donc être certifiés dans le cadre d'un processus complexe sous l'égide de l'ASTM International. Aujourd'hui, les 5 filières de production de biocarburants d'aviation certifiées sont les suivantes :

- Procédé FT-SPK certifié pour une incorporation à maximum 50% ;
- Procédé HEFA-SPK certifié pour une incorporation à maximum 50%;
- Procédé SIP-SPK certifié pour une incorporation à maximum 10% ;
- Procédé ATJ-SPK certifié pour une incorporation à maximum 50%
- Procédé coprocessing pour une incorporation maximum à 5%.

#### **LA CERTIFICATION TECHNIQUE DU PRODUIT**

- Les carburants aéronautiques alternatifs sont certifiés dans le cadre de l'ASTM International selon la norme D7566, qui prévoit que le composant alternatif et le mélange composant alternatif-composant fossile doivent être analysés séparément selon cette norme. Cette certification qui prend plusieurs mois peut coûter quelques millions d'euros.
- Un biocarburant certifié doit être analysé, comme tout carburant aéronautique, selon la norme D1655 avant son intégration dans la logistique banalisée du carburant aéronautique. Le coût d'analyse selon la norme D7566 est d'environ 2000 € par lot, chaque lot de carburant aéronautique alternatif prêt à être intégré dans la logistique banalisée du carburant aéronautique subira donc un coût supplémentaire de certification technique d'environ 4000 €. La taille de l'usine de transformation de biomasse est donc capitale pour le coût unitaire final à imputer au biocarburant aéronautique. Ainsi, à titre d'exemple, dans une usine de taille industrielle de l'ordre de celle de la bio-raffinerie de La Mède, un lot unitaire standard de fabrication de bio-composant est de 5 000 tonnes, impliquant dès lors un surcoût de certification technique du produit inférieur à 1 €/t.

Une vingtaine d'autres filières innovantes sont à l'étude, avec des faisabilités et des horizons de certification variables, confirmant l'étendue des possibilités technologiques. Les technologies certifiées de production de biocarburant d'aviation permettent la fabrication de biomolécules proches de celles présentes dans le carburant d'aviation d'origine fossile et totalement fongibles à ce dernier, les rendant ainsi entièrement compatibles. L'utilisation de ces biocarburants d'aviation certifiés n'induit par conséquent aucun ajustement sur les aéronefs ou les infrastructures aéroportuaires. La feuille de route d'Ancre (alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie), publiée en juin 2018, évalue le potentiel français des filières de production de biocarburants d'aviation identifiées et propose une vision à l'horizon 2050 de leur développement.

Mise en place d'une filière de biocarburants aéronautiques durables en France

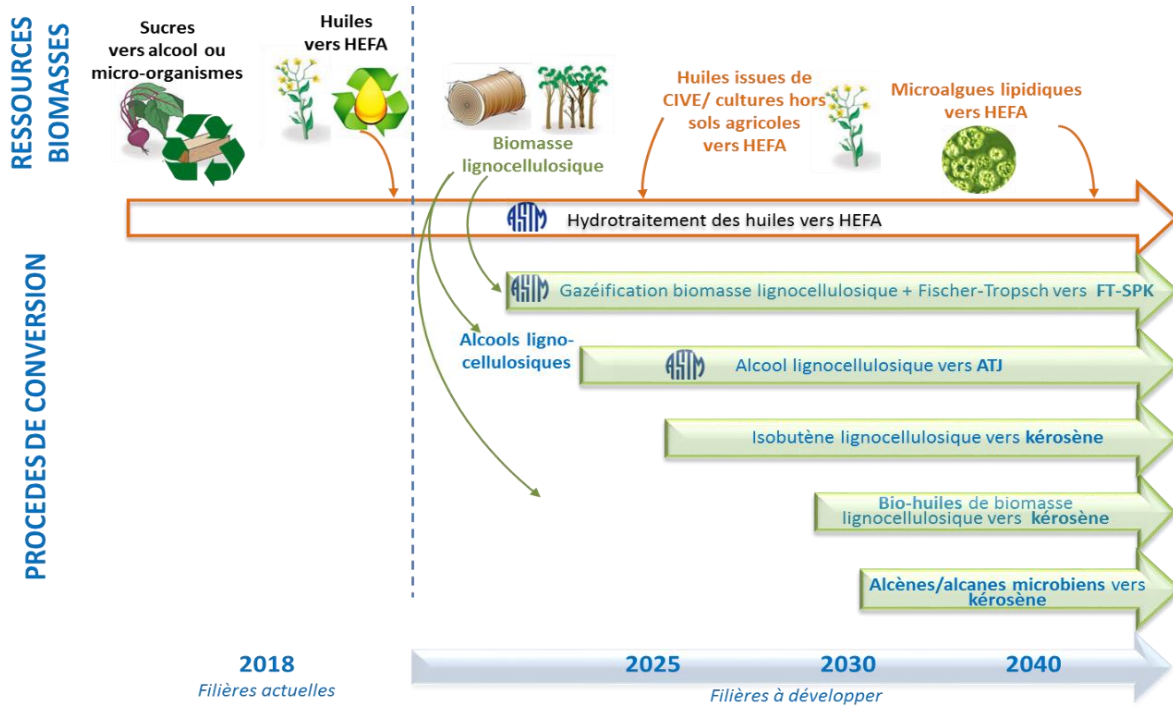


Figure : Vision du développement des filières de biocarburants aéronautiques en France à horizon 2050 (source : ANCRE)

Dénomination ASTM	Produit biocarburant aéronautique durable	Ressources	Tonnes de ressource/ Tonne de produit	Source
FT-SPK (ASTM)	Biocarburant aéronautique durable FT (mode max kéro)	biomasse lignocellulosique (MS)	7 à 9	IFPEN
ATJ-SPK (ASTM)	Ethanol to jet (voie fermentaire)	biomasse lignocellulosique (MS)	7 à 9	IFPEN
ATJ-SPK (ASTM)	Ethanol to jet (voie gazéification)	biomasse lignocellulosique (MS)	7 à 9	Suez
SIP (ASTM)	Farnesane	biomasse lignocellulosique (MS)	10	IFPEN via Total

En cours de certification	Isobutène-to-jet	biomasse lignocellulosique (MS)	7 à 9	IFPEN via Global bio énergie
---------------------------	------------------	---------------------------------	-------	------------------------------

Figure : Tableaux de rendement des technologies pour les filières avancées  
MS : matière sèche - MB : matière brute

Dénomination ASTM	Produit biocarburant aéronautique durable	Ressources	Tonnes de ressource/ Tonne de produit	Source
HEFA-SPK (ASTM)	Biocarburant aéronautique durable HEFA	huiles végétales	1,2	IFPEN
ATJ-SPK (ASTM)	Ethanol to jet (voie fermentaire)	betterave (MB)	22 à 28	IFPEN
ATJ-SPK (ASTM)	Ethanol to jet(voie fermentaire)	céréales (MB)	8 à 10	IFPEN
SIP (ASTM)	Farnesane G1	betterave (MB)	24	IFPEN via TOTAL
En projet	Isobutène-to-jet	betterave (MB)	20 à 22	IFPEN via GBE

Figure : Tableaux de rendement des technologies pour les filières conventionnelles

#### Biocarburant aéronautique et usage militaire

Le domaine militaire est susceptible d'avoir un impact notable sur le déploiement des carburants alternatifs pour l'aéronautique, et ceci afin de valider la compatibilité des matériels militaires, d'assurer la pérennité de la politique de carburant unique et de valider l'innocuité vis-à-vis de la gestion des stocks stratégiques.

Dans le cadre de l'ECV, Safran a étudié ces éléments avec le soutien du Service des Essences des Armées (SEA). Il résulte de cette étude que l'usage militaire présente certaines spécificités *a priori* non réhhibitoires pour le déploiement des carburants alternatifs aéronautiques, mais qui nécessite néanmoins une prise en compte particulière :

- En raison de spécificités de conception et d'usage, les matériels militaires nécessitent des essais complémentaires visant à assurer leur compatibilité avec les carburants alternatifs. La certification selon la procédure ASTM couvre l'usage civil mais elle n'est pas directement transposable au matériel militaire.
- Le déploiement de biocarburants aéronautiques doit faire l'objet d'études complémentaires vis-à-vis de la politique du carburant unique (utilisation du carburéacteur dans les véhicules terrestres militaires), notamment en ce qui concerne l'indice de cétane des carburéacteurs contenant des biocarburants aéronautiques. Le résultat de ces études permettra, le cas échéant, de faire évoluer les procédures de contrôle et d'additivation afin de garantir la mise en œuvre de la politique du carburant unique.

En ce qui concerne les stocks stratégiques, même s'il existe peu d'étude systématique sur l'impact de l'ajout de biocarburants aéronautiques vis-à-vis de la stabilité au stockage du carburéacteur, les connaissances actuelles permettent d'affirmer que le déploiement de ces filières ne devrait pas avoir de conséquence sur le stockage de longue durée des produits, pour peu que les procédures d'exploitation en matière de gestion des contaminations (en eau notamment) soient appliquées.

## **II. Le manque de maturité de la filière ne permet pas de se prononcer sur le choix d'une technologie de production**

---

Compte-tenu de la variabilité et de la disponibilité des matières premières utilisables pour produire ces biocarburants aéronautiques et de l'enjeu en termes de volumes de biocarburants aéronautiques à incorporer dans l'avenir, il convient de garder une stricte neutralité technologique et d'encourager l'innovation, permettant ainsi de proposer une vision à long terme du déploiement de biocarburants aéronautiques renouvelables et durables.

Toutefois, dans le cadre de cet ECV, le réalisme impose de retenir, pour un déploiement à court-terme en France, en priorité les filières les plus matures à ce jour, les plus à même d'être disponibles au niveau industriel, tant au niveau des matières premières que de la transformation, et présentant les plus faibles contraintes en termes de viabilité économique.

Si ce principe est limitant à court terme, ça ne devrait pas être le cas dans un avenir plus lointain. Pour s'en assurer, cet ECV analysera les conditions de développement de filières durables de production à moyen et long terme pour atteindre les objectifs européens formulés par la directive RED II et en particulier les objectifs que la France s'est fixée à travers la Feuille de Route Economie Circulaire.

### **LA FEUILLE DE ROUTE POUR L'ECONOMIE CIRCULAIRE**

Présentée en janvier 2018, la feuille de route pour l'économie circulaire<sup>1</sup> (FREC) décline de manière opérationnelle la transition à opérer pour passer d'un modèle économique linéaire « fabriquer, consommer, jeter » à un modèle circulaire qui intégrera l'ensemble du cycle de vie des produits, de leur écoconception à la gestion des déchets, en passant bien



évidemment par leur consommation en limitant les gaspillages. Elles fixent comme principaux objectifs :

- Réduire la consommation de ressources liée à la consommation française : réduire de 30 % la consommation de ressources par rapport au PIB d'ici à 2030 par rapport à 2010
- Réduire de 50 % les quantités de déchets non dangereux mis en décharge en 2025 par rapport à 2010
- Tendre vers 100 % de plastiques recyclés en 2025
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre : économiser l'émission de 8 millions de tonnes de CO2 supplémentaires chaque année grâce au recyclage du plastique
- Créer jusqu'à 300 000 emplois supplémentaires, y compris dans des métiers nouveaux

### **III. Les perspectives d'évolution dans le temps des différents modèles de production**

---

A court terme, l'hydrotraitement des huiles est une technologie mature, développée au niveau industriel et en cours de déploiement sur le territoire national. Cependant, le développement de cette technologie trouve ses limites dans les faibles quantités disponibles de matières premières. Cette technologie ne devrait, sur le plus long terme, ne fournir qu'une faible proportion des volumes nationaux de biocarburant aéronautique durable.

A moyen-terme, les technologies de gazéification de la matière première (voie FT-SPK) ou Alcohol-To-Jet (ATJ-Ethanol) permettraient quant à elles de valoriser de plus larges volumes par la mobilisation d'autres types de ressources. En France, la validation du projet démonstrateur de la voie FT-SPK est attendue fin 2019 et le procédé de production d'éthanol lignocellulosique (voie fermentaire ATJ-SPK) Futurol est d'ores et déjà commercialisable. Le développement d'unités industrielles couplant la gazéification à la synthèse Fisher-Tropsch (FT-SPK) ainsi que d'unités industrielles couplant production d'éthanol et conversion en jet (ATJ-SPK) pourraient donc contribuer au lancement de nouvelles filières françaises.

A plus long terme, d'autres filières utilisant des procédés de fermentation de la biomasse par voies microbiennes pour la production de biocarburants d'aviation seront également matures en Europe. En amont, les technologies, en cours de démonstration à l'échelle préindustrielle en France, assurant la fabrication d'isobutène à partir de ressources diverses comme des résidus de l'industrie sucrière ou de la biomasse ligno-cellulosique, pourront, dès leur certification, être valorisées dans les premières étapes de production de biocarburant d'aviation.

		PROCEDES				
		VOIE THERMIQUE		VOIE FERMENTAIRE		VOIE SIP
		FT SPK	Alcool to Jet		Voie Isobutène	Farnesène
Gazéification	Voie fermentaire					
Approvisionnement critique (kT)		500-800	200-500	150	Taille unité GBE : 150	150-300
Pilotes existants FR		BIOTFUEL		FUTUROL	GBE EVRY	
POTENTIEL DES RESSOURCES	FFOM (Fraction Fermentescibles des Ordures Ménagères)	- test de comportement en torrefaction? - tri pour isoler les matières les moins humides? - gestion du stockage?		- test à mener - gestion du stockage?		
	CSR/ RDF (Combustible Solide de Récupération)	test à mener	Enerkem			
	Papiers/cartons non recyclés					
	Bois B			Tests en cours (Bioforever)		
	Plastiques non recyclables mécaniquement	test à mener				
	Boues déshydratées	test à mener	test à mener	Risque rendement faible sucres extractibles		
	Résidus agricoles					
	Résidus de l'exploitation forestière					
<b>Remplissage du tableau</b>						
		<b>Code couleur</b>				
		<b>Compatibilité gisement/procédé</b>	Passage à l'échelle industrielle faisable (d'un point de vue technique)	Etape nécessaire de validation technique (sur l'ensemble de la chaîne de valeur)	Couple procédé-ressource incompatible avec une production de biojet (ou long terme)	Ressources et procédés considérés comme non prioritaires

Figure : Compatibilité entre gisements de matière première et procédés de transformation

## **B. Une ressource durable, affiliée à l'économie circulaire, dont la quantité disponible sur le marché français permet de satisfaire les besoins de la filière**

### **MESSAGES CLES**

#### **LES RESSOURCES DISPONIBLES POUR LA PRODUCTION DE BIOCARBURANTS AERONAUTIQUES DURABLES**

- Les gisements apparaissent comme disponibles et en quantité suffisante pour satisfaire les besoins de la filière française de production de biocarburant aéronautique.
- A court terme, le modèle de production serait initié avec les huiles alimentaires usagées. Cependant, les volumes disponibles ne sont pas suffisants pour satisfaire l'ensemble de la demande. A moyen terme, l'emploi des ressources de matière première à dominantes « lignine » et « cellulose » est indispensable pour le développement de la filière.
- **La principale difficulté vient de la capacité à mobiliser des volumes nécessaires de matières premières.** Des modèles d'incitation à la récupération de cette matière première pourraient être envisagés.
- Afin de satisfaire les attentes d'orientation des dispositifs fiscaux liés à l'environnement vers le développement de mesures écologiques, les montants financiers issus de ces mécanismes pourraient alimenter un dispositif permettant de les orienter directement vers le financement d'aides au développement d'une filière biocarburant aéronautique durable : incitation à la récupération des matières premières, à la production et la consommation de biocarburant aéronautique durable.

Pour réduire son empreinte carbone, le secteur de l'aérien devra s'appuyer sur le déploiement des biocarburants aéronautiques durables qui constituent un levier fondamental de sa réponse au défi du changement climatique et qui permettront de réduire les émissions nettes du secteur. Pour autant, cette réduction de l'empreinte carbone du transport aérien ne peut se faire au détriment des autres dimensions de l'environnement. L'utilisation de biocarburants aéronautiques doit assurer des réductions d'émissions réelles et la production de ces biocarburants ne doit pas avoir d'effets néfastes directs ou indirects sur les autres composantes de l'environnement.

Pour répondre à ces exigences de durabilité, le déploiement des biocarburants aéronautiques doit intégrer les trois dimensions fondamentales du développement durable : la dimension environnementale, la dimension économique et la dimension sociale (création d'emplois). Par ailleurs, le déploiement des biocarburants aéronautiques doit également être compatible avec l'acceptabilité sociétale de la ressource utilisée.

#### **I. Des ressources durables pour des biocarburants d'aviation avancés ou issus de l'économie circulaire**

Le déploiement des biocarburants d'aviation en France doit être associé à des exigences environnementales fortes pour assurer des gains réels d'émissions de CO<sub>2</sub>. L'origine de la ressource utilisée, sa durabilité environnementale et socio-économique, sont des éléments structurants pour le développement des bioénergies. Les biocarburants aéronautiques devront prioritairement être produits à partir de ressources listées à l'annexe IX de la directive énergie renouvelable (2018/2001/CE). Les biocarburants d'aviation constituent des débouchés prometteurs pour les ressources telles que les huiles usagées traitées ou les graisses traitées en provenance des réseaux d'assainissement ou des filières industrielles, produites par les industriels du recyclage, ainsi que pour la valorisation des déchets et résidus agricoles et forestiers. La diversification des matières premières utilisées doit permettre d'actionner l'ensemble des options potentielles.

## **LES RESSOURCES LISTÉES A L'ANNEXE IX DE LA DIRECTIVE ENERGIES RENOUVELABLES**

### **Partie A.**

- Algues si cultivées à terre dans des bassins ou des photobioréacteurs.
- Fraction de la biomasse correspondant aux déchets municipaux en mélange, mais pas aux déchets ménagers triés relevant des objectifs de recyclage fixés à l'article 11, paragraphe 2, point a), de la directive 2008/98/CE.
- Biodéchets tels que définis à l'article 3, point 4), de la directive 2008/98/CE, provenant de ménages privés et faisant l'objet d'une collecte séparée au sens de l'article 3, point 11), de ladite directive.
- Fraction de la biomasse correspondant aux déchets industriels impropres à un usage dans la chaîne alimentaire humaine ou animale, comprenant les matières provenant du commerce de détail et de gros ainsi que des industries de l'agroalimentaire, de la pêche et de l'aquaculture, et excluant les matières premières visées dans la partie B de la présente annexe.
- Paille, Fumier et boues d'épuration, Effluents d'huileries de palme et rafles, Brai de tallol, Glycérine brute, Bagasse, Marcs de raisins et lies de vin, Coques, Balles (enveloppes), Râpes,
- Fraction de la biomasse correspondant aux déchets et résidus provenant de la sylviculture et de la filière bois, c'est-à-dire les écorces, branches, produits des éclaircies précommerciales, feuilles, aiguilles, cimes d'arbres, sciures de bois, éclats de coupe, la liqueur noire, la liqueur brune, les boues de fibre, la lignine et le tallol.
- Autres matières cellulosiques non alimentaires.
- Autres matières ligno-cellulosiques à l'exception des grumes de sciage et de placage.

### **Partie B.**

- Huiles de cuisson usagées.
- Graisses animales classées dans les catégories 1 et 2 conformément au règlement (CE) n° 1069/2009.

## II. Gisements de matières premières durables en France

---

L'émergence d'une filière industrielle française de biocarburants aéronautiques durables devrait représenter un débouché supplémentaire pour les filières de valorisation des déchets. Ce nouveau débouché permettrait d'augmenter le taux de recyclage et de valorisation des déchets et participerait ainsi à atteindre les objectifs de la Feuille de Route Economie Circulaire, publiée par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire en 2018.

### 1) Gisements envisagés pour le développement d'une filière à court terme

---

Les ressources mobilisables pour le développement d'une filière à court terme sont des ressources déjà utilisées en partie dans une filière de fabrication de biocarburant. Les technologies utilisées pour convertir ces ressources sont relativement maîtrisées et matures.

Il s'agit de la famille des huiles et graisse qui regroupe les huiles alimentaires usagées (HAU), les graisses issues des bacs à graisse, les graisses d'assainissement, les graisses animales, les huiles acides issues du procédé de raffinage chimique d'huiles végétales et les TOFA (Tall Oil Fatty acid). **Le gisement est de 500 000 tonnes par an avec plus de 300 000 t/an collectées aujourd'hui.**

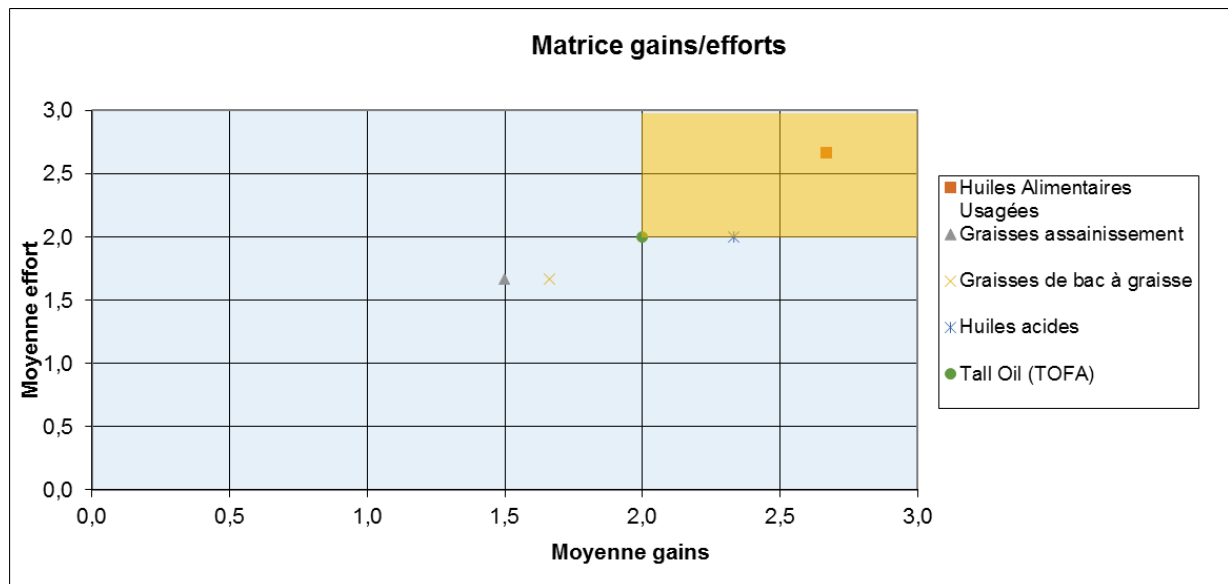
- **Les huiles alimentaires usagées** incluent l'huile de friture, l'huile de cuisson, l'huile de conserve et les restes d'huile de table. Elles sont produites par l'industrie agro-alimentaire, la restauration commerciale et collective et les particuliers. La réglementation impose une collecte séparée pour les HAU depuis 2012. A partir de 2016, les détenteurs produisant au moins 60 litres d'HAU par an sont tenus d'en assurer le tri à la source en vue de leur valorisation.
- **Les bacs à graisses** sont obligatoires dans tous les établissements du secteur de la restauration et des métiers de bouche. Ceux-ci permettent de récupérer les graisses contenues dans les eaux et préserver ainsi l'état du réseau d'assainissement, le bon fonctionnement des stations d'épuration et in fine l'environnement en cas de fuite liée à la corrosion.
- **Les graisses des réseaux d'assainissement** peuvent provenir des dégraisseurs de station d'épuration ou de déshuileurs de réseaux (récupérées lors des opérations de curage).
- **Les graisses animales** proviennent des abattoirs (de l'industrie agroalimentaire au sens large)
- **Les huiles acides** sont des résidus acides issus du procédé de raffinage chimiques d'huiles végétales. Cette étude a uniquement considéré le gisement disponible sur le territoire national, principalement issu du raffinage de l'huile de colza.
- **Les Tall Oil Fatty Acids** sont issus du raffinage du Crude Tall Oil, résidu obtenu lors de la fabrication de pâte à papier à partir de résineux.

La production de biocarburant routier est aujourd'hui la voie de valorisation principale pour les huiles alimentaires usagées. Les huiles acides et TOFA trouvent différentes applications dans l'industrie chimique. Les autres ressources d'huiles et graisses sont valorisées en

méthanisation, en compostage ou en alimentation animale. Les graisses issues des réseaux d'assainissement peuvent aussi être traitées en station d'épuration

Les huiles et graisses sont considérées comme mobilisables à court terme du fait de leurs caractéristiques chimiques qui en font des ressources directement utilisables et de la maturité des procédés pour la production de biocarburant routier et aérien (par procédé d'hydrogénation). Elles sont donc considérées comme étant les ressources les plus évidentes pour une production d'ici à 2025.

Ce constat est cependant à nuancer au vu des quantités limitées et dispersées de ce gisement qui semble, de plus, être peu enclin à évoluer d'ici à 2030. Ainsi, du fait de leur caractère diffus, les huiles et graisses nécessitent beaucoup d'énergie pour être captées. L'exemple suivant illustre parfaitement l'effort à fournir : le remplissage d'une citerne de 25 tonnes nécessite de collecter les HAU de 250 restaurants. Enfin, une autre limite à l'utilisation de ce type de ressource est le seuil imposé par la directive RED II qui limite à 1.7% l'incorporation de biocarburants issus d'huiles et graisses.



Matrice classant les huiles et graisses selon les gains permis par leur orientation vers une filière biocarburants aéronautiques et les efforts nécessaires à leur mobilisation

→ La famille des huiles et graisses peut initier le développement de la filière des biocarburants aéronautiques durables, mais les volumes disponibles au regard des besoins en biocarburant aéronautique durable et son coût de collecte n'en feront certainement pas la ressource principale.

## 2) Gisements envisagés pour le développement d'une filière à court-moyen terme

Les ressources mobilisables pour un développement à court-moyen terme sont les ressources pour lesquelles il n'existe pas encore de filière de production de biocarburant mais qui présentent des gisements et des caractéristiques qui en font des ressources pertinentes. Cette famille de ressource regroupe une large typologie de déchets ligno-cellulosiques.

On peut distinguer les ressources à dominante « lignine », parmi lesquelles on retrouve le bois, les déchets verts et les résidus forestiers, et les ressources à dominante « cellulose », qui incluent notamment la fraction fermentescible des ordures ménagères, les biodéchets, les papiers/cartons et les résidus agricoles.

## RESSOURCES A DOMINANTE « LIGNINE »

---

**Les déchets verts** représentent le plus gros gisement actuellement collecté avec 10 millions de tonnes (Mt) collectées par an. Ils sont essentiellement issus de l'entretien des espaces verts réalisé par des particuliers, des collectivités ou des entreprises privées. Ils sont collectés en déchèterie ou en porte-à-porte pour être ensuite valorisés principalement en compostage. C'est un gisement stable qui n'a pas vocation à évoluer d'ici 2030.

La mobilisation de cette ressource nécessite la prise en compte de la hiérarchie des modes de traitement des déchets organiques qui privilégie le retour au sol par rapport à une valorisation énergétique. C'est également un déchet dont la production varie fortement en fonction de la région (importance des espaces verts), du climat (influence la production et le type de végétation) et de la saison (pointe de production au printemps et à l'automne).

Le second gisement (en volume) est **le bois de classe B** avec 5 Mt collectées en 2017. C'est une classe de bois faiblement traité qui rassemble les panneaux, les bois d'ameublement et les bois de démolition exempts de gravats. Les exutoires pour ce gisement sont la valorisation matière en panneaux de particules et la valorisation énergétique.

Ces filières sont aujourd'hui saturées et la valorisation en panneaux est complexifiée par la présence de MDF (panneaux de fibres de bois). L'enjeu majeur consiste donc à identifier de nouveaux exutoires capables d'accepter du bois contenant des contaminants (substances chimiques type colles, vernis, peintures...). Cet enjeu est d'autant plus important qu'une augmentation de ce gisement est attendue à court terme (6.5 Mt) et sur la période 2025-2030 (7.5 Mt).

**Les refus de crible de compostage** représentent les fractions grossières (> 20-40 mm) retirées du compost après la phase de maturation sur les plateformes de compostage industriel. Le gisement concerné est de moins de 100 000 tonnes. Cette fraction est aujourd'hui réintégrée dans le processus de compostage en tant que structurant ou envoyée en valorisation énergétique.

**Les résidus forestiers** sont issus de l'exploitation forestière. Le gisement hors produits connexes de scierie, emballages et autoconsommation des entreprises est de 5 Mt/an collectées (14 Mt/an avec). Son potentiel de développement est le plus important parmi l'ensemble des ressources lignocellulosiques compte-tenu de l'étendue des surfaces forestières françaises. Cependant, la valorisation de cette ressource doit se faire selon la hiérarchie des modes de traitement qui privilégie l'utilisation des résidus forestiers en tant que matériau, puis bioénergie (cf. SNMB – Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse et

Évaluation du Gisement de Déchets Bois et son Positionnement dans la Filière Bois/Bois Énergie – ADEME 2015).

## RESSOURCES A DOMINANTE « CELLULOSE »

---

**Les résidus agricoles** représentent le plus gros gisement parmi les ressources à dominante « cellulose » avec un gisement annuel de 14.4 Mt/an. Ils sont constitués des résidus de culture comme la paille de blé, les résidus de betterave...

Cette ressource est valorisée prioritairement en alimentation animale ou retour au sol. La partie mobilisable à court terme représente 2.2 Mt/an et 5.8 Mt/an à moyen terme. La disponibilité des résidus agricoles est conditionnée aux besoins du secteur de l'élevage qui peuvent varier d'une année sur l'autre et à leur utilisation en tant qu'amendement. Elle nécessite également la création d'une filière logistique très peu développée à ce jour.

**La fraction fermentescible des ordures ménagères (FFOM)** représente la part organique que l'on trouve en mélange dans les ordures ménagères résiduelles (OMR). Elle représente 30 à 40 % du tonnage des OMR. Elle peut en être extraite par un procédé appelé traitement mécano-biologique. Il consiste en la succession d'opérations mécaniques (dilacérations et tris) visant à extraire les matières recyclables (ferreux, non-ferreux, plastiques...) et d'étapes biologiques avec un objectif de production d'énergie (méthanisation) et de retour au sol (compostage) à partir de la fraction organique.

La FFOM représente aujourd'hui un gisement de 7 Mt (en mélange). L'évolution de ce gisement est difficile à évaluer. Le traitement mécano-biologique est en effet remis en cause du fait de son coût et des performances associées. De plus, la généralisation du tri à la source des biodéchets prévue pour 2025 par la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) devrait entraîner une baisse significative de la part d'organique dans les OMR.

**Les biodéchets** considérés dans le cadre de l'ECV sont à la fois les biodéchets issus des ménages mais aussi de la restauration, tels que les **résidus de boulangerie**, et de l'industrie agro-alimentaire. Ils sont composés de restes de repas, de déchets de préparation, d'inventus de supermarchés, de sous-produits ou rebus de production. Le gisement annuel aujourd'hui collecté s'approche de 4.8 Mt/an. Il est attendu une forte augmentation de ce gisement à moyen terme du fait de la généralisation du tri à la source prévue par la LTECV pour 2025 avec une prévision de 22 Mt/an. Cette augmentation sera cependant très progressive en raison des difficultés inhérentes à la collecte de ce type de déchet notamment auprès des particuliers. Les biodéchets font aujourd'hui l'objet d'une valorisation matière par compostage ou énergétique par méthanisation. Comme les déchets verts, ce type de déchet est concerné par la hiérarchie des modes de traitement et est envoyé prioritairement en valorisation matière par un retour au sol.

La ressource **papier/carton** présente un gisement annuel de plus de 7 Mt. Les deux-tiers de ce gisement sont collectés soit 4.5 Mt par an. La majeure partie de ce gisement part dans les filières de recyclage matière. Aujourd'hui, 1.4 Mt/an collectées ne sont pas recyclées (faible qualité, taux de contaminants élevé, baisse du marché aval) et ont été identifiées comme ressource potentiellement mobilisable pour la production de biocarburant.



Les **boues et digestats** forment un gisement de 1 Mt de matière sèche. Les boues sont issues des opérations de traitement des eaux et peuvent provenir des stations d'épuration urbaines ou industrielles. Les digestats sont les produits résiduels de la méthanisation et peuvent intégrer des boues qui auraient été méthanisées. L'évolution de ce gisement va dépendre principalement du développement de la méthanisation qui a été définie comme un moyen d'atteindre l'objectif de 10% du gaz d'origine renouvelable en 2030 fixé par la LTECV.

Ces deux ressources sont aujourd'hui valorisées par un retour au sol avec ou sans une étape intermédiaire de compostage.

L'intégration de ce type de ressource dans une filière de fabrication de biocarburant nécessite le séchage au préalable du fait de la forte teneur en eau des boues et digestats.

### 3) Gisements envisagés pour le développement d'une filière à long terme

Les ressources envisagées pour le long terme sont celles dont la disponibilité est amenée à évoluer dans les années à venir notamment du fait de l'émergence attendue de filières de valorisation peu développées aujourd'hui. Ce sont également des ressources pour lesquelles les technologies de production de biocarburant aérien sont peu matures ou nécessitent des étapes de préparation potentiellement coûteuses.

**Le Combustible Solide de Récupération ou CSR** est un combustible préparé à partir de déchets non dangereux qui ne peuvent être recyclés et ayant un pouvoir calorifique important. Il est utilisé en substitution d'énergies fossiles en cimenterie notamment.

Le gisement actuel de CSR produit est estimé à 1 Mt/an avec une disponibilité à court terme de 600 000 tonnes, le reste étant valorisé en cimenterie. A moyen terme, le gisement attendu est de 2.5 Mt/an. La disponibilité de cette ressource va dépendre du développement et de la pérennité de la filière qui reposent principalement sur la qualité du CSR produit et la valeur économique au niveau de la production. Le CSR pourra ainsi participer à l'objectif de réduction de 50% des quantités de déchets non dangereux non inertes admis en installation de stockage d'ici 2025 en détournant une partie des flux vers de la valorisation énergétique.

**Les plastiques non recyclables mécaniquement** sont tous les plastiques qui ne font pas actuellement l'objet d'une collecte sélective et qui ne peuvent être recyclés du fait de contraintes techniques et économiques.

Ce gisement est évalué à 2.4 Mt/an et inclut les plastiques issus des déchets d'activités économiques, les pneus, les plastiques issus des refus de tri et une partie des plastiques contenus dans les ordures ménagères. Le gisement mobilisable est de 490 000 t/an à court terme. Cette quantité mobilisable exclut les plastiques des ordures ménagères. Ceux-ci sont composés d'emballages qui seront concernés d'ici 2022 par l'extension des consignes de tri et seront donc collectés sélectivement pour être recyclés.

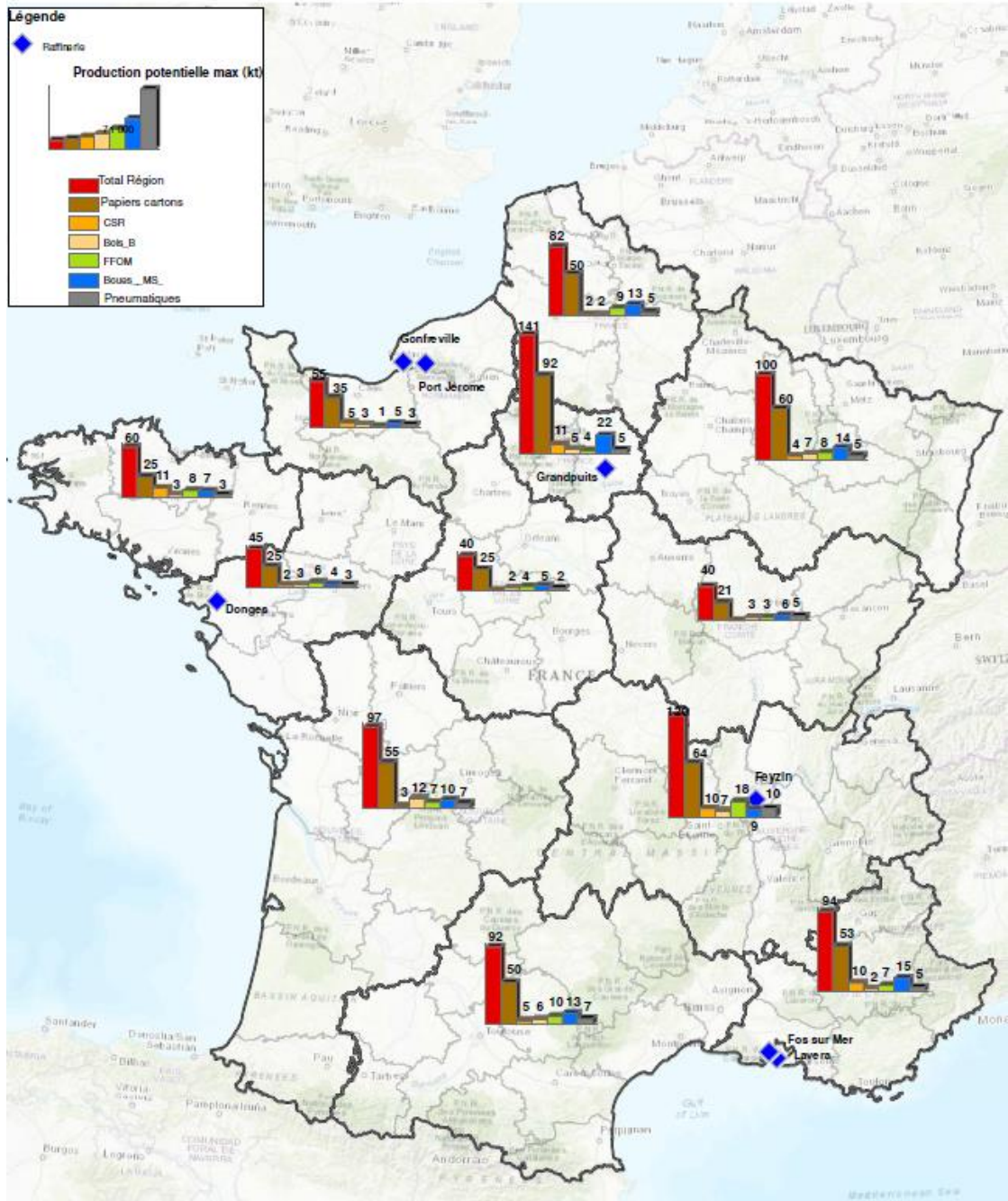
## **CARTOGRAPHIE COUPLEE DES PROCEDES DE PRODUCTION ET DES MATIERES PREMIERES DISPONIBLES :**

Afin d'établir une localisation du niveau potentiel de production de biocarburant, les membres de l'ECV, assistés de l'IFPEN, ont établi une cartographie des principaux procédés de production en lien avec les matières premières disponibles localement.

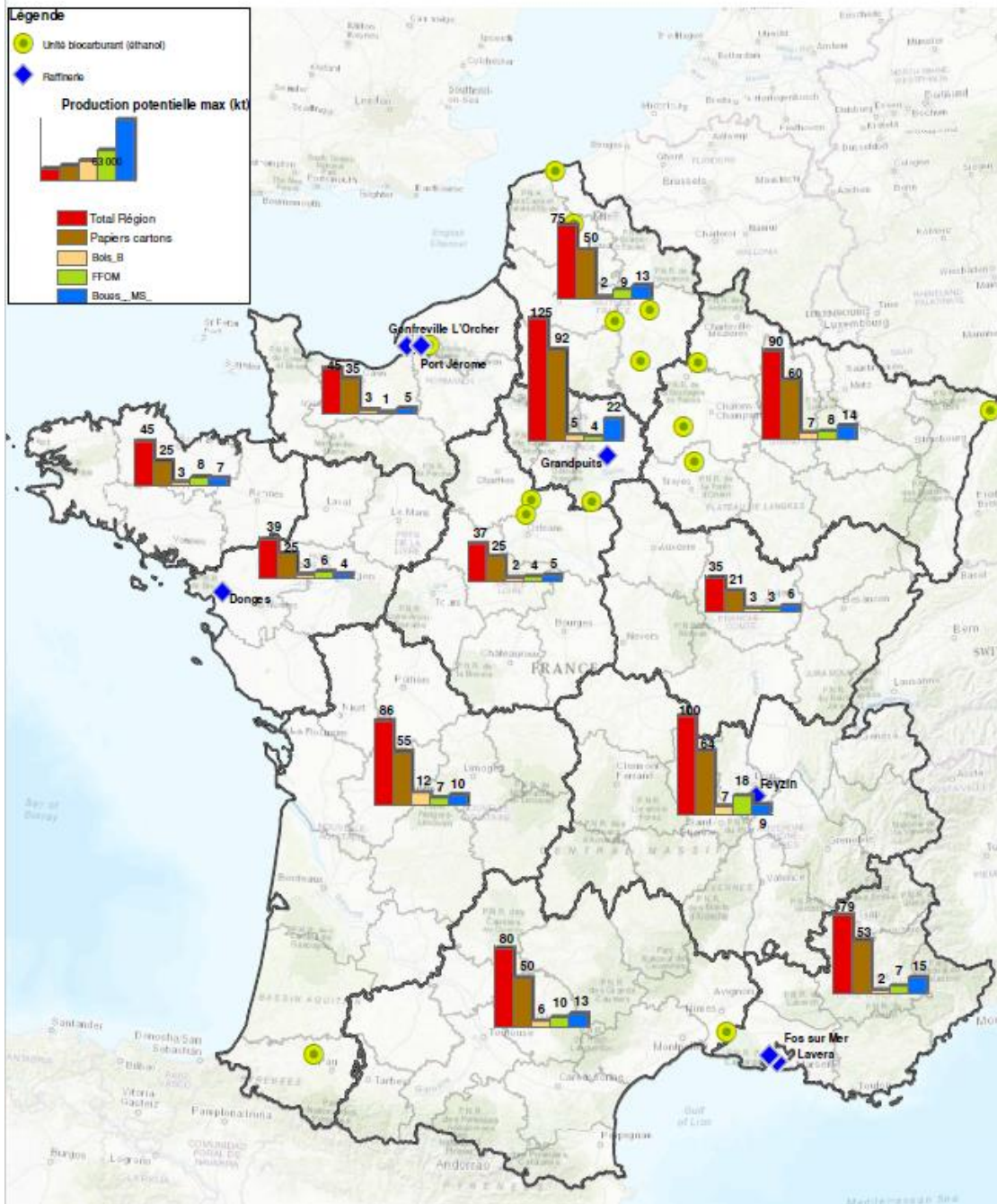
La production potentielle a été calculée sur la base des rendements maximum permis par chacun des procédés. Ces rendements ont été appliqués aux gisements régionaux des ressources jugées comme étant compatibles avec le procédé (voir tableau partie III). Les procédés présentant des rendements identiques ont été regroupés sur une même carte :

- La carte « voies thermiques » regroupe les procédés FT-SPK et ATJ SPK (voie gazéification).
- La carte « voies fermentaires » regroupe les procédés ATJ-SPK (voie fermentaire) et isobutène.
- Le procédé SIP est présenté à part car diffère des autres procédés fermentaires au niveau de son rendement.
- La dernière carte permet de comparer la production de biocarburant aéronautique selon le procédé utilisé.

**Carte de la production potentielle max par voies thermiques (en kt)**

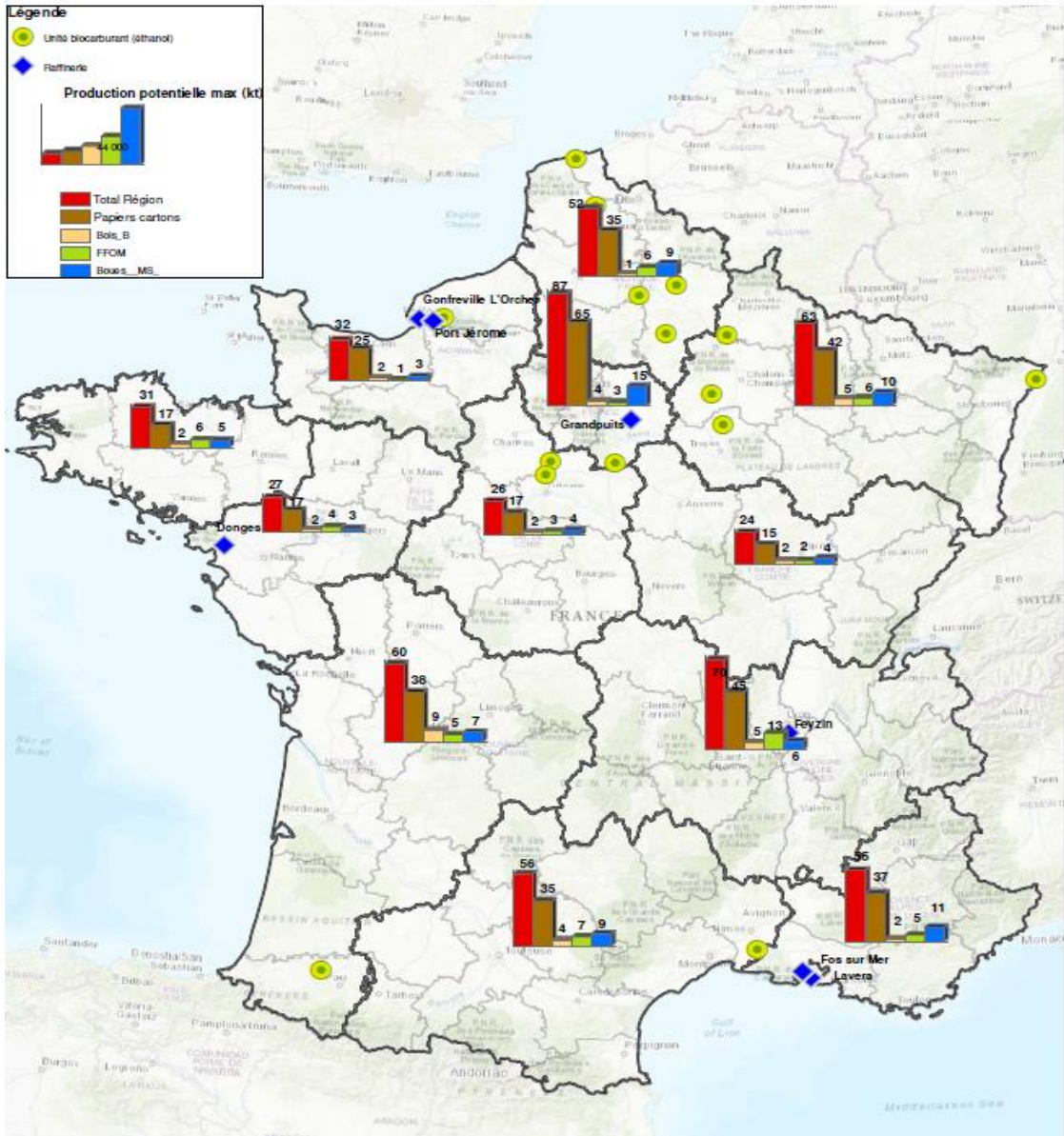


**Carte de la production potentielle max par voies fermentaires (en kt)**

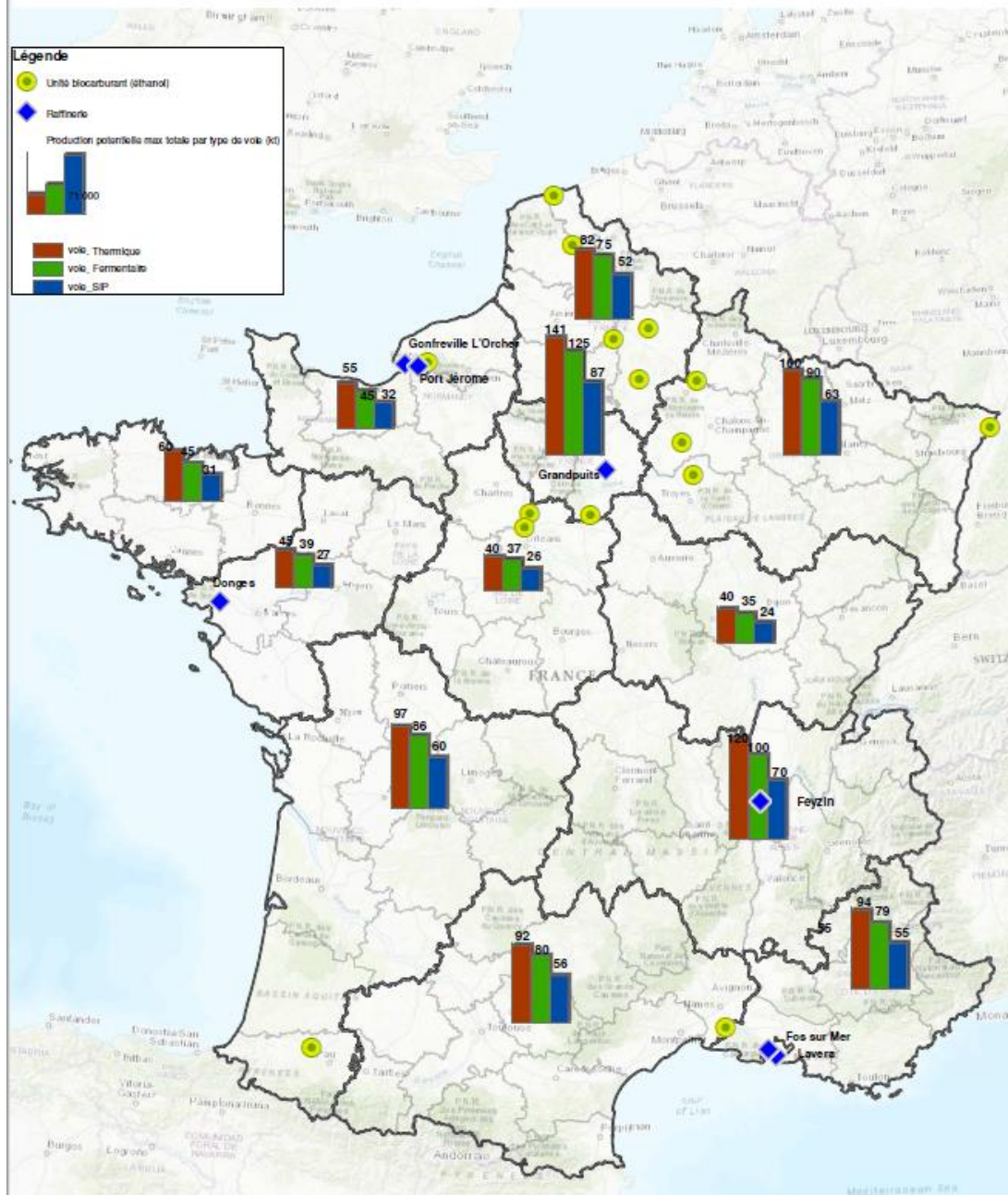




**Carte de la production potentielle max par voie SIP (en kt)**



**Carte de la production potentielle max totale par type de voie (en kt)**



# PARTIE 4 : QUELS CIRCUITS DE DISTRIBUTION POUR LES BIOCARBURANTS AERONAUTIQUES ?



---

## MESSAGES CLES

---

### QUELS CIRCUITS DE DISTRIBUTION POUR LES BIOCARBURANTS AERONAUTIQUES ?

#### Contexte :

- Paris – Charles de Gaulle, en sa qualité de hub français et européen, est un lieu de demande importante en carburants d'aviation sur le territoire national et donc potentiellement en biocarburants ;
- Toulouse-Blagnac est une plateforme aéroportuaire régionale en forte croissance, permettant de mettre en avant les synergies possibles à l'échelle d'une région.

#### Prérequis :

- Le caractère fongible des biocarburants permet leur distribution en utilisant les chaînes logistiques existantes.

#### Recommandations :

- Distribuer du biocarburant sur l'aéroport de Paris – Charles de Gaulle : une chaîne logistique indifférenciée, avec incorporation des biocarburants en amont de l'aéroport dans les circuits de distribution classiques doit être envisagée. Elle présente plusieurs avantages dont :
  - L'utilisation de la logistique existante, adaptée aux volumes importants ;
  - Aucun impact sur les opérations aériennes ;
  - La distribution de biocarburant sur la principale porte d'entrée sur le territoire français ;
  - La limitation des coûts et de l'empreinte carbone liée à la distribution (l'incorporation de biocarburant aéronautique pourrait par exemple avoir lieu au Havre).
- Distribuer du biocarburant sur Toulouse - Blagnac : l'approvisionnement de la plateforme toulousaine en biocarburants aéronautiques peut s'inscrire rapidement dans le cadre de la chaîne logistique déjà en place pour le carburant conventionnel et décrite ci-dessus en totale transparence et sans surcoûts de logistique identifiés aujourd'hui.



## A. Description des plateformes aéroportuaires prises en compte dans le cadre de l'ECV

En raison de la variété des plateformes aéroportuaires en France, deux d'entre elles ont été retenues dans le cadre de ce projet : Paris – Charles de Gaulle et Toulouse – Blagnac<sup>5</sup>. Elles correspondent à des réalités différentes en matière d'opérations aéroportuaires.

### I. Description de la plateforme de Paris – Charles de Gaulle

- **Caractéristiques de la plateforme** : Selon le bulletin statistique annuel du trafic aérien commercial publié par la DGAC, Charles de Gaulle a accueilli environ 72 millions de passagers en 2018, ce qui représente une hausse d'environ 3,85% par rapport à 2017. Par ailleurs, le nombre de mouvements commerciaux sur la plateforme en 2018 était d'environ 481 000, ce qui en fait l'un des plus grands aéroports européens. Enfin, 164 compagnies aériennes sont présentes sur Roissy CDG.
- **Consommation de carburant sur la plateforme** : En matière de consommation de carburants, la plateforme de Roissy consomme un volume total de 5,8 millions de m<sup>3</sup> de carburant chaque année (dont plus de 3 millions de m<sup>3</sup> uniquement pour la compagnie Air France). Cela représente 15 500 m<sup>3</sup> chaque jour (soit 65% de la consommation sur les aéroports français).
- **Influence sur le trafic aérien national, européen (de correspondance) et mondial** : Roissy Charles de Gaulle concentre la majorité des vols opérés depuis la France ce qui en fait le 1<sup>er</sup> hub français. Il possède un positionnement géographique lui permettant d'attirer le trafic de correspondances (taux de correspondances sur la plateforme de 28,6 % en 2018) faisant de lui le 1<sup>er</sup> hub européen en opportunités de correspondances avec près de 24 000 opportunités de correspondances hebdomadaires en moins de 2 heures. L'aéroport fait partie des grands hubs mondiaux.
- **Éléments de contexte complémentaires** :
  - La plateforme sera la porte d'entrée principale en France pour les Jeux Olympiques de 2024. L'objectif environnemental de ce projet est ambitieux : réduire de 55 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport aux JO de Londres en 2012. Dans ce cadre, et à la demande du comité d'organisation des jeux Olympiques, la compagnie Air France s'est engagée, si les conditions de viabilité économique le permettent, à transporter *via* cette plateforme les athlètes sur des vols alimentés en biocarburant.
  - La localisation centrale de l'aéroport Roissy Charles de Gaulle lui assure une place stratégique au cœur du réseau routier et ferroviaire Français et Européen. Il offre une possibilité de connexion fluide, avec d'autres modes de transports (Gare SNCF, Thalys au sein de l'aéroport), permettant ainsi le développement

---

<sup>5</sup> Ces plateformes correspondent également à des aéroports sur lesquels sont engagés certains partenaires industriels de l'ECV.

d'un transport multimodal « porte-à-porte ». De plus, la construction du CDG express prévu pour 2023 devrait connecter l'aéroport à la capitale en 20 minutes.

- Enfin, l'impact de l'utilisation de biocarburants durable pourrait, à terme, agir sur la qualité de l'air en proximité de la plateforme aéroportuaire, maximisant ainsi l'impact environnemental de la région la plus peuplée de France.
- Développement des territoires : En dehors de la compagnie aérienne, la présence sur la plateforme du groupe Aéroport De Paris (ADP) se trouve être un atout fort pour le choix de la plateforme. Aéroport De Paris, met en œuvre, depuis plus de vingt ans, une politique environnementale et énergétique volontariste, notamment en matière de lutte contre les dérèglements climatiques et d'amélioration de la qualité de l'air. Dans son rapport RSE 2017, le groupe ADP réaffirme son engagement d'améliorer son efficacité énergétique de 1,5 % par an sur la période 2016-2020 (7,5 % sur cinq ans), d'établir une part d'énergies renouvelables dans sa consommation finale à 15 % en 2020 ainsi que de diminuer les émissions de CO2 par passager de 65 % entre 2009 et 2020. Ainsi, la distribution de biocarburant sur la plateforme cible de Roissy-Charles de Gaulle permettrait d'améliorer la compétitivité et l'attrait du territoire. L'aéroport Roissy-Charles de Gaulle représente un formidable outil d'aménagement pour l'espace régional, et est un atout économique majeur pour l'Île-de-France (902 € de retombées économiques par habitant et par an en Île-de-France).
- Le développement de la plateforme avec notamment le projet actuellement en consultation d'un terminal 4 va influencer positivement sur la demande en carburant, l'approvisionnement en biocarburant pourra être une partie de la réponse.

## II. Description de la plateforme de Toulouse – Blagnac

---

- **Caractéristiques de la plateforme** : Selon le bulletin statistique annuel du trafic aérien commercial publié par la DGAC, Toulouse – Blagnac a accueilli environ 9 millions de passagers en 2017, ce qui représente une hausse de 15% par rapport à 2016. Le nombre de mouvements commerciaux sur la plateforme en 2017 était d'environ 100 000. Ces chiffres font de la plateforme la 5e française en taille mais celle avec la plus forte croissance aux cotés de la plateforme de Nantes – Atlantique.
- **Consommation de carburant sur la plateforme** : En matière de consommation de carburants, la plateforme de Toulouse-Blagnac consomme environ 180 000 m<sup>3</sup> par an, répartis à 55% entre les activités d'Airbus et 65% pour les activités propres à l'aéroport.
- **Éléments de contexte complémentaires** :
  - La plateforme est la base d'un des sites industriels les plus importants en France avec l'implantation d'Airbus. Au niveau local, le secteur aéronautique et spatial couvre environ 98 000 emplois.
  - Développement des territoires : Au travers de projets et de partenariats avec un grand nombre d'acteurs locaux (au sein du Plan Climat Air Energie Territorial

ou au sein du pacte Airbus), Airbus contribue à inscrire l'aéroport de Toulouse dans le développement durable du territoire.

## **B. Vision générale de la logistique primaire du carburant d'aviation**

La logistique primaire se définit comme étant le transport massif de carburant d'aviation depuis son point de fabrication ou d'import. En France, les principaux sites de production et d'import sont les suivants :

- Il existe 3 raffineries en Basse-Seine dont la production est estimée à (source CPDP) :
  - Gonfreville (Total) : ~ 2 Mm<sup>3</sup>/an ;
  - Gargenvile (Total) : ~ 0,7 Mm<sup>3</sup>/an ;
  - Port Jérôme (Exxon) : ~ 1,2 Mm<sup>3</sup>/an.
- Il existe 2 raffineries produisant du carburant d'aviation dans le sud de la France dont la production est estimée à (source CPDP)<sup>6</sup> :
  - Lavera (Inéos) : ~ 1 Mm<sup>3</sup>/an ;
  - Feyzin (Total) : ~ 0.4 Mm<sup>3</sup>/an.
- Par ailleurs, les imports des carburants sont principalement localisés :
  - En Basse-Seine dans les installations de la CIM : ~3 à 4 Mt/an ;
  - En zone méditerranéenne dans les complexes pétroliers de la zone de Fos-sur-Mer.

A partir de ces sites de production ou d'import, le carburant d'aviation est transporté soit à travers le réseau de pipe, soit par fer, camions ou barges en fonction de la localisation du point de livraison.

---

<sup>6</sup> Il convient de noter que la raffinerie Exxon de Fos-sur-Mer ne produit pas à ce jour de carburant aéronautique.

## Carte logistique Jet France

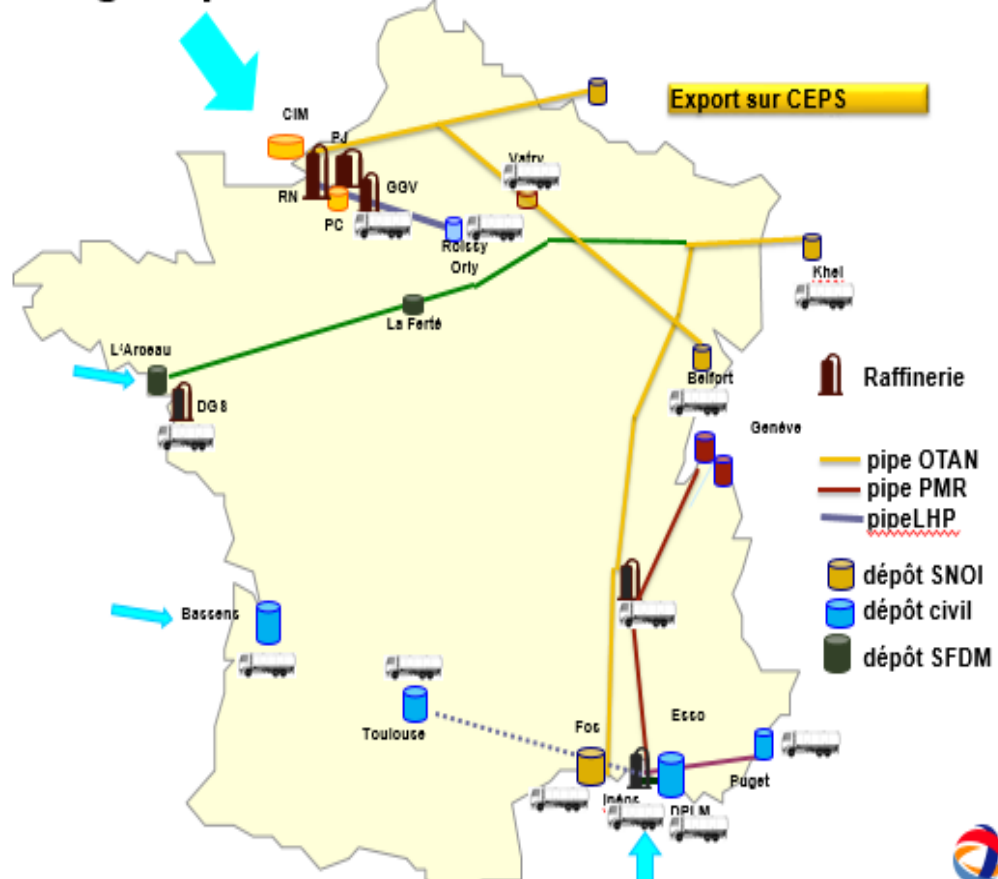


Figure : Les principaux circuits logistiques d'approvisionnement en carburants aéronautiques en France.

### C. Les flux logistiques sur les plateformes étudiées

#### I. L'approvisionnement de la plateforme de Paris - Charles de Gaulle en carburant

L'aéroport de Paris – Charles de Gaulle est principalement alimenté par les flux en provenance des raffineries normandes et le dépôt d'importation de la CIM (situé au Havre).

## Mise en place d'une filière de biocarburants aéronautiques durables en France

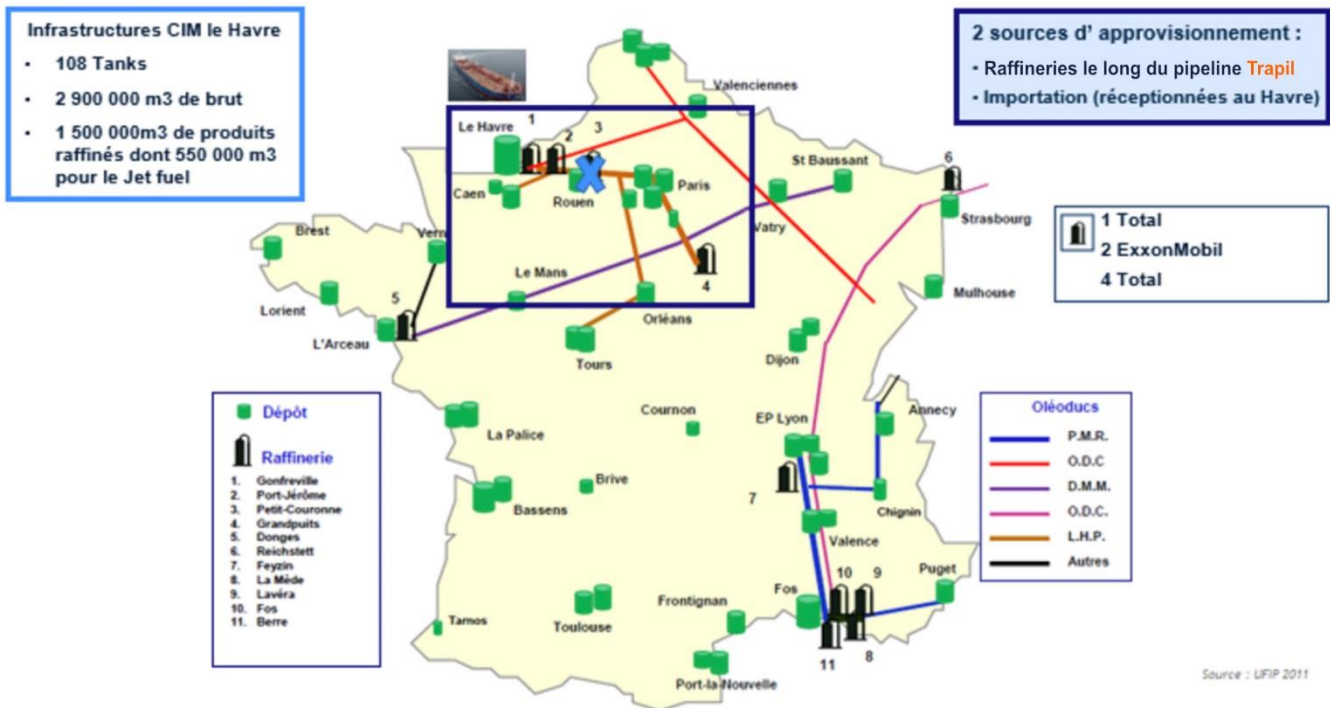


Figure : Schéma général de l'approvisionnement de Paris – Charles de Gaulle

Ces flux sont produits par les raffineries ou réceptionnés dans le dépôt CIM Le Havre. Ils sont ensuite injectés dans le réseau d'oléoducs LHP (Le Havre – Paris), appartenant à la société TRAPIL, qui dispose d'une connexion avec l'aéroport Roissy – Charles de Gaulle. Ce réseau approvisionne les dépôts pétroliers de la région Ile-de-France, fonctionne en continu, contient différents produits et possède 3 principaux points d'introduction des produits :

- au Havre dans les installations de la CIM ;
- au niveau de la raffinerie de Gonfreville ;
- au niveau de la raffinerie de Port-Jérôme.

Le temps de trajet du produit entre Le Havre et la plateforme de Roissy – Charles de Gaulle est estimé à environ 30 heures. Par ailleurs, entre le moment de la fabrication du produit et celui de sa consommation s'écoulent en moyenne 10 jours ce qui est relativement court.

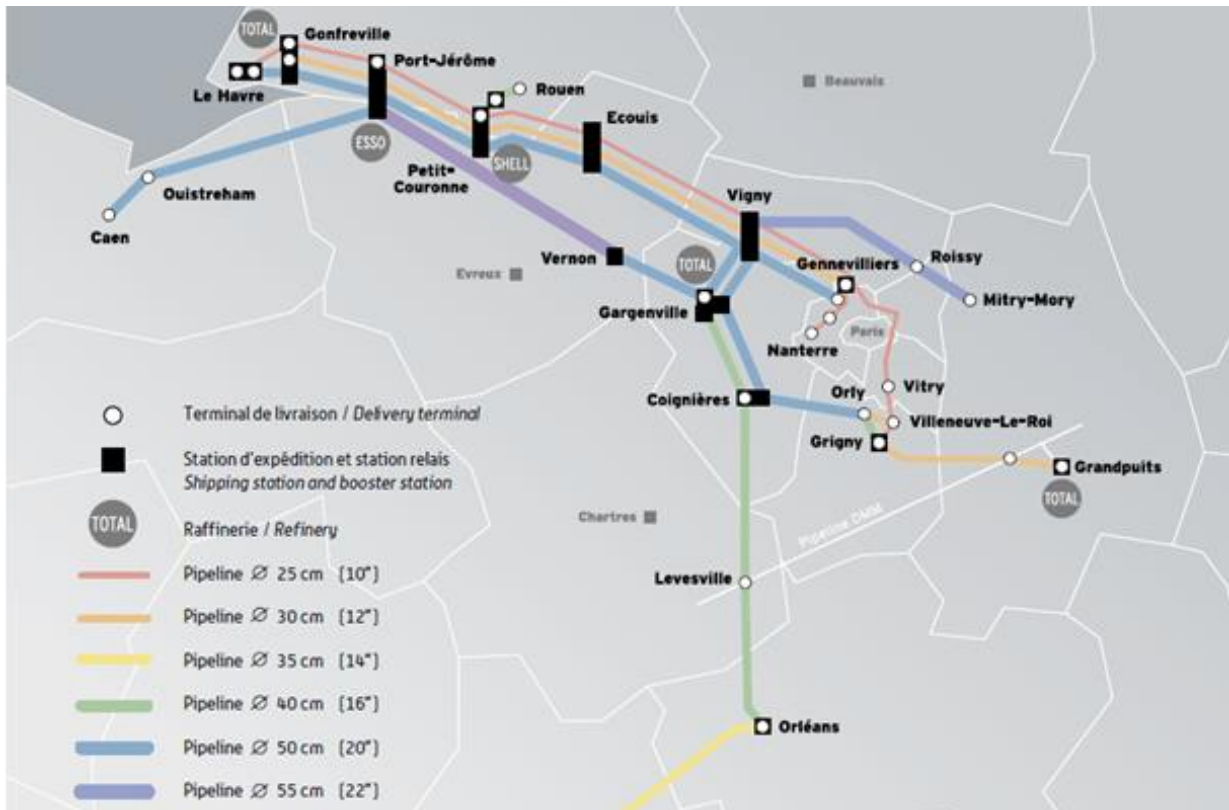


Figure : Le réseau souterrain exploité par TRAPIL et permettant l'approvisionnement de Paris – Charles de Gaulle.

A l'approche de l'aéroport, les sociétés GEDRC (Groupement Economique du Dépôt de Réception de Chennevières) et SMCA (Société de Manutention de Carburant Aviation) réceptionnent le carburant transporté par l'oléoduc et en assurent le stockage avant de le réinjecter par le réseau *hydrants* de distribution desservant la plateforme.

Le GEDRC possède 5 bacs de réception (d'une capacité totale de 120 000 m<sup>3</sup>). Le contenu de ces bacs est analysé puis certifié par la SMCA et ensuite transféré vers les deux bacs de distribution (d'une capacité de 40 000 m<sup>3</sup> chacun) et les hydrants. L'avitaillement des avions est ensuite assuré par des Groupements d'Intérêt Economique rassemblant un ou plusieurs pétroliers et disposant d'un agrément d'assistance en escale et responsable de la mise à bord.



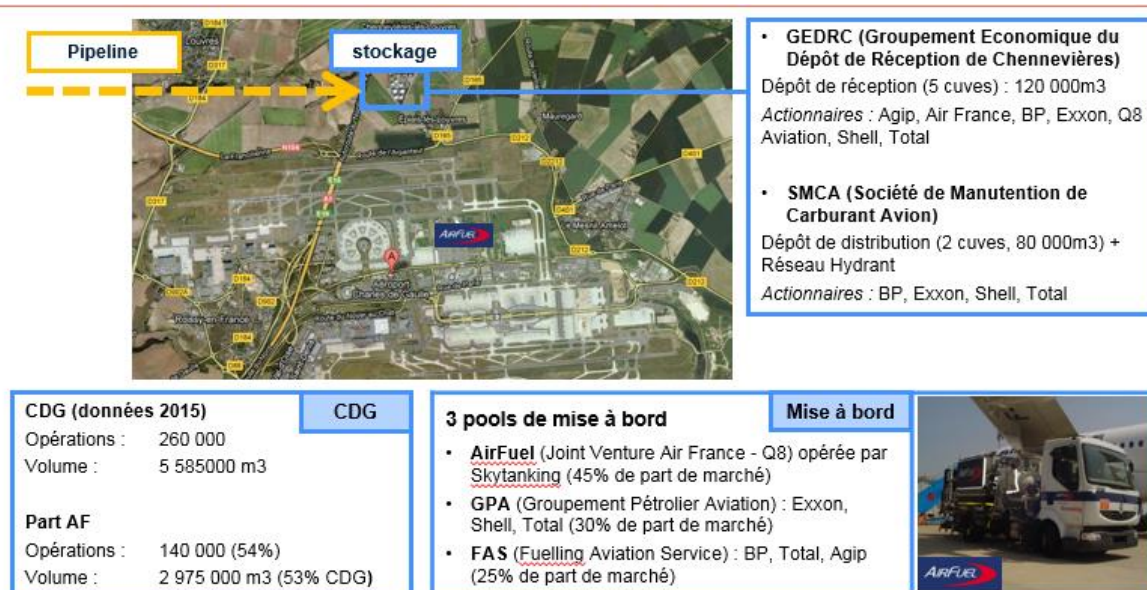


Figure : L'approvisionnement sur la plateforme.

Cette chaîne logistique présente les avantages suivants :

- Une grande simplicité opérationnelle ;
- Une empreinte carbone considérablement réduite grâce à un transport par pipeline bien moins émetteur de CO2. Le transport par pipeline consomme sept fois moins d'énergie que le transport par camion.

## II. L'approvisionnement de la plateforme de Toulouse – Blagnac en carburant

L'aéroport de Toulouse et l'ensemble des activités d'Airbus sur la plateforme Toulousaine sont principalement approvisionnés à partir des dépôts et des raffineries du Sud de la France (localisés à Bordeaux et à Fos-sur-Mer) par train avec un stockage dans le dépôt pétrolier de Lespinasse puis par camions jusqu'à la plateforme. L'acheminement du carburant d'aviation depuis la raffinerie de La Mède repose sur un partenariat entre Total et Airbus.

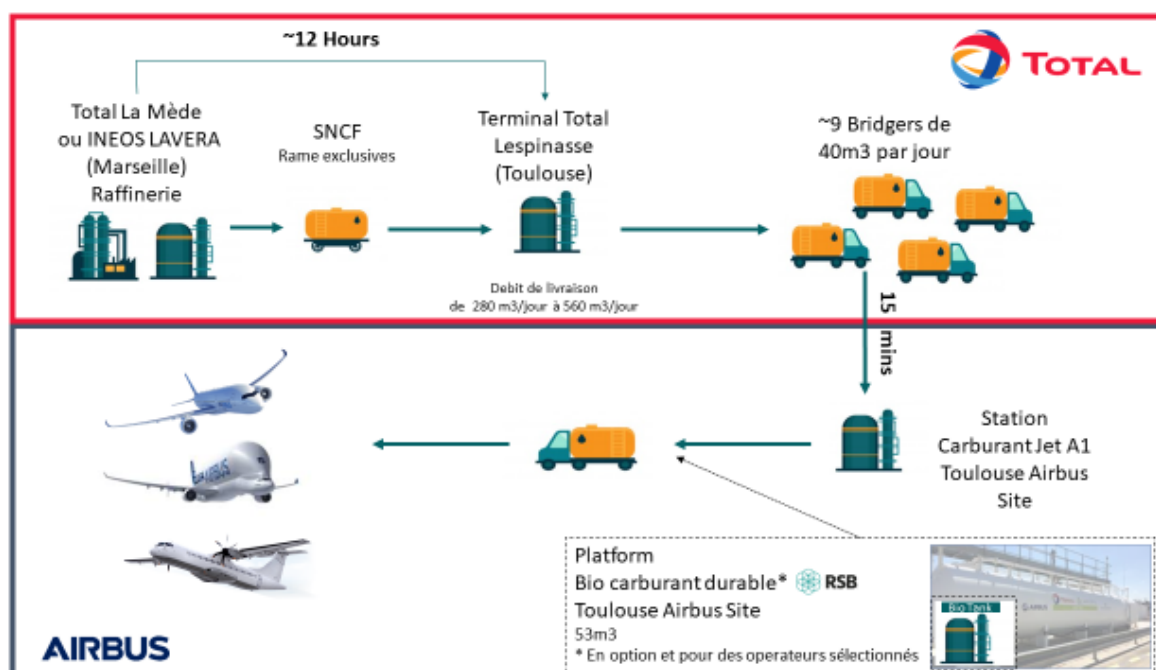


Figure : La chaîne logistique d'approvisionnement de la plateforme de Toulouse-Blagnac

Aujourd'hui, la plateforme aéroportuaire toulousaine compte deux fournisseurs qui approvisionnent les opérations d'Airbus et les compagnies aériennes : Total et Air BP.

Pour la fourniture de carburant à l'aéroport les deux pétroliers sont supportés par la société SASCA (Société d'Avitaillement et de Stockage de Carburant Aviation) en charge :

- du stockage du carburant, livré par camions citernes, dans des bacs aériens soumis à la réglementation ICPE et d'une capacité totale d'environ 2 700 m<sup>3</sup> ;
- et de l'avitaillement des avions sur l'aéroport.

Pour Airbus, Total est l'unique fournisseur depuis la Mède. Cette chaîne logistique présente les avantages suivants :

- La simplicité : des convois ferroviaires périodiques dédiés au carburant d'aviation directement de la raffinerie jusqu'à Toulouse ;
- Une empreinte carbone réduite grâce au transport par voie ferrée à partir de La Mède ;
- Une distance relativement courte entre la raffinerie et le point de dépôt (de La Mède à Lespinasse environ 500 km) et du point de dépôt jusqu'à la plateforme (environ 30 km).

### III. Recommandations pour la distribution de biocarburants aéronautiques

Le caractère parfaitement fongible des biocarburants aéronautiques certifiés par l'organisme ASTM International permet une incorporation directe au kérosène conventionnel et une non-différenciation du produit par la suite.



Au même titre que la plateforme de Los Angeles, il est donc possible et recommandé d'alimenter les plateformes aéroportuaires grâce à des circuits logistiques permettant une distribution et un avitaillement indifférenciés du produit. Cela permet un gain environnemental du produit lié au transport.

# PARTIE 5 : POLITIQUES PUBLIQUES ET VIABILITE ECONOMIQUE



## MESSAGES CLES

### POLITIQUES PUBLIQUES ET VIABILITE ECONOMIQUE

#### Contexte :

- Les conditions ne sont aujourd'hui pas réunies pour qu'une filière de biocarburants aéronautiques émerge en comptant uniquement sur les mécanismes de marché. Un encadrement est nécessaire pour qu'elle se développe de manière robuste et pérenne à long terme, en répondant aux défis environnementaux, sociaux et économiques existants.
- La viabilité économique de l'utilisation des biocarburants aéronautiques durables reste actuellement le verrou majeur à leur utilisation en France. L'économie des compagnies aériennes françaises, qui exploitent plus de vols en France, ne leur permet pas d'absorber un surcoût des biocarburants significatif sur les aéroports français, dans un environnement international ultra-compétitif.

#### Prérequis :

- S'assurer que l'émergence de la filière française s'inscrive dans le respect de standards de durabilité alignés sur le cadre de référence européen (notamment explicité dans la directive dite « REDII »).
- S'assurer de la transparence des mécanismes de soutien envisagés. Un équilibre des aides entre les différents acteurs de la filière doit être recherché.
- S'assurer que le déploiement de la filière de biocarburants aéronautiques durables soit conditionné à l'utilisation de mécanismes incitatifs pour l'ensemble des acteurs.

#### Recommandations :

- S'assurer que les dispositions soutenant le déploiement de ces produits soient innovantes et variées, et qu'elles intègrent les problématiques liées aux différentes branches de la filière : collecte et massification et transformation de matières premières durables et éligibles (i.e. déchets, résidus, etc.), développement de nouvelles unités de production, distribution massifiée et banalisée, utilisation généralisée. Ces multiples dispositions devront être cohérentes et articulées pour permettre de faire émerger des synergies entre les différents acteurs et un marché pérenne.
- Soutenir un mécanisme incitatif qui permette de maintenir la compétitivité du transport aérien sans impact notable sur la compétition dans un environnement international.
- Soutenir un mécanisme d'appel à projet, pouvant être basé sur des critères environnementaux et sociaux, permettant l'émergence d'une capacité de production de biocarburants aéronautiques avancés ou issus de l'économie circulaire (matières sans concurrence alimentaire) sur le territoire national.
- Dynamiser et donner de la visibilité sur la demande en biocarburants aéronautiques apparaît également un axe de travail indispensable.

## A. Les défis de l'émergence d'une filière de biocarburants aéronautiques durables en France

Actuellement, les coûts de production de ces produits sont élevés, rendant dès lors leur prix de vente trop élevé pour les utilisateurs finaux. Les défis économiques associés à l'émergence d'une filière pérenne de biocarburants aéronautiques avancés en France sont donc de différents ordres selon les acteurs concernés :

- Révéler de nouveaux gisements de matières premières satisfaisant les critères de durabilité et réunir les conditions nécessaires à leur exploitation, en termes de collecte et de massification : permettre la mise en place de nouvelles filières innovantes de traitement des déchets et des résidus ;

### **Le point de vue de SUEZ, gestionnaire de déchets, potentiel producteur de matière première à destination des biocarburants aéronautiques durable :**

« Le principal défi associé à l'émergence d'une filière de biocarburant aéronautique durable pour un acteur de la gestion des ressources est la capacité de projection quant à l'intégration de cette future filière dans les schémas de valorisation de la biomasse issue de déchets. En effet, les réglementations françaises et européennes poussent nettement l'ensemble des économies à s'engager dans des modèles d'économie circulaire. Ainsi, des flux significatifs de biomasse déchets devraient basculer vers de nouveaux exutoires à moyen ou long terme, y compris ceux allant actuellement en stockage de déchets du fait des réglementations œuvrant en faveur d'une diminution progressive des tonnes stockées. Outre les enjeux technologiques associés à ces nouveaux modèles de la bio-économie, le choix d'orienter les flux de biomasse déchets vers tel ou tel débouché va essentiellement reposer sur les équations économiques. Le défi de la filière des biocarburants aéronautiques est de poser à court terme les bases de l'attractivité économique afin de rassurer les acteurs de la gestion des ressources vis à vis de leur intérêt à investir dans cette filière plutôt qu'une autre eu égard à l'étendu des possibles. »

- Réunir les conditions nécessaires à l'émergence d'une capacité globale de production sur le territoire national permettant de voir la part de ces produits utilisés augmenter dans les années à venir : permettre l'investissement dans des conditions satisfaisantes ;

### **Le point de vue de TOTAL, producteur potentiel de biocarburants aéronautiques durables :**

« La baisse des émissions de CO<sub>2</sub> du transport aérien nécessite de faire des efforts dans tous les domaines (avion, carburant, optimisation des vols). L'utilisation de biocarburants aéronautiques durables à grande échelle semble, à terme, incontournable pour contenir les émissions de gaz à effets de serres d'une filière en forte croissance. La molécule de biocarburant, quel que soit son mode de fabrication, présente aujourd'hui un surcoût significatif et structurel par rapport au fossile. Compte-tenu de la variabilité du cours des matières premières et des exigences particulières de durabilité, le biocarburant aéronautique devrait ainsi être vendu plus cher que du kérosène d'origine fossile pour qu'il représente une alternative économiquement viable. Présent dans toutes les filières

certifiées ASTM, nous reconnaissons que les voies lipidiques (agricoles et déchets), actuellement plus matures et à moindre surcoût par rapport aux autres technologies, tiendront une part essentielle dans le démarrage de la filière. Quoi qu'il arrive, en l'absence de mécanismes incitatifs, les fournisseurs de carburants d'aviation auront du mal à se positionner sur le marché des biocarburants aéronautiques. C'est pourquoi nous sommes favorables à la mise en place d'incitations pour favoriser le développement de ces produits et de partenariats avec des acteurs de l'ensemble de la chaîne de valeur du transport aérien. »

- Réunir les conditions nécessaires à une hausse de l'utilisation de ces produits par les opérateurs du transport aérien : permettre l'achat de ces produits à un prix compétitif, rendant leur utilisation viable pour les utilisateurs finaux.

**Le point de vue d'AIR FRANCE, compagnie aérienne utilisatrice de biocarburant aéronautique durable :**

« La transition énergétique du transport aérien représente un défi majeur sur les prochaines années, qui engage l'ensemble des acteurs du transport aérien. Dans ce cadre, les carburants alternatifs durables ont été identifiés comme un levier à encourager pour atteindre les objectifs du secteur en matière de développement durable. Pour les compagnies aériennes, si les biocarburants sont une piste prometteuse qu'elles soutiennent, deux défis majeurs restent à lever : l'accessibilité de volume dans le respect d'une durabilité exigeante et la viabilité économique. En effet, on attend aujourd'hui du transport aérien une exemplarité sur les critères de durabilité, lesquels sont encore aujourd'hui en discussion dans les instances internationales. Par ailleurs, le carburant représentant plus de 30% de nos coûts, il convient de trouver un modèle de développement, en France, qui permette de maintenir la compétitivité sans créer de situation de distorsion de concurrence en défaveur du pavillon français. Afin de permettre à la France et à ses acteurs de prendre un leadership dont elle a tous les atouts, les compagnies aériennes soulignent la nécessité d'un accompagnement des pouvoirs publics pour créer les conditions économiques incitatives suffisantes à leur égard, afin de créer la compétitivité, la visibilité et la stabilité nécessaires à l'engagement de volumes d'achat. »

Par ailleurs, sur le plan des biocarburants, le secteur du transport aérien souffre de la compétition avec un marché déjà bien établi en France et en Europe, celui des biocarburants routiers. Les dispositions qui seront mises en place devront donc non seulement intégrer les contraintes propres à la filière, mais également ces potentiels conflits d'usage avec un marché existant très encadré réglementairement.

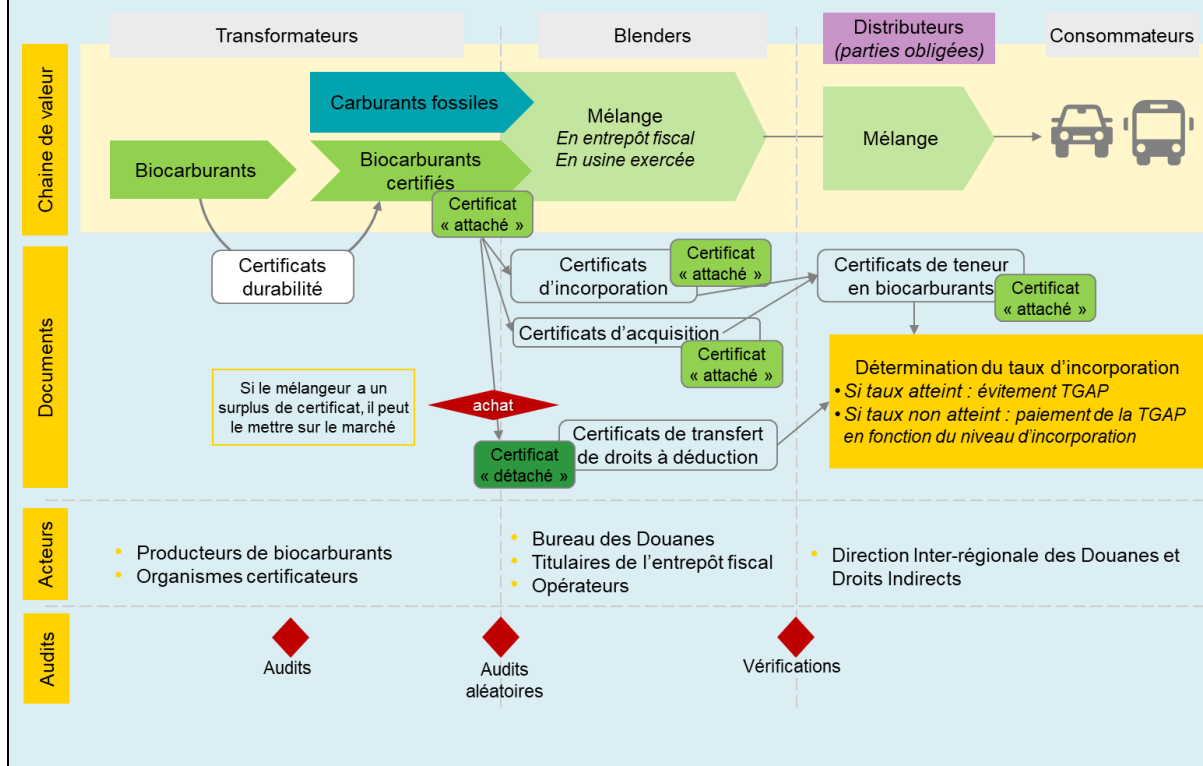
## ELEMENTS DE SYNTHÈSE : LE CADRE RÉGLEMENTAIRE NATIONAL POUR LES BIOCARBURANTS DESTINÉS AU TRANSPORT ROUTIER

Ce travail a été réalisé, dans le cadre de l'ECV, par une équipe de consultants du groupe EY dans le cadre d'un marché public passé avec la DGAC. Une synthèse non exhaustive de différentes parties du rapport est présentée ici.

Un dispositif (représenté sur le schéma explicatif ci-dessous) existe depuis plusieurs années pour favoriser le développement des biocarburants à destination du secteur routier. Il a été composé de plusieurs mécanismes différents au cours du temps et s'articule depuis 2005 autour de la taxe d'incitation à l'incorporation de biocarburants (anciennement taxe générale sur les activités polluantes – biocarburants). Le principe est le suivant : les metteurs à la consommation de carburants routiers, parties obligées du dispositif, doivent atteindre des objectifs d'incorporation annuelle de biocarburants sous peine de payer une taxe. L'incitation financière pour les parties obligées réside donc dans l'évitement de la taxation.

Il est intéressant de noter que l'évolution des mécanismes de soutien au cours du temps a permis de répondre à différentes problématiques correspondant à diverses phases lors de mise en place de la filière. Ainsi les premiers mécanismes de soutien ont permis l'émergence d'une offre réelle de biocarburants et la structuration d'une filière de production française. Le mécanisme mis en place dans le routier au travers de la TGAP par exemple a été efficace dans le cadre d'une filière de production déjà mature. Les mécanismes suivants ont pour leur part permis d'assurer l'écoulement de cette production.

Figure : Schéma représentant le fonctionnement actuel du mécanisme de taxe d'incitation à l'incorporation de biocarburants routiers (source : rapport EY, 2019).



Au-delà des défis qui existent pour les acteurs en France, le caractère international du transport aérien, impose une réflexion globale. Ainsi, les acteurs de l'ECV sont particulièrement

sensibles à la mise en place de règles multilatérales, à même d'assurer un niveau de concurrence équitable.

**Le point de vue d'AIRBUS, constructeur d'aéronefs :**

« L'émergence d'une filière française dans le secteur des carburants d'aviation de nouvelle génération représente bien évidemment un challenge national important pour tous les acteurs de cette filière. Il ne faut cependant pas oublier que ces défis s'inscrivent également dans une dimension plus large. En effet, au niveau international, l'industrie aéronautique dans son ensemble s'est engagée sur des objectifs précis portant tant sur les niveaux de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> que sur un calendrier dont les échéances se rapprochent à grands pas. La déclinaison de ces objectifs au niveau européen puis par le régulateur national participe donc aux objectifs de l'aviation internationale auquel les acteurs français ne peuvent se soustraire. Il s'agit donc bien ici d'inscrire la filière aéronautique française de biocarburants dans un objectif global de pérennité du transport aérien qui, au vu d'un contexte d'acceptation sociétale mouvant est clairement au centre de beaucoup d'attention. Au-delà des défis économiques et techniques liés à la mise en place d'une filière française, ce dernier point n'est pas à négliger et il impliquera la prise en compte de critères de durabilité affichables et vérifiables qui seront les conditions d'une démarche ambitieuse et volontariste pour la décarbonation du secteur aérien. »

**Le point de vue de SAFRAN, équipementier aéronautique :**

« L'industrie aéronautique s'est engagée à réduire de façon drastique ses émissions de gaz à effet de serre afin de répondre aux enjeux climatiques, et ce en tenant compte de la croissance constante du trafic aérien prévue pour les années à venir. Les industriels, dont Safran, jouent un rôle majeur dans l'atteinte de ces objectifs en développant des technologies de plus en plus efficace et respectueuses de l'environnement. Les carburants alternatifs durables, en complément de tous ces développements technologiques, semblent cependant indispensables pour atteindre les objectifs. De tels carburants pourraient de plus, par leur composition chimique et leurs propriétés, avoir un effet positif sur les émissions polluantes des aéronefs et donc la qualité de l'air en particulier au niveau des plateformes aéroportuaires. Ce développement doit cependant se faire dans un cadre législatif et environnemental strict : vision harmonisée au niveau mondial de la durabilité de ces carburants, mais aussi processus de certification technique fiable et efficace afin d'assurer que le déploiement de ces filières se fasse sans impact sur le niveau de sécurité optimal des vols. Les travaux menés par Safran visent donc principalement à valider les nouveaux carburants alternatifs durables dans le cadre de leur processus de qualification. En effet, il est important que ces nouveaux carburants répondent aux critères très exigeants liés à la sécurité des vols (pouvoir calorifique, tenue et stabilité en température, viscosité, capacité de ré allumage, etc.), soient adaptés au circuit carburant, conservent des capacités de lubrification pour certains équipements, et soient compatibles avec les matériaux en contact. »

De manière synthétique, le défi du déploiement massif des biocarburants aéronautiques durables réside dans la capacité à trouver les dispositions permettant d'assurer la viabilité économique de l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur, en cohérence avec les évolutions au niveau européen et international.

## B. Description de la filière des biocarburants aéronautiques

Il n'existe pas à ce jour de filière structurée de production et d'utilisation de biocarburants en France. Néanmoins, afin de permettre le développement d'une réflexion sur une base partagée, une description théorique d'une filière a été développée. Cette filière théorique fait intervenir les acteurs suivants :

- **Maillon « production »** : producteurs de biomasse, gestionnaires de déchets, producteurs ou importateurs de biocarburants, producteurs ou importateurs de carburants conventionnels, mélangeurs, logisticiens (biomasse et produits finis).
- **Maillon « distribution »** :
  - *Transport et stockage* : transporteurs, mélangeurs, stockeurs et distributeurs ;
  - *Avitaillement* : gestionnaires d'aéroports, avitailleurs.
- **Maillon « utilisation »** : compagnies aériennes et autres utilisateurs finaux (équipementiers aéronautiques, constructeurs, etc.).

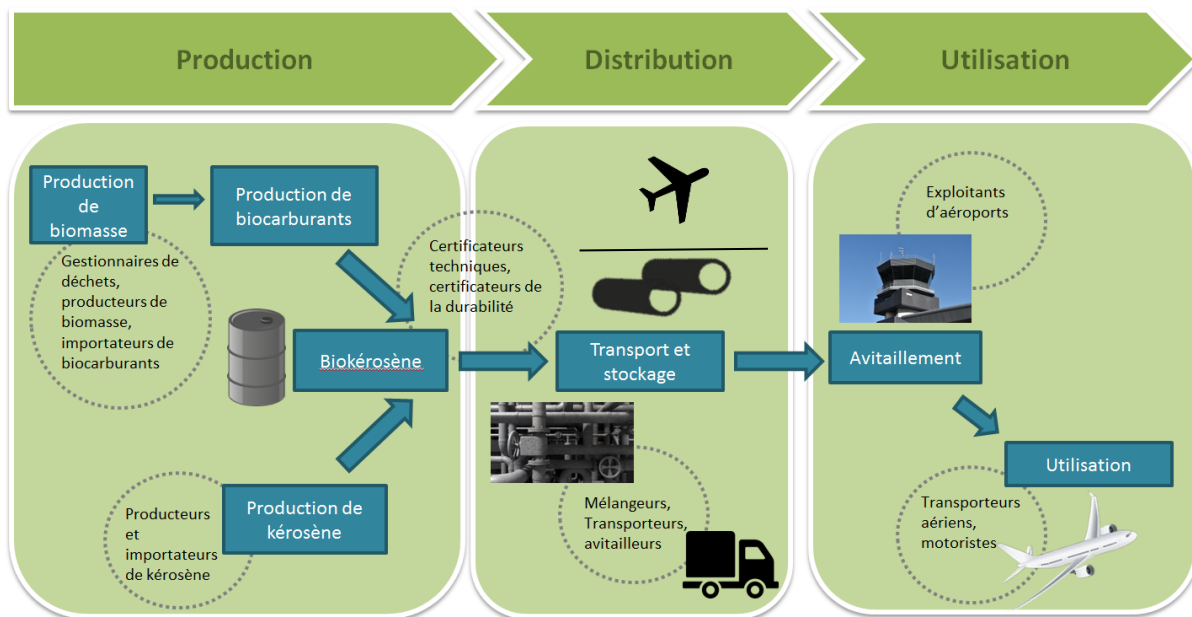


Figure : représentation théorique de la filière des biocarburants aéronautiques

Le rôle et l'importance relative de ces acteurs au sein de la filière, ainsi que leur impact sur le coût du produit final, ne sont pas déterminés et dépendront de la structuration progressive de celle-ci.

L'un des enjeux des années à venir réside donc dans la mise en relation et l'engagement coordonné de ces acteurs, certains étant nouveaux comme les mélangeurs par exemple et d'autres étant bien installés comme les utilisateurs.



## C. Les dispositifs existants dans le monde

Le développement encore limité des biocarburants aériens ces dernières années concerne le monde entier. En effet, les défis présentés précédemment existent ailleurs. Dès lors il semblait intéressant de s'intéresser aux dispositions prises par d'autres Etats en matière de soutien au développement de ces produits. L'analyse de ces dispositifs a montré que c'était souvent un ensemble de mesures permettant d'encadrer réglementairement l'ensemble des maillons de la filière qui avait été mis en place. A titre d'exemple, le seul aéroport au monde distribuant de manière permanente aujourd'hui des biocarburants est celui de Los Angeles. Les compagnies aériennes y bénéficient de mécanismes de soutien incitatifs (RINS) ayant créé une demande soutenue de ces produits.

Une approche globale et intégrée de la filière semble donc nécessaire. Cela inclut la mise en place d'un cadre réglementaire adéquat pour l'ensemble des maillons de la filière, de la production de matières premières à l'utilisation finale du produit.

### **Eléments de synthèse : travail comparatif de dispositifs de soutien existants sur les biocarburants routiers**

Ce travail a été réalisé, dans le cadre de l'ECV, par une équipe de consultants du groupe EY dans le cadre d'un marché public passé avec la DGAC. Une synthèse non exhaustive de différentes parties du rapport est présentée ici.

Le travail portait sur des dispositifs soutenant un marché de biocarburants et concernait donc plutôt les maillons en « aval » de la filière.

- **Champ du travail :**
  - Les dispositifs existants en Allemagne, aux Etats-Unis, au Pays-Bas et au Royaume-Uni ont été décrits et analysés qualitativement.
  - Les critères suivants ont été utilisés pour l'analyse qualitative des dispositifs : flexibilité, adaptabilité, complexité, sécurité, niveaux des risques associés, prérequis, coûts.
  - Les deux derniers critères précités n'ont pu être évalués faute de données satisfaisantes.
- **Synthèse de la description des dispositifs :**
  - Principe des dispositifs : les dispositifs américains, néerlandais et anglais reposent sur une obligation d'incorporation annuelle de biocarburants dans les transports routiers : l'aéronautique pouvant être comptabilisé pour atteindre cet objectif global. Le mécanisme allemand repose lui sur des objectifs de réductions d'émissions à atteindre *via* l'incorporation de biocarburants.
  - Aucun de ces dispositifs n'est sectoriel et dédié uniquement à l'aviation. Ils font partie intégrante des politiques énergétiques globales du pays en matière de biocarburants.
  - Chacun de ces dispositifs est associé à un ensemble, parfois important, de mesures connexes comme des incitations fiscales à l'investissement dans

des unités de production par exemple ou un système de pénalités visant à assurer l'atteinte des objectifs.

- Chacun de ces dispositifs repose sur un marché des biocarburants associé à un marché d'échange de certificats. Le suivi de l'incorporation se fait sur la base de certificats « papiers » et non sur le suivi de la molécule physique.
  - Ces dispositifs intègrent tous des critères de durabilité plus ou moins stricts portant par exemple sur l'efficacité énergétique des biocarburants ou les gains d'émissions leurs étant associés.
  - Les parties obligées de ces dispositifs sont, soit les producteurs de biocarburants aéronautiques, soit les distributeurs de ces produits (aussi appelés metteurs à la consommation).
  - Dans chacun des quatre dispositifs étudiés, le surcoût résiduel potentiel est répercuté dans le cadre du routier sur les consommateurs finaux (essentiellement captif contrairement au passager aérien).
- **Synthèse de l'analyse qualitative** : Ce tableau, issu du rapport, indique les niveaux pour chacun des critères : ainsi, une jauge à gauche signifie « *niveau faible* » et à droite « *niveau élevé* ». Ainsi, pour les critères « *complexité* » et « *risques* » plus la jauge est à droite, plus le mécanisme est simple ou présente peu de risques. Pour les autres critères, plus la jauge est à droite, plus le mécanisme est flexible, adaptable et avec une bonne sécurité.

	Flexibilité	Adaptabilité	Complexité*	Sécurité	Risques*
<b>Allemagne</b>					
<b>Etats-Unis</b>					
<b>Pays Bas</b>					
<b>Royaume-Uni</b>					

Figure : Tableau d'analyse qualitative des quatre dispositifs (source : rapport EY, 2019)

## D. Les perspectives identifiées en France

Dans ce contexte très évolutif, les dispositions ayant pour objectif de soutenir le déploiement des biocarburants aéronautiques devront nécessairement répondre aux défis exposés précédemment, mais pas seulement.

- **Axe n°1 :** Promouvoir la recherche et l'innovation pour démontrer la faisabilité technique et économique de nouvelles filières de production, pour l'ensemble des acteurs de la chaîne. Comme indiqué dans les engagements de l'ECV, le déploiement des biocarburants aéronautiques repose sur une dimension importante en matière d'innovation, de recherche et développement. Les programmes de recherche, les appels à projet dans les sphères de l'innovation et de la recherche ont encore un rôle très important à jouer. Ainsi, la « *feuille de route recherche biocarburants aéronautiques* », publiée à l'automne 2018 par l'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Energie (ANCRE), identifie les principaux appels à projet pertinents en cours et des veilles sur ces appels à projet qui sont indispensables.
- **Axe n°2 :** Développer la mobilisation des déchets et résidus à destination de la production de biocarburants aéronautiques avancés. Plusieurs outils de politiques publiques existent et ont pour vocation d'inciter à la valorisation des déchets, par exemple en soutenant la production d'énergie à partir de déchets. Un axe de développement pourrait être de réfléchir à leur adaptation à la problématique émergente de production de biocarburants aéronautiques. Sur le volet de la mobilisation de la biomasse, le mécanisme de la responsabilité élargie du producteur permet aujourd'hui d'améliorer la collecte et la valorisation de certains déchets. Une réflexion pourrait être engagée pour faciliter l'orientation des flux de déchets vers une valorisation en biocarburants aériens. Par ailleurs, dans plusieurs états européens, des politiques très volontaristes ont été mises en place avec l'objectif de détourner les déchets de l'élimination et de rendre plus compétitive leur valorisation en biocarburants.
- **Axe n°3 : Créer une filière de production française.** L'objectif poursuivi est de donner de la visibilité, d'une part, aux producteurs potentiels pour encourager les investissements dans des unités de production et, d'autre part, d'accompagner les compagnies aériennes dans leur perte de compétitivité liée au surcoût du biocarburant : cet axe est fondamental et a pour objectif l'émergence d'une capacité de production de biocarburants aéronautiques sur le territoire français.

## ELEMENTS DE SYNTHÈSE : LA PROBLÉMATIQUE DE L'ÉMERGENCE D'UNE CAPACITÉ DE PRODUCTION

Ce travail a été réalisé, dans le cadre de l'ECV, par une équipe de consultants du groupe EY dans le cadre d'un marché public passé avec la DGAC. Une synthèse non exhaustive de différentes parties du rapport est présentée ici.

EY a proposé et décrit un mécanisme ayant pour objectif l'émergence d'un marché de biocarburants aéronautiques durables en France.

- **Les prérequis pris en compte** : Pour ce travail, en accord avec les principes retenus dans le cadre de cet ECV, EY a intégré à sa réflexion les prérequis suivants.
  - Seuls des biocarburants n'entrant pas en compétition avec l'alimentaire, issus de l'économie circulaire ou avancés (selon les définitions de la directive européenne RED II) sont considérés.
  - Une filière française basée sur la mobilisation de biomasse locale, la production et la consommation en France est considérée.
  - Le besoin de visibilité à long-terme est pris en compte et la proposition repose sur un mécanisme de soutien à la production associé préalablement à la mise en place d'éventuelles incitations sur la demande.
  - La proposition intègre le besoin de transparence nécessaire à l'émergence de relations de confiance dans ce nouveau marché en construction.
  - La proposition intègre également les problématiques de surcoût et de compétitivité des acteurs du transport aérien.

Remarque : Ces prérequis (notamment sur le type de biocarburants ou sur la localisation de la filière) correspondent au cadre fixé par l'ECV et aux souhaits des partenaires du projet. Il convient cependant de noter que, lors des échanges, des problématiques connexes liées par exemple à la question de l'importation de matières premières et de biocarburants ou bien à la traçabilité des matières premières ont émergé. Ces questions devraient être prises en compte dans une réflexion plus large sur la définition de politiques publiques relatives aux biocarburants aéronautiques.

- **Hypothèses de travail en matière de développement** : Pour ce travail, afin de disposer d'un cadre de référence commun, EY a travaillé sur la trajectoire indicative de déploiement française suivante, jugée ambitieuse mais réaliste sous conditions (disponibilité et fléchage d'une biomasse durable issue de l'économie circulaire) par l'ensemble des partenaires de l'ECV.

	2025	2030
Niveau d'incorporation de biocarburants dans le carburant d'aviation mis à la consommation	2%	5%

- **Le mécanisme proposé** : la proposition repose sur un soutien à la production *via* un mécanisme d'appels d'offres successifs. Le principe est que chaque appel à projet permette la mise en place d'unités de production fonctionnelles permettant d'atteindre la trajectoire ci-dessus.

# Appel à Projets	Lancement	Volume alloué (capacité de production)	Date prévisionnelle de démarrage de la production
1	2020	130 kt/an	2025
2	2023	140 kt/an	2028
3	2025	140 kt/an	2030

Figure : Séquençage des appels à projets

- Prix garantis avec complément de revenus** : L'assurance d'un prix garanti pendant le temps du projet par le versement d'un complément de revenus consiste à compenser (par exemple *via* des fonds publics) tout ou partie la différence entre le coût de production du biocarburant et le prix de vente effectif du produit.



Figure : Illustration de la notion de complément de revenu

Ce principe a l'avantage de permettre la compensation du surcoût de production associé aux biocarburants aéronautiques tout en assurant également une visibilité et une maîtrise du prix de vente de ces produits pour les utilisateurs finaux. Afin d'équilibrer les aides entre les différents acteurs de la chaîne de valeur, des « garde-fous » doivent être mis en place, pour éviter les effets d'aubaines ou la distorsion de concurrence. Parallèlement, ces « garde-fous » peuvent également permettre d'assurer un plafonnement des fonds publics nécessaires.

- Jeu des acteurs** : Ce mécanisme permet l'investissement de l'ensemble des acteurs dans des projets de production, la structure des consortiums répondant aux appels à projet pouvant être variable.

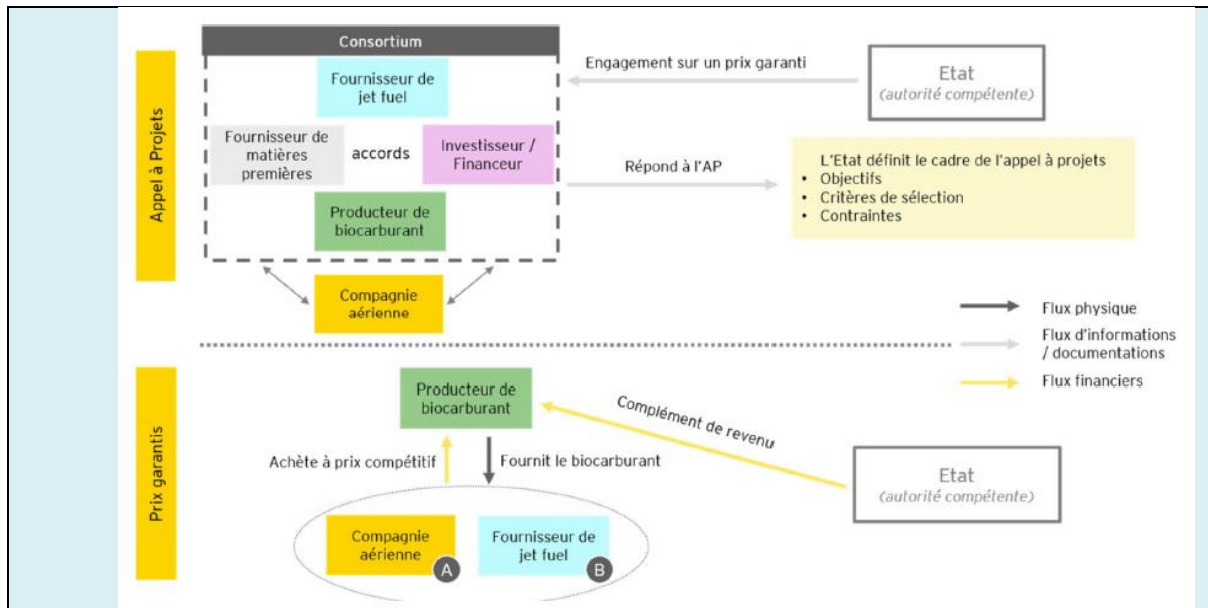


Figure : Illustration du fonctionnement potentiel du mécanisme

• **Avantages et limites du mécanisme :**

<b>Avantages du mécanisme</b>	
Assurer une production française	Procéder via des appels à projets, permet de se réserver le droit d'inclure des critères géographiques et de durabilité permettant de favoriser l'émergence d'une production au plus près des lieux de consommation (aéroports). Par conséquent, les consortiums répondant aux appels à projets sont incités à proposer d'installer leurs unités de production en France ce qui résultera en des impacts socio-économiques positifs indirects pour les territoires. La mise en place de conditions sur l'impact carbone des matières premières utilisées pourra également permettre d'avoir un approvisionnement cohérent en termes d'impact environnemental.
Permettre d'initier une filière naissante	L'organisation d'appels à projets en plusieurs phases sur une période de 10 à 15 ans permet aux investisseurs et producteurs qui souhaitent se positionner sur le marché d'anticiper et de se structurer.
Encourager les interactions et l'autonomie de la filière	La dimension dégressive des soutiens publics éventuels permet de préparer le marché à supporter le surcoût, en poussant les acteurs à communiquer entre eux pour assurer un approvisionnement à la fin des aides. Ce mécanisme évite également une trop grande dépendance des filières aux soutiens publics, ce qui peut rassurer les investisseurs.
Offrir de la flexibilité	Le fonctionnement en appels à projets différés permet à l'autorité d'adapter son parc d'unités de production de biocarburants. Cela offre la possibilité de diversifier les technologies et ainsi de pouvoir s'adapter aux évolutions technologiques ou éventuelles

	controverses qui pourraient subvenir sur un choix de biomasse ou de technologie. L'autorité publique responsable du cahier des charges des appels à projets peut se donner la possibilité d'adapter les critères d'attribution pour valoriser d'autres sujets comme l'inclusion dans le territoire, le développement d'infrastructures, etc.
Offrir de la transparence	Le modèle du revenu complémentaire permet de suivre le coût de production du biocarburant au réel et avec un contrôle d'un organisme d'Etat. Ainsi, les acteurs en aval disposent des informations concernant les coûts de production et peuvent anticiper les éventuelles fluctuations.
<b>Limites du mécanisme</b>	
Dépendance à des fonds publics	Garantir un complément de revenu aux producteurs revient à l'utilisation de fonds publics.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Evolutions du mécanisme</b> : EY propose ce mécanisme afin de faire émerger une capacité de production en France. Néanmoins, étant donné le coût associé à ces produits, EY préconise également, dans un second temps, la mise en place d'un mécanisme incitatif permettant de dynamiser la demande en biocarburants aéronautiques.</li> <li>• <b>La question de la transition</b> : le mécanisme proposé par EY vise à faire émerger une capacité de production opérationnelle, via de nouvelles unités, sur le territoire national à horizon 2030. A court-terme demeure donc une période de transition. Durant cette période, des unités existantes (comme par exemple l'usine TOTAL de La Mède) sont en capacité de produire des biocarburants aéronautiques durables (avancés ou issus de l'économie circulaire) et pourraient être utilisés, sous réserve de la disponibilité des ressources durables.</li> </ul>	

- **Axe n°4 : Faciliter la valorisation de l'utilisation des biocarburants aéronautiques par les utilisateurs finaux.** Les opérateurs du transport aérien français, soumis actuellement à deux instruments économiques en lien avec leurs émissions de CO<sub>2</sub> (le CORSIA pour les vols internationaux et l'UE-ETS en Europe) peuvent valoriser économiquement l'utilisation de biocarburants aéronautiques. Dans le cadre de l'UE-ETS, avec un prix moyen du quota de 25€/t, la valorisation de l'utilisation de biocarburants peut induire jusqu'à environ 10% d'économies. Dans le cadre du CORSIA, les prix sur le marché de compensation carbone ne sont pas encore entièrement connus, mais il sera également possible de valoriser l'utilisation de biocarburants, ce qui pourrait constituer des économies sur le montant de la compensation carbone que les compagnies aériennes auraient à effectuer.
- **Axe n°5 : Encourager les projets de partenariat pour franchir les prochaines étapes du déploiement des biocarburants aéronautiques durables.** A court-terme, les partenaires de cet ECV soutiennent les axes de travail suivants :

- Démontrer la faisabilité technique et économique d'utiliser des ressources ligno-cellulosiques pour la production de biocarburants aéronautiques.
- Démontrer la faisabilité de la livraison massifiée de biocarburants aéronautiques
  - *via* les pipelines sur les aéroports franciliens.
  - de manière transparente via les modes de livraison existants sur d'autres aéroports sur le territoire national.
- Soutenir les travaux sur la certification du matériel militaire afin de faciliter le déploiement de chaînes logistiques efficaces.
- Mettre en place un comité permanent rassemblant les acteurs privés et l'Etat autour de la question des biocarburants aéronautiques pour que le sujet continue de vivre suite à l'ECV. Les termes de référence, la structure et le fonctionnement de ce groupe seront à définir. Ce groupe pourra également assurer la présentation des initiatives françaises dans les instances européennes et internationales et le suivi des autres initiatives en cours.



# ANNEXE



## Impact potentiel des biocarburants sur la qualité de l'air locale, revue de littérature.

### Eléments de contexte

Les émissions des moteurs d'aéronefs sont comparables aux autres émissions résultant de la combustion de combustibles fossiles. Cependant, elles ont ceci de particulier qu'elles sont en grande partie produites en haute altitude. Leur incidence globale et leur effet local sur la qualité de l'air au niveau du sol soulèvent d'importantes préoccupations environnementales. La figure 1 présente des valeurs typiques d'émissions d'un aéronef bimoteur classique pour un vol d'une durée d'une heure avec 150 personnes à bord. Ces valeurs sont à prendre à titre d'exemple et dépendent fortement de la technologie de l'aéronef et de sa propulsion.

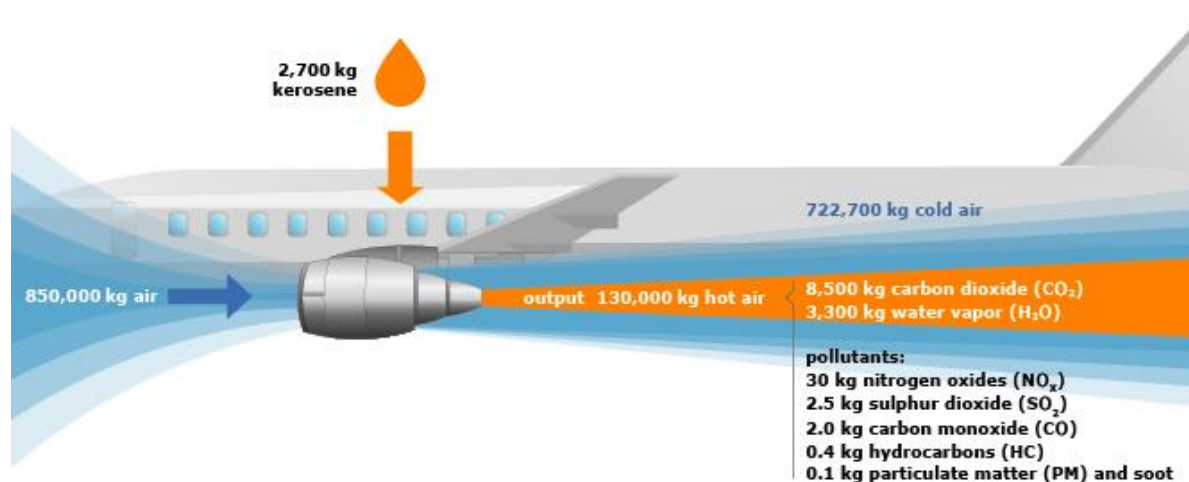


Figure 1 : émissions typiques d'un aéronef (source : FOCA)

La provenance de ces émissions est variable et dépend de nombreux paramètres tels que la technologie aéronef, le mode de fonctionnement, le carburant utilisé ou même les conditions atmosphériques rencontrées en vol.

Le tableau ci-dessous résume les principaux polluants émis par les moteurs des avions, leur origine et leur impact potentiel. Il convient de noter que des éléments sur l'impact global, incluant l'impact potentiel sur le réchauffement climatique, ont été ajoutés à titre d'information à ce tableau, même s'ils n'entrent pas directement dans l'objectif du présent document :

Polluants	Origine	Impacts
NO <sub>x</sub> : oxydes d'azote	Composés de NO et NO <sub>2</sub> , molécules formées par oxydation de l'azote de l'air à température et pression élevées en sortie de chambre de combustion du moteur. Leur formation est liée	<b>Impact local</b> : impact potentiel sur la santé. De plus, les NO <sub>x</sub> participent indirectement à la formation d'ozone troposphérique.

	notamment aux températures dans la chambre de combustion, donc dépendante du point de fonctionnement, de la qualité de la combustion, mais aussi largement des technologies utilisées pour les turbines.	
CO : monoxyde de carbone	Résulte de la combustion incomplète du kérosène, émis principalement lorsque le moteur tourne au ralenti ou à faible régime (phase de stationnement, roulage au sol et faible régime).	<b>Impact local</b> : le monoxyde de carbone est un gaz particulièrement impactant sur la santé à concentration élevée. Il participe également indirectement à la formation d'ozone  Impact global : faible, effet indirect sur le forçage radiatif
HC : hydrocarbures imbrûlés, inclus dans les Composés Organiques Volatiles (COV)	Résultent de la combustion incomplète du kérosène, émis principalement lorsque que le moteur tourne au ralenti ou à faible régime (phase de stationnement et roulage au sol).	<b>Impact local</b> : certains composés peuvent avoir un impact sur la santé. Participe également de façon indirecte à la formation d'ozone.  Impact global : participent aux réactions chimiques en haute atmosphère
Particules	Aérosols partiellement solides de composition chimique complexe provenant de la combustion. Se forment principalement à haut régime.	<b>Impact local</b> : effet probable sur la santé, dépendant de multiples paramètres (concentration, composition, taille, etc.)  Impact global : participent aux réactions hétérogènes (destruction d'ozone) et potentiellement au forçage radiatif <i>via</i> la formation des traînées de condensation notamment
SO <sub>2</sub> : oxydes de soufre	Résulte de l'oxydation du soufre contenu dans le kérosène lors de la combustion	<b>Impact local</b> : effet potentiel sur la santé, formation d'acide sulfurique, participe à la formation de particules en se déposant à la surface des agrégats carbonés  Impact global : acidification de l'atmosphère

Il convient également de noter qu'en plus de ces émissions directes, il existe des émissions « indirectes » résultant de réactions secondaires dans l'atmosphère. Ces dernières résultent des émissions de polluants de l'aéronef en haute altitude. Elles feraient appel à des mécanismes physiques et chimiques complexes (condensation, nucléation) dépendant des émissions de polluants en sortie de turbine, mais également des conditions extérieures (température, altitude, qualité de l'air, etc.). Leur impact sur la qualité de l'air et le réchauffement climatique reste encore assez peu connu.

Le carburant, de par ses propriétés physiques et sa composition chimique, est susceptible d'influencer fortement les émissions de polluants des turbines :

- Impacts sur les émissions de polluants liés aux propriétés physiques du carburant :
  - Impact indirect *via* l'injection et la pulvérisation (effet densité / volatilité) ;
  - Impact de la qualité du mélange (homogénéité de richesse) ;
  - Impact sur la stabilité de combustion ;
  - Impact sur la consommation (contenu énergétique, densité, etc.).
- Impacts sur les émissions de polluants liés à la chimie du carburant :
  - Certaines molécules du carburant peuvent être précurseurs de polluants (c'est notamment le cas des aromatiques et des poly-aromatiques pour les émissions de particules ou de suie, des produits soufrés pour les émissions de particules) ;
  - La chimie du carburant influence également sa combustion *via* les caractéristiques d'inflammation, de vitesse de flamme, de dégagement de chaleur, etc.

Ces différents impacts sont souvent liés et interdépendants, complémentaires ou opposés, ce qui rend l'étude de l'impact du carburant sur les émissions de polluants extrêmement complexe.

Il existe actuellement 5 familles principales de carburants alternatifs certifiés pour l'aviation : HEFA (hydrotraitement d'huiles), FT-SPK (paraffines par la voie Fischer Tropsch), AtJ (Alcohol to Jet) et SIP (farnesane) et FT-Aromatiques (aromatiques par la voie Fischer-Tropsch). Ces filières possèdent en commun l'absence de soufre et, pour les 4 premières, d'aromatiques dans leur composition. Il est donc légitime d'attendre un impact substantiel de leur usage sur les émissions de polluants des aéronefs.

## Revue de littérature

---

Afin de quantifier cet impact, une étude bibliographique a été menée, basée sur le travail de Booz, Allen, et Hamilton, « *State of the Industry Report on Air Quality Emissions from Sustainable Alternative Jet Fuels* » (ACRP Project 02-80), auquel des publications ont été ajoutées (cf. annexe 1). Les principales conclusions de ce travail sont les suivantes :

- Pour certains polluants atmosphériques (particules, SO<sub>2</sub>), il existe un lien clair entre l'utilisation de carburants alternatifs et le niveau d'émissions. Ce lien peut être systématique, comme par exemple pour les émissions de SO<sub>2</sub> directement liées à l'absence de soufre dans le carburant ou au contraire dépendant de la composition des

carburants testés. Ainsi, pour les particules, l'effet peut être attribué au fait que les carburants alternatifs actuellement certifiés ne contiennent pas d'aromatiques, une des briques fondamentales de la formation des suies.

- Pour d'autres, le lien est beaucoup plus faible, voire inexistant.

Le tableau ci-dessous résume les principaux impacts observés :

Polluants	Impacts
NO <sub>x</sub> : oxydes d'azote	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les émissions de NO<sub>x</sub> sont liées à des paramètres de combustion tels que la température de flamme, le temps de résidence, le rapport air / carburant, les conditions en entrée de chambre de combustion, le point de fonctionnement, l'humidité, la température ambiante, etc.</li> <li>• En ce sens, l'effet de la composition du carburant semble être de deuxième ordre et peu systématique.</li> <li>• Des études complémentaires sont nécessaires.</li> </ul>
CO : monoxyde de carbone	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impact de la volatilité (pulvérisation) et de la composition chimique (rapport H/C) des biocarburants sur les émissions de monoxyde de carbone.</li> <li>• Résultat cependant fortement dépendant de la technologie turbine.</li> </ul>
HC : hydrocarbures imbrûlés, inclus dans les Composés Organiques Volatiles (COV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conclusions similaires à celles faites sur les émissions de CO</li> <li>• Élément complémentaire : si la réduction de concentration en HC semble réelle bien que faible, il semble que la composition de ces HC (et donc leur toxicité) puisse être fortement modifiée par l'utilisation de carburants paraffiniques.</li> <li>• Des études complémentaires sont nécessaires.</li> </ul>
Particules	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impact généralement significatif des biocarburants sur les émissions de particules (réduction des émissions).</li> <li>• Effets multiples et combinés (dépendants d'autres facteurs tels que la teneur en aromatiques, la teneur en soufre, la volatilité, l'impact de la combustion, etc.). Le lien avec les technologies des turbines est encore à étudier. Une meilleure compréhension des effets est nécessaire.</li> <li>• Les effets semblent clairs sur la masse de particules, mais restent à quantifier sur le nombre et la taille de celles-ci.</li> </ul>

SO <sub>2</sub> : oxydes de soufre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissions liées à la teneur en soufre du carburant. Les carburants alternatifs sans soufre ont donc un impact notable sur la diminution de ces émissions.</li> <li>• Impact à creuser, avec notamment la quantification relative des effets SO<sub>x</sub>, particules et aérosols.</li> </ul>
HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peu de données. Cependant la composition simple des carburants alternatifs testés semble aller dans le sens d'une réduction des émissions de composés toxiques tels que les HAP.</li> </ul>

Cette étude bibliographique comporte un certain nombre de limites :

- Les carburants alternatifs sont, la plupart du temps, testés au taux d'incorporation maximal prévu par la certification. Il en résulte l'absence de données quant à l'impact du taux d'incorporation sur les émissions.
- Certaines émissions ne sont pas ou peu traitées : absence de données sur les émissions en termes de nombre et taille de particules, peu de données sur les trainées de condensation. De plus, les mesures effectuées sont assez hétérogènes au niveau des conditions d'essai mais aussi parfois du type de mesures effectuées.
- La plupart des études permettent d'apporter des données sur l'impact de l'incorporation de carburants alternatifs, mais ne visent pas à étudier de façon systématique ces impacts. Il en résulte une grande difficulté à expliquer certains effets (effets indirects du type volatilité, PCI, rapport H/C, etc.).
- Les données disponibles ne couvrent que les carburants alternatifs durables actuellement certifiés, c'est à dire HEFA, FT-SPK, SIP et AtJ. Les carburants étudiés sont tous de composition proche, c'est à dire sans soufre et 100% paraffiniques. Les résultats obtenus ne peuvent donc pas être extrapolés à l'ensemble des carburants alternatifs en cours de certification.

## Bibliographie

- Joseph P. Abrahamson Joseph Zelina, M. Gurhan Andac and Randy L. Vander Wa, Predictive Model Development for Aviation Black Carbon Mass Emissions from Alternative and Conventional Fuels at Ground and Cruise, Environmental Science and Technology · September 2016
- Altaher, M., Andrews, G., and Li, H., PM Characteristics of Low NO<sub>x</sub> Combustor Burning Biodiesel and its Blends with Kerosene, Proceedings of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition GT2013, June 3-7, 2013, San Antonio, Texas, USA
- Anderson, B.E., et al., Alternative Aviation Fuel Experiment (AAFEX), NASA Project Report NSAS/TMI2011I217059, February 2011.

- Anderson, B. NASA Langley Research Center, Alternative Fuel Effects on Contrails & Cruise Emissions (ACCESS-2) Flight Experiment, ACCESS Science and Implementation Teams, 09 January 2015.
- ASTM D1655-16a, Standard Specification for Aviation Turbine Fuels, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1 April 2016.
- ASTM D7566-16b, Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1 July 2016.
- Beyersdorf, A. J., Timko, M. T., Ziemba, L. D., Bulzan, D., Corporan, E., Herndon, S. C., Howard, R., Miake-Lye, R., Thornhill, K. L., Winstead, E., Wey, C., Yu, Z., and Anderson, B. E., Reductions in Aircraft Particulate Emissions due to the use of Fischer-Tropsch Fuels, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 11–23, 2014.
- Bhagwan, R., Habisreuther, P., Zarzalis, N., and Turrini, F., An Experimental Comparison of the Emissions Characteristics of Standard Jet A-1 and Synthetic Fuels, *Flow Turbulence Combustion* (2014) 92:865–884.
- Biddle T., Pratt & Whitney Emissions Test to Determine the Effect of Sasol Fully Synthetic Jet-A Fuel on the Emissions of a Commercial Combustor, Southwest Research Institute, 2-007.
- Blakey, S., Rye, L., Wilson, C.W., Aviation Gas Turbine Alternative Fuels: A Review, *Proceedings of the Combustion Institute*, 33 (2011), 2863-22885, 09 November 2010.
- Boeing Company, UOP, U.S. Air Force Research Laboratory, Evaluation of Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosenes (Bio-SPK), Report Version 5.0, Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants, Subcommittee D02.J0.06 on Emerging Turbine Fuels, Research Report D02-1739, ASTM International, West Conshohocken, PA, 28 June 2011.
- Brem, T.B., et al., Effects of Fuel Aromatic Content on Nonvolatile Particulate Emissions of an In-Production Aircraft Gas Turbine, *Environmental Science & Technology* 2015, 49 (22), 13149-13157, 23 October 2015.
- B.T. Brem, L. Durdina, M. Elser, A. Setyan, D. Schönenberger, S. Wyss, K Zeyer, F. Siegerist, M. Munoz, R. Haag, D. Rentsch, J. Mohn, N.V. Heeb, and J. Wang, Impact of alternative fuels on the non-volatile particulate matter mass and number emissions of an in-production aero gas turbine, *European Aerosol Conference 2017*
- Cain, J., DeWitt, M., Blunck, D., Corporan, E., Striebich, R., Anneken, D., Klingshirn, C., Roquemore, W. M., and Vander Wall, R., Characterization of Gaseous and Particulate Emissions From a Turboshaft Engine Burning Conventional, Alternative, and Surrogate Fuels, *Energy Fuels* 2013, 27, 2290–2302.
- Carter, N. A., Stratton, R.W., Bredehoeft, M.K., and Hileman, J.I., Energy and Environmental Viability of Select Alternative Jet Fuel Pathways, 47th AIAA/ASME, SAE, ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 31 July – 03 August 2011, San Diego, CA, AIAA 2011-5968.
- Carter, N. A., Environmental and Economic Assessment of Microalgae-Derived Jet Fuel, Laboratory for Aviation and the Environment, Massachusetts Institute of Technology, June 2012.
- Chan, T.W., Chishty, W. A., Canteenwalla, P., Buote, D., and Davidson, C.R., Characterization of Emissions From the Use of Alternative Aviation Fuels, *Journal of*



Engineering for Gas Turbines and Power Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, January 2016, Vol. 138 / 011506-1.

- Chen, L. Zhang, Z. Lu, Y., Zhang, C., Zhang, X., Zhang, C., Roskilly, A. P., Experimental Study of the Gaseous and Particulate Matter Emissions from a Gas Turbine Combustor Burning Butyl Butyrate and Ethanol Blends, *Applied Energy* 195 (2017) 693–701.
- Christie, S., D4.3 Emissions Report and Database of Systems Key Performance Parameters, ITAKA Collaborative Project, FP7-308807, 30 April 2015.
- Christie, S., Lobo, P., Lee, D., Raper, D., Gas Turbine Engine Nonvolatile Particulate Matter Mass Emissions: Correlation with Smoke Number for Conventional and Alternative Fuel Blends, *Environ. Sci. & Technol.* 2017, 51, 988- 996.
- Colket, M., Heyne, J., Rumizen, M., Gupta. M., Jardines, A., Edwards, T., Roquemore, W. M., Andac, G., Boehm, R., Zelina, J., Lovett, J., Condevaux, J., Bornstein, S., Rizk, N., Turner, D., Graves, C., Anand, M.S., An Overview of the National Jet Fuels Combustion Program, AIAA SciTech Forum 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 4-8 January 2016, San Diego, California.
- Corporan, E., DeWitt, M.J., Klingshirn, C.D., Anneken, D., Alternative Fuels Tests on a C-17 Aircraft: Emissions Characteristics, Air Force Research Laboratory, Interim Report, AFRL-RZ-WP-TR-2011-2004, Wright-Patterson Air Force Base, OH, December 2010.
- Corporan, E., Edwards, T., Shafer, L., DeWitt, M.J., Klingshirn, C.D., Zabarnick, S., West, Z., Striebich, R., Graham, J., Klein, J., Chemical, Thermal Stability, Seal Swell, and Emissions Studies of Alternative Jet Fuels, *Energy & Fuels*, 2011, 25, 955-966, 2 March 2011.
- Corporan, E., DeWitt, M.J., Klingshirn, C.D., Anneken, D., Shafer, L., Striebich, R., Comparison of Emissions Characteristics of Several Turbine Engines Burning Fischer-Tropsch and Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Alternative Jet Fuels, Proceedings of ASME Turbo Expo 2012, Copenhagen, Denmark, 11-15 June 2012.
- Daily, B., Ginestra, C., Reduced Emissions Via Synthesized Aromatic Kerosene, Virent briefing to ASCENT Seattle, WA, 13 October 2015.
- Del Rosario, R., Koudelka, J., Wahls, R., Madavan, N., Bulzan, D., Alternative Aviation Fuel Experiment II (AAFEX II) Overview, 19 September 2012.
- Donohoo, P. Scaling Air Quality Effects from Alternative Jet Fuel in Aircraft and Ground Support Equipment, M.Sc. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 2010.
- Edwards, T., Meyer, D., Johnston, G., McCall, M., Rumizen, M., Wright, M., Evaluation of Alcohol to Jet Synthetic Paraffinic Kerosenes (ATJ-SPK), Report Version (1.10), Committee D02 on Petroleum Products, Liquid Fuels, and Lubricants, Subcommittee D02.J0 on Aviation Fuels, Research Report D02-1828, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1 April 2016.
- Hendricks, R.C., Bushnell, D., Particulate Emissions Hazards Associated with Fueling Heat Engines, *International Journal of Rotating Machinery*, Volume 2011, Article ID 415296, 18 March 2011.
- Hermann, F, Comparison of Combustion Properties Between a Synthetic Jet Fuel and Conventional Jet A-1, In: Proceedings of ASME Turbo Expo. Nevada; 2005. GT2005-68540.

- Huang, C.J., Vander Wal, R.L., Effect of Soot Structure Evolution from Commercial Jet Engine Burning Petroleum Based JP-8 and Synthetic HRJ and FT Fuels, *Energy and Fuels*, 2013, 27, 4946-4958, 24 July, 2013.
- ICAO Airport Air Quality Guidance, first edition, International Civil Aviation Organization (ICAO), 999 University Street, Montreal, Quebec CA H3C5H.
- Koenig, J.Q., Health Effects of Ambient air Pollution, How safe is the air we breathe, Kluwer Academic 2000.
- Leikauf, G. D., Hazardous Air Pollutants and Asthma, *Environmental Health Perspective*, 110 (suppl 4), 505-526, 2002.
- Lew, L., Biddle, T., United Technologies Corporation, P&WC Engine Test and Combustor Rig Test Performed on 20 Percent Amyris Farnesane/Jet A Blend, for the Continuous Energy, Emissions and Noise (CLEEN) Program, East Hartford, CT, 16 April 2014.
- Li, H, et al., Influence of Fuel Composition, Engine Power, and Operation Mode on Exhaust Gas Particulate Size Distribution and Gaseous Emissions from a Gas Turbine Engine, *Proc. ASME Turbo Expo 2013*, GT2013-94854.
- Li, H., Altaher, M., Wilson, C., Blakey, S., Chung, W., Rye, L., Quantification of Aldehydes Emissions from Alternative and Renewable Aviation Fuels using a Gas Turbine Engine, *Atmospheric Environment* 84 (2014) 373-379.
- Lobo, P., Hagen, D., Whitefield, P., Comparison of PM Emissions from a Commercial Jet Engine Burning Conventional, Biomass, and Fischer-Tropsch Fuels, *Environmental Science & Technology*, 1 November 2011.
- Lobo, P., Christie, S., Khandelwal, B., Blakey, S.G., Raper, D.W., Evaluation of Non-volatile Particulate Matter Emission Characteristics of an Aircraft Auxiliary Power Unit with Varying Alternative Jet Fuel Blend Ratios, *Energy and Fuels*, 2015, 29, 7705-7711, 16 October, 2015.
- Moore, R., Shook, M., Beyersdorf, A., Corr, C., Herndon, S., Knighton, W., Miake-Lye, R., Thornhill, K., Winstead, E., Yu, Z., Ziemba, L., Anderson, B., Influence of Jet Fuel Composition on Aircraft Engine Emissions: A Synthesis of Aerosol Emissions Data from the NASA APEX, AAFEX, and ACCESS Missions, *Energy and Fuels*, 2015, 29, 2591-2600, 25 February, 2015.
- Moore, R., et al., Biofuel Blending Reduces PM Emissions from Aircraft Engines at Cruise Conditions, *Nature* 21420, doi:10.1038.
- Moses, C.A, Comparative Evaluation of Semi-Synthetic Jet Fuels (FT-SPK), Final Report, Coordinating Research Council, Inc., Universal Technology Corporation, CRC project No. AVI 2104a, Alpharetta, GA September 2008.
- Moses, C., Evaluation of Synthesized Aromatics Co-Produced with Iso-Paraffinic Kerosene for the Production of Semi-Synthetic Jet Fuel (SKA), Committee D02 on Petroleum Products, Liquid Fuels, and Lubricants, Subcommittee D02.J0 on Aviation Fuels, Section D02.J0.06 on Emerging Turbine Fuels, Research Report D02-1810, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1 November 2015.
- Rahmes, T.F., Kinder, J.D., Henry, T.M., Crenfeldt, G., LeDuc, G.F., Zombanakis, G.P., Abe, Y., Lambert, D.M., Lewis, C., Juenger, J.A., Andac, M.G., Reilly, K.R., Holmgren, J.R., McCall, M.J., Bozzano, A.G., Sustainable Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosene

(Bio-SPK) Jet Fuel Flights and Engine Tests Program Results, 9th AIAA Aviation Technology, integration and operations conference, AIAA 2009-7002, Sept, 2009.

- Roland, O., Garcia, F., TOTAL New Energies, Amyris, Inc., U.S. Air Force Research Laboratory, Evaluation of Synthesized Iso-Paraffins Produced from Hydroprocessed Fermented Sugars (SIP Fuels), Final Version (3.), Committee D02 on Petroleum Products, Liquid Fuels, and Lubricants, Subcommittee D02.J0 on Aviation Fuels, Research Report D02-1776, ASTM International, West Conshohocken, PA, 15 June 2014.
- Shila, Jacob J., and Johnson, Mary E., Estimation and Comparison of Particle Number Emission Factors for Petroleum-based and Camolina Biofuel Blends used in a Honeywell TFE-109 Turbofan Engine, AIAA SciTech Forum, 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, San Diego, California, 4-8 January 2016.
- Shouse, D.T., Neuroth, C., Hendricks, R.C., Lynch, A., Frayne, C.W., Stutrud, J.S., Corporan, E., Hankins, T. Alternate- fueled Combustor-sector Performance: Part A: Combustor Performance Part B: Combustor Emissions, 2010. ISROMAC13-2010-49.
- Speth, R.R., Rojo, C., Malina, R., Barrett, S.R.H., Black Carbon Emissions Reductions from Combustion of Alternative Jet Fuels, Atmospheric Environment 105 (2015) 37-42, 19 January 2015.
- Stratton, R.W., Wolfe, P.J., Hileman, J.I., Impact of Non-CO2 Combustion Effects on the Environmental Feasibility of Alternative Jet Fuels, Environmental Science & Technology 45 (24) 10736-10743, 22 November 2011.
- Timko, M.T., Herndon, S.C., de la Rosa Blanco, E., Wood, E.C., Yu, Z., Miake-Lye, R.C., Knighton, W.B., Shafer, L., DeWitt, M.J., Corporan, E., Combustion Products of Petroleum Jet Fuel, a Fischer-Tropsch Synthetic Fuel, and a Biomass Fatty Acid Methyl Ester Fuel for a Gas Turbine Engine, Combustion Science and Technology, 183: 1039-1068, 2011, 13 April 2011.
- Vander Wal, R., Bryg, V., Huang, C., Insights into the Combustion Chemistry Within a Gas-Turbine Driven Auxiliary Power Unit as a Function of Fuel Type and Power Level using Soot Nanostructure as a Tracer, Fuel 115 (2014) 282–287.
- Wey, C, and D. Bulzan, Effects of Bio-Derived Fuels on Emissions and Performance Using a 9-Point Lean Direct Injection Low Emissions Concept, Proc. ASME Turbo Expo 2013, GT2013-94888.
- Winchester, N., Malina, R., Staples, M.D., Barrett, S.R.H., The Impact of Advanced Biofuels on Aviation Emissions and Operations in the U.S., Energy Economics 49 (2015) 482-491, 8 April 2015.