

JUIN 2020

LES BIOKÉROSENES : LEVIER MOYEN TERME D'UNE AVIATION BAS CARBONE

L'incorporation de 50% de biokérosènes dans le carburant aérien dès 2030 pourrait permettre une baisse de 40% des émissions de CO₂ françaises du secteur, premier pas pour s'inscrire dans la nouvelle trajectoire d'un avion zéro carbone à horizon 2035

Executive Summary



Le réchauffement climatique, essentiellement causé par les émissions de gaz à effet de serre (GES), met en péril les écosystèmes de la planète. Le CO₂, dont les émissions sont principalement dues à l'activité humaine, est le GES majoritaire émis dans l'atmosphère. Après la production d'électricité et de chaleur, le secteur des **transports est le 2^{ème} plus émetteur de CO₂** avec ¼ des émissions planétaires. Contrairement au transport routier, **très peu de mesures de réduction de l'impact environnemental ont été prises dans le secteur de l'aviation, qui représente donc un levier stratégique de réduction des émissions de CO₂ des transports.**

L'intégration de biokérosènes dans le carburant aérien est un des leviers de verdissement du secteur. Depuis 2008, date du 1er vol expérimental partiellement propulsé aux biokérosènes, la filière s'est lentement développée au fil des **certifications successives de procédés de production**. Comme les biocarburants routiers, les biokérosènes sont classés en 3 générations associées à des profils d'intrants différents. Les **générations (2G - 3G) plus évoluées permettent un gain carbone plus important** et s'affranchissent des problématiques d'utilisation de terres arables (1G). En l'absence de mécanismes de soutien financier, **les biokérosènes demeurent cependant 2 à 5,5 fois plus chers que le kérosène**, ce qui freine significativement le développement de la filière.



Les biokérosènes sont encore très marginalement utilisés (0,09% dans le monde) mais, depuis quelques années, les **volumes de production augmentent** grâce aux **contrats d'approvisionnement** passés entre les producteurs et les compagnies aériennes désireuses d'améliorer leur impact environnemental et leur image auprès du grand public. L'usage se répand grâce aux **initiatives des Etats, aéroports ou compagnies aériennes**, et s'appuie sur la **chaîne logistique** déjà en place du kérosène conventionnel qui nécessite une adaptation aux spécificités des biokérosènes.

La **feuille de route française** de déploiement des biokérosènes présentée en début d'année prévoyait leur incorporation progressive jusqu'à atteindre 50% du carburant aérien en 2050. Sia Partners recommande **un scénario ambitieux mais réaliste** visant une incorporation de **50% de biokérosènes dès 2030** permettant ainsi une **baisse de 40% des émissions de CO₂ en France pour un surcoût moyen par billet estimé à 5 €** selon nos hypothèses*. Ce scénario est cohérent avec les nouvelles annonces du gouvernement dans le plan de relance post COVID-19, ambitionnant notamment le développement d'un **avion bas carbone en 2035**. Avec l'hydrogène comme solution privilégiée à partir de ce jalon, **le développement des biokérosènes s'impose comme solution transitoire opportune** dans l'intervalle de temps, avec une incorporation massive à prévoir plus tôt que les objectifs initialement fixés. Dans cette perspective, la relance post COVID-19 représente une **opportunité** pour le secteur, sous l'impulsion de l'Etat, de se reconstruire de manière plus respectueuse de l'environnement.



Content

1. Les impératifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien
2. Une filière des biokérosènes encore en structuration
3. Etude de cas et recommandations

1

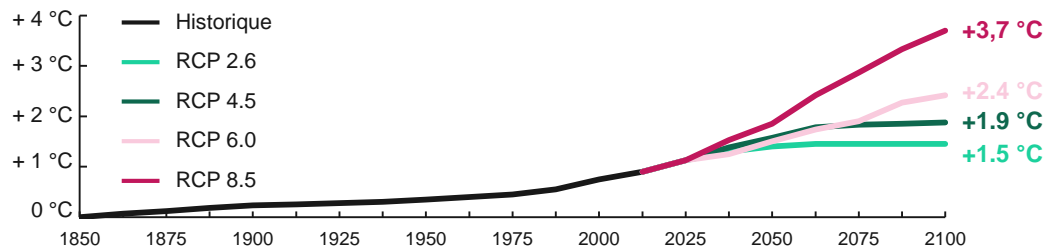
Les impératifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien



Les impératifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien

Les gaz à effet de serre (GES) produits par l'activité humaine continuent de dérégler le climat

Le GIEC définit des scénarios (RCP) climatiques basés sur la concentration de GES dans l'atmosphère



Les scénarios RCP (Representative Concentration Pathway) sont définis par 3 principaux facteurs liés à la concentration de GES dans l'atmosphère :

	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
Croissance population mondiale	-	+	++	+++
Intensité énergétique	-	+	++	+++
Evolution technologique	Rupture	Forte	Moyenne	Faible

Au-delà de 2°C d'augmentation, les impacts sont nombreux et irréversibles

- Risque de récession économique
- Risque de déplacements massifs de population
- Risque de submersion des zones côtières
- Risque accru de phénomènes météorologiques violents
- Risque de famine
- Risque de pénurie d'eau

Le CO₂, bien que n'étant pas le GES impactant le plus le réchauffement climatique*, représente lui seul 2/3 des GES présents dans l'atmosphère



* A une concentration donnée

Pour limiter l'élévation de la température à 2°C (RCP 2.6 ou 4.5), l'Accord de Paris, signé en 2015, prévoit les actions suivantes



Mobilisation de 100 milliards de dollars par an par les pays développés



Des engagements nationaux qui permettent dans un premier temps de limiter le réchauffement à 2°C

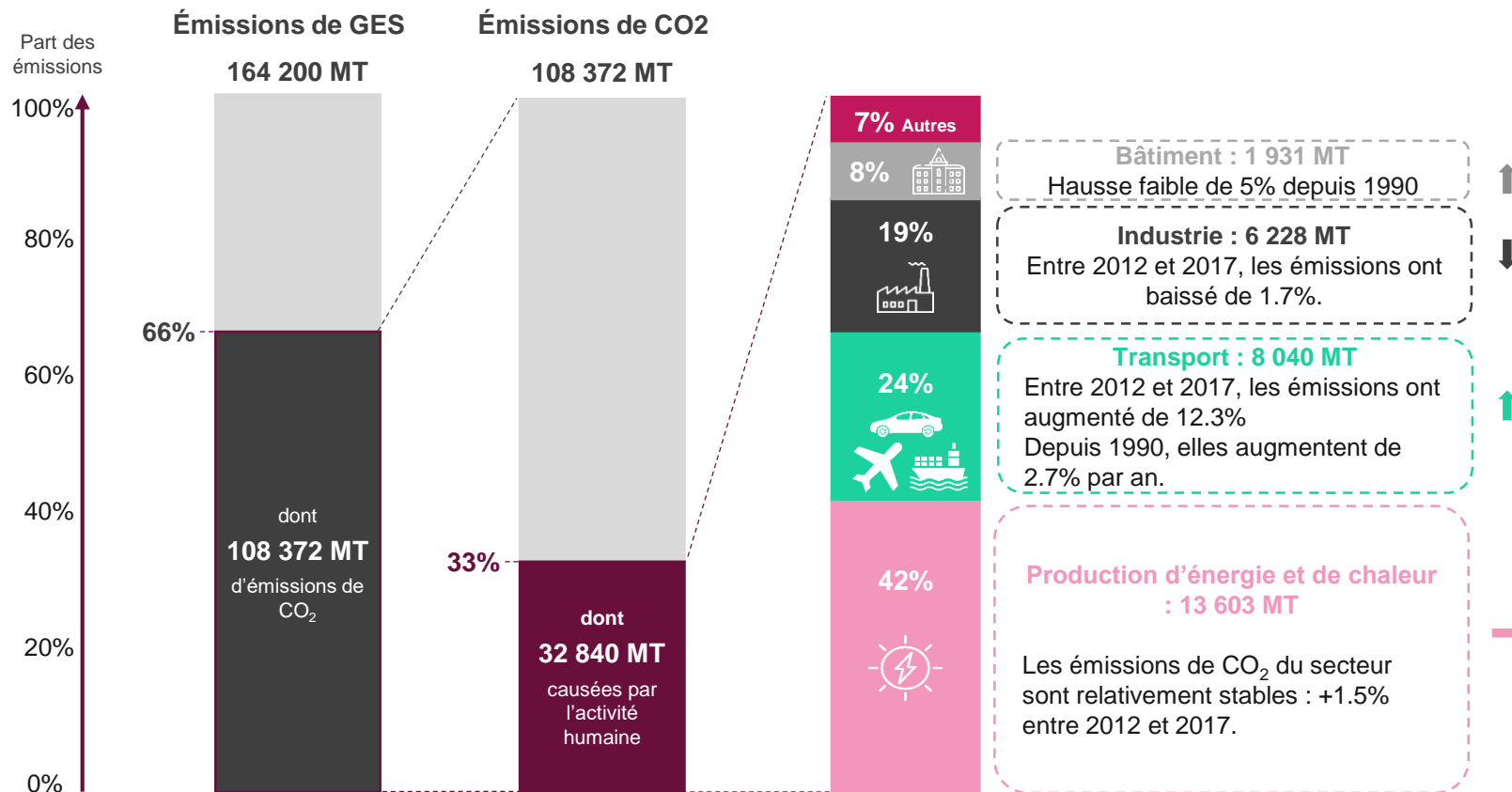


Une révisions à la hausse des objectifs tous les 5 ans

La lutte contre le réchauffement climatique, nécessaire à la préservation des écosystèmes de la planète, a poussé les pays à s'engager à limiter les émissions de gaz à effet de serre au travers d'accords internationaux et régionaux et à les décliner dans leurs objectifs nationaux.

Les impératifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien

Fortement consommateur des énergies fossiles, le transport représente aujourd'hui 1/4 des émissions de CO₂



World Energy Outlook 2019, AIE (chiffres pour l'année 2017)

Chiffres clés

45 % des émissions de GES sont liées aux activités humaines.

1/3 des émissions de CO₂ sont directement engendrées par l'activité humaine.

1/5 de l'effet de serre est causé par les émissions de CO₂ liées à l'activité humaine.

93% des émissions de CO₂ sont générées par 4 secteurs d'activité.

1/4 des émissions planétaires de CO₂ sont émises par les transports.

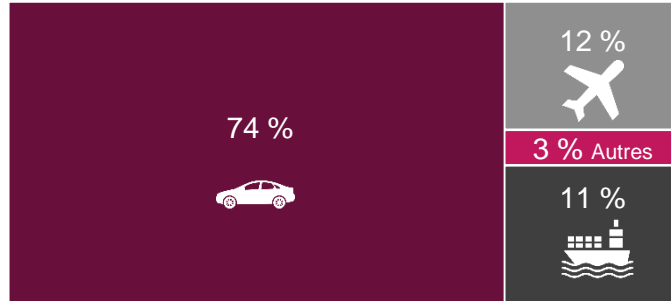
Le secteur des transports est décisif dans la lutte contre le réchauffement climatique puisqu'il est le 2^{ème} secteur le plus émetteur de CO₂ et présente la plus forte croissance depuis 2012. Des cadres réglementaires nationaux et régionaux voient le jour afin de réduire l'empreinte carbone du secteur, principalement pour le transport routier et maritime.

Les impératifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien

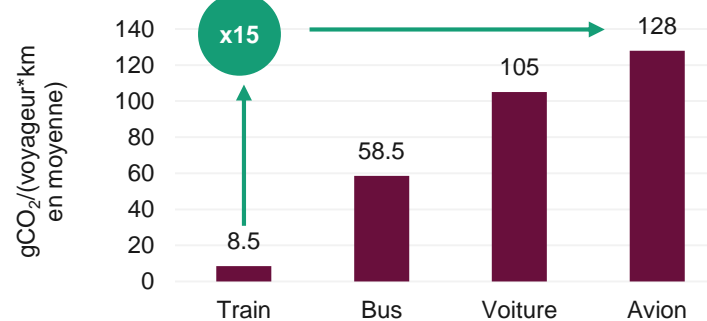
Le secteur aérien est le moyen de transport le plus intense en carbone par kilomètre et par passager

L'aviation contribue significativement aux émissions de CO₂ ...

Le secteur aérien est responsable de 6 fois moins d'émissions de CO₂ que le transport routier ⁽¹⁾ ...



... Mais l'avion est, en moyenne, le transport le plus émetteur de CO₂ au km par passager ⁽²⁾



Cas : Paris - Marseille

Pour 4 passagers



... Et très peu de mesures ont été prises pour atteindre les objectifs de réduction

Mesures

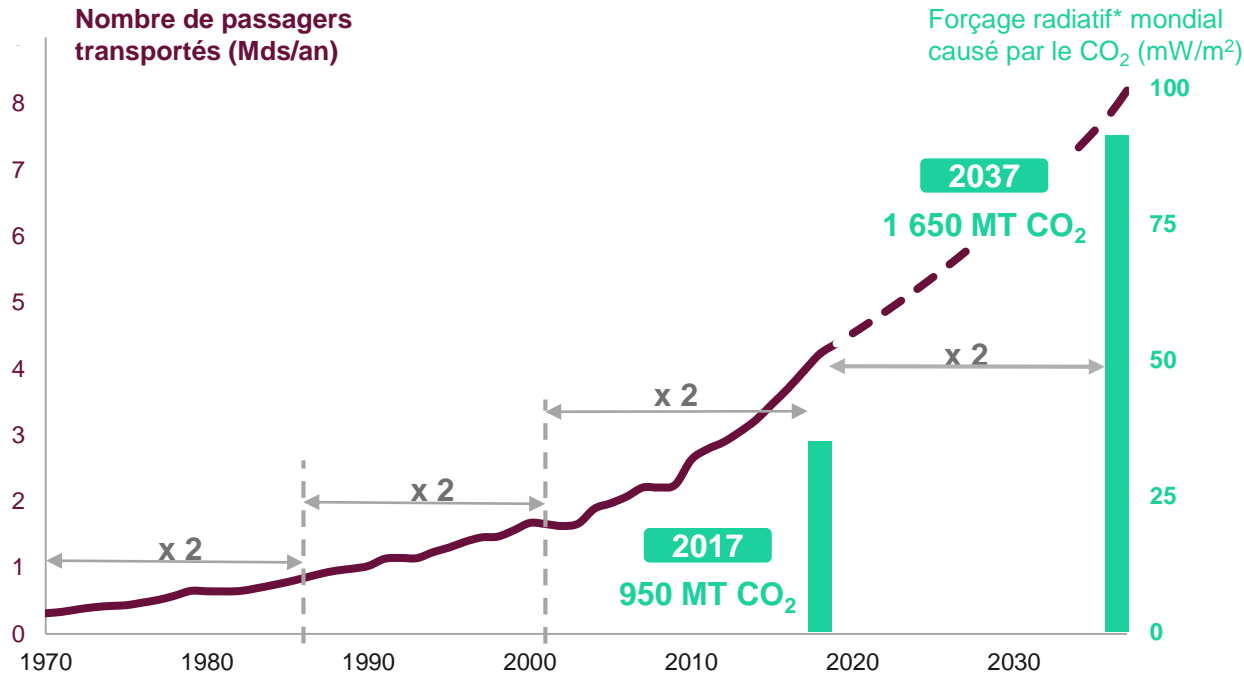
Mesures	Voiture	Maritime	Aviation
Réglementation	<ul style="list-style-type: none"> Normes européennes d'émissions de CO₂ : 59 gCO₂/km en 2030 Interdiction des voitures thermiques en 2040 en France, en projet en Europe 	<ul style="list-style-type: none"> Abaissement du taux maximal de soufre autorisé dans les carburants, de 3,5% à 0,5% depuis le 1^{er} Janvier 2020 Projet de réduction de la vitesse maximale 	<p>Système CORSIA pour compenser les émissions carbone (mais seuls 81 pays sur 197 y participent - au 1^{er} juillet 2019)</p>
Carburants alternatifs	<ul style="list-style-type: none"> Véhicules électriques (batterie ou PAC H₂) Véhicules gaz naturel, biocarburants 	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de GNL Projets de propulsion hydrogène 	<p>Quelques projets de R&D autour des avions électriques ou à hydrogène</p>
Ambitions de réduction de CO ₂	<p>37,5% d'émissions de CO₂ en moins pour les nouvelles voitures vendues en 2030 par rapport à 2021</p>	<p>Réduire d'au moins 50% les émissions mondiales de GES du transport maritime en 2050 par rapport à 2008</p>	<ul style="list-style-type: none"> Stabiliser les émissions de CO₂ au niveau de 2020 50% de réduction des émissions de CO₂ en 2050 par rapport au niveau de 2005

Le transport aérien est de plus en plus scruté par l'opinion publique car très intense en carbone en comparaison du train par exemple qui peut être une alternative moins carbonés pour les trajets courts. Comparé aux secteurs maritime et routier, peu de mesures concrètes ou ruptures technologiques de verdissement du secteur sont aujourd'hui visibles, ce qui tend à renforcer cette prise de conscience sociétale.

Les impératifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien

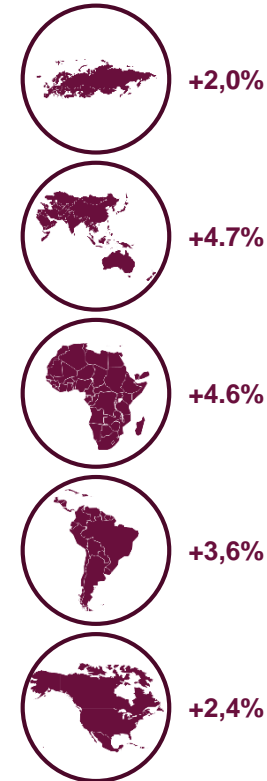
La croissance du trafic aérien nécessite d'intensifier les efforts à mener pour réduire l'empreinte carbone du secteur

Croissance du trafic aérien et impact sur le forçage radiatif mondial causé par le CO₂



Le **forçage radiatif*** est l'équilibre entre le rayonnement solaire entrant et les émissions de rayonnements infrarouges sortant de l'atmosphère.

Définition du GIEC



Croissance annuelle prévisionnelle du trafic aérien entre 2017 et 2037 par région géographique

Chiffres clés

x2 du trafic aérien mondial entre 2017 et 2037.

8,2 milliards de passagers/an en 2037.

20% du trafic mondial sera en Chine en 2037.

x2 de l'effet de serre d'ici 2050.

10% de l'effet de serre anthropique proviendra de l'aviation en 2037, contre 4% aujourd'hui.

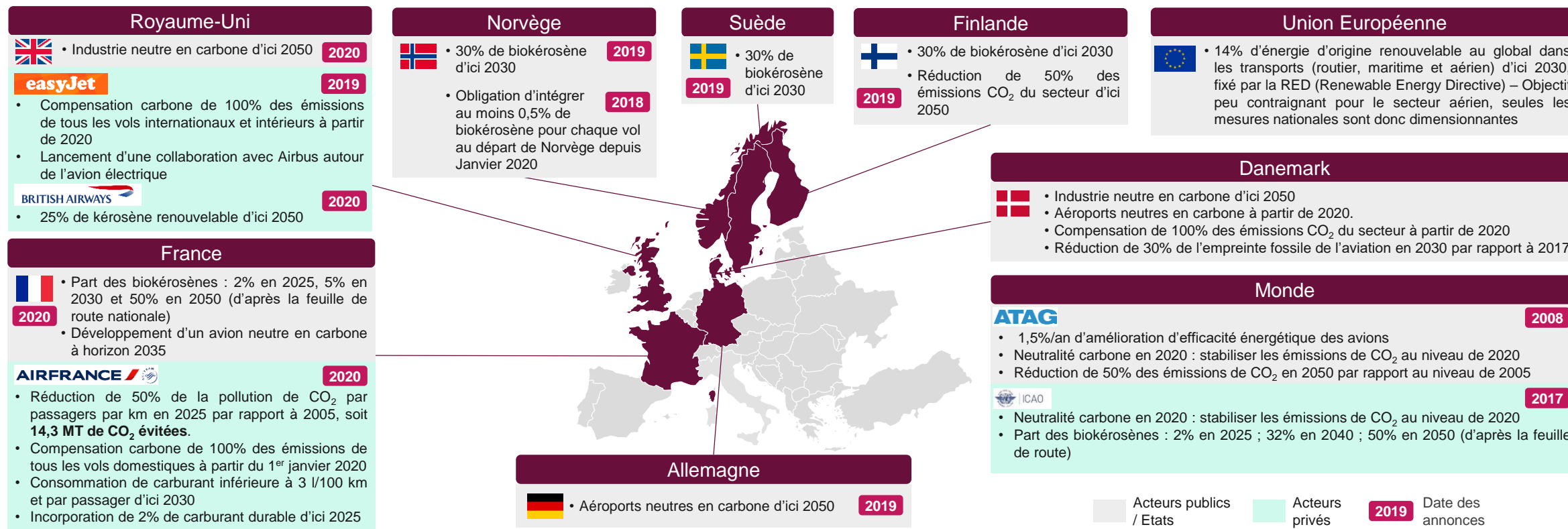
5% des émissions mondiales de CO₂ en 2037 seront dues au secteur aérien, contre 2% aujourd'hui.

Avec 2% des émissions mondiales de CO₂, l'avion est déjà une cause importante de l'effet de serre. La multiplication par deux du trafic aérien prévue à horizon 2037 devrait encore accentuer cette tendance. L'ensemble du secteur doit donc se mobiliser pour réduire son empreinte carbone par km parcouru, au-delà de la compensation carbone à laquelle ont déjà recours les compagnies aériennes, pour ne pas aggraver cette situation.

Les impératifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien

Dans le monde et en Europe, pays et compagnies aériennes fixent des objectifs chiffrés de réduction des émissions

Depuis fin 2017, les acteurs du secteur aérien multiplient les annonces et fixent des objectifs quantitatifs de réduction des émissions de CO₂, principalement à l'échelle nationale et européenne, parfois mondiale.










Depuis quelques années et sous l'impulsion de la prise de conscience grandissante de l'impact de l'aviation sur le climat, de plus en plus de pays ont fixé des objectifs chiffrés de réduction de l'empreinte carbone ou d'incorporation de biokérosènes plus ambitieux que de la France. Les compagnies se mobilisent également en compensant les émissions ou en fixant elles aussi des objectifs d'incorporation. Ces prises de position viennent renforcer de façon concrète les objectifs publiés il y a plus de dix ans par l'ATAG.

Les impératifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien

L'utilisation des biokérosènes fait partie des leviers envisagés pour réduire l'impact carbone du secteur

Différents leviers sont mobilisables pour permettre au secteur d'atteindre ses objectifs de réduction de l'impact carbone :

Leviers	Mesures	Objectifs	Freins
 Réglementaire Et Financier	<p>Interdiction ou limitation des vols court-courriers lorsque le train est compétitif en matière de temps de trajet (<i>mise en place avec Air France, post COVID-19</i>).</p> <p>Implantation du système CORSIA*, programme de compensation et de réduction carbone, (<i>obligatoire à partir de 2027</i>).</p> <p>Introduction de quota d'émission carbone et création d'un marché d'échange afin de valoriser le carbone.</p> <p>Taxe sur le kérosène.</p>	<p>Favoriser les solutions de transport bas carbone.</p> <p>Pénaliser financièrement les émissions de CO₂.</p> <p>Réduire les émissions de CO₂ et contribue à réduire l'écart de prix entre les biocarburants et les kérosènes fossiles.</p>	<p>Ne cible pas les longs courriers, responsables d'environ 2/3 des émissions de CO₂ de l'aviation.</p> <p>Pas d'obligation à court terme ; seuls 81 pays sur 197 participent (<i>au 1^{er} juillet 2019</i>).</p> <p>Crée un manque de compétitivité pour les entreprises concernées (si périmètre d'application non mondial).</p> <p>Les taxes ne sont pas discutées pour le moment</p>
 Sociétal	<p>Sensibilisation des usagers sur l'impact environnemental des voyages. Développement du « flygskam » (= honte de prendre l'avion, en suédois).</p>	<p>Favoriser les transports bas carbone sur les trajets pertinents.</p>	<p>Permet un gain assez faible, cible surtout les vols courts courriers, et les pays imprégnés d'une forte culture environnementale.</p>
 Technologique	<p>Amélioration de l'efficacité énergétique des moteurs et des avions</p> <p>Optimisation des plans de vols et amélioration des infrastructures d'aéroports</p> <p>Utilisation de propulsions alternatives</p> <ul style="list-style-type: none">  • Biokérosènes  • E-fuels (carburants synthétiques, Power-to-liquid, Power-to-gas)  • Electrique à batterie  • Electrique à pile à hydrogène 	<p>Réduire les émissions de CO₂ en vol</p> <ul style="list-style-type: none"> → 27% d'émissions de CO₂ évitées par vol⁽¹⁾ → 6,7% d'émissions de CO₂ évitées par vol⁽¹⁾ → 21% d'émissions de CO₂ évitées par vol⁽²⁾ <p><small>(1) D'ici à 2050 / (2) Si incorporation à 50%</small></p>	<p>Améliorations incrémentales qui ne permettent pas un gain significatif à court terme.</p> <p>Solution insuffisante à elle seule pour atteindre l'objectif de réduction de 50% des émissions de CO₂.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ En place depuis 2008, marché à dynamiser. ➤ En cours de déploiement, marché attendu pour 2025. ➤ Peu viable pour les vols longs courriers : 180 tonnes de batteries nécessaires soit 2,5x le poids de l'avion. ➤ Rupture technologique envisagée pour 2040, pour permettre d'électrifier massivement les vols commerciaux (cible du 1^{er} avion H₂ en France pour 2035).

En complément de la mise en place de systèmes incitatifs et parfois restrictifs, le recours aux avancées technologiques est nécessaire pour réduire l'empreinte carbone du secteur aérien. Seuls les propulsions de type carburants alternatifs, dont les biokérosènes, devraient permettre aux compagnies aériennes de répondre à leurs objectifs de croissance tout en baissant leurs émissions à court et moyen terme.

Les impératifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien

La crise aérienne provoquée par le COVID-19 peut-être décisive pour l'incorporation des biokérosènes

Les décisions de fermetures des frontières et les mesures de confinement prises par la France et les pays européens en particulier pourraient entraîner une baisse de 36% des passagers aériens français sur l'année 2020 et une perte de 12 milliards de dollars en 2020 pour les compagnies aériennes françaises*.

Le COVID-19 et ses conséquences sont de sérieux obstacles à l'incorporation des biokérosènes à court terme ...



Economie globale

Avec **la perte de 90% de leur chiffre d'affaire** sur les mois de mars et avril, les compagnies aériennes tentent de survivre à la crise. Une fois sorties de la crise, et dans un souci de conservation des emplois, les compagnies ne seront probablement pas en mesure d'investir à court terme, d'autant que le trafic aérien sera très fortement perturbé jusqu'à la réouverture des frontières.



Coût du kérosène

L'effondrement du cours du pétrole, provoqué par la guerre des prix entre pays de l'OPEP et accentué par la chute de la demande en raison du COVID-19, accentue à court terme l'écart de prix entre le kérosène et les biokérosènes.

... Mais pourraient constituer une opportunité de développement à moyen et long terme



Financement

Compte tenu de l'importance stratégique du secteur aérien pour un pays et des milliers d'emplois en jeu, les Etats interviendront très probablement via des prêts massifs ou des entrées aux actionnariats, comme l'a déjà fait la France pour Air France. **Le versement de ces aides sera selon les pays conditionné par des conditions de respect d'objectifs environnementaux** à moyen terme, en réponse aux demandes de nombreuses ONG et entreprises. Les biokérosènes, qui s'inscrivent dans une logique de production locale et de souveraineté stratégique et énergétique, s'inscriraient parfaitement dans ce cadre.



Société

La crise actuelle semble renforcer les prises de conscience sociétales. **La santé et le respect de l'environnement deviennent ainsi des préoccupations prédominantes chez le grand public**. Le secteur aérien devra donc rassurer les passagers sur la sécurité sanitaire et engager des actions en faveur de l'environnement. Dans ce contexte, et en l'absence d'alternative réaliste à moyen terme, les biokérosènes pourront s'imposer comme un incontournable de la reprise du secteur aérien.

La crise sanitaire due au COVID-19 constitue un événement critique sans précédent pour le secteur : la reprise de l'activité et le maintien à flot des entreprises sont des défis majeurs à relever pour les compagnies aériennes. Les biokérosènes doivent faire partie de la solution de réinvention du secteur face à la demande du public et des gouvernements.

Les impératifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien

Le plan français de relance post COVID-19 pour l'industrie aéronautique fixe un cap « vert » et soutient les biokérosènes

En réponse à la crise économique suite au COVID-19, le gouvernement français a dévoilé un plan de relance de 15 milliards d'euros pour l'industrie aéronautique. Si une grande partie de ces investissements permettra de soutenir les différentes entreprises et maintenir l'emploi et les compétences, une part non négligeable sera orientée vers la transition bas carbone du secteur, dont le déploiement des biokérosènes.

Industrie (8,132 milliards €)

Air France (7 milliards €)

Investissements / Soutien financier

- Fonds d'investissement d'1 milliard € pour répondre aux besoins de fonds propres des entreprises fragilisées par la crise.
- Fonds de digitalisation de 300 millions € pour soutenir les PME.
- 1,5 milliards € de prêts garantis par l'Etat
- 832 millions de commandes (armées, gendarmerie et sécurité civile).
- 3 milliards € de garantie à l'export
- **300 M€ en 2020, puis 600 M€ en 2021 et 2022, ainsi que 400 M€ de fonds européen seront investis dans la R&D et l'innovation, pour la transition écologique du secteur.**

- 3 milliards € de prêt direct par l'Etat
- 4 milliards € de prêt garanti à 90% par l'Etat

Engagements en faveur de la transition écologique

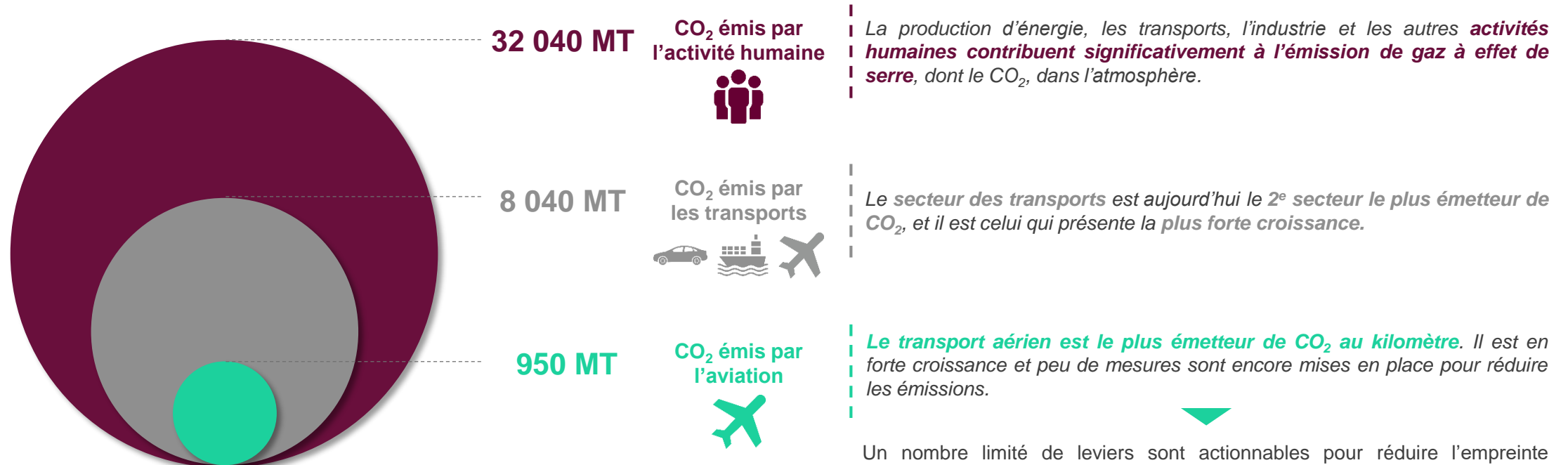
- Développement d'un nouveau système de gestion de vol permettant de **réduire de 10% la consommation de carburant** dès 2023.
- Lancer le successeur de l'Airbus A320 d'ici 2030, avec un objectif de **réduction de 30% de sa consommation de carburant**, et une **capacité de 100% de biokérosène**.
- Lancement d'un démonstrateur **d'avion à hydrogène** en 2026-2028.
- Lancement d'un nouvel **avion régional hybride** d'ici 2030.
- Lancement d'un **avion neutre en carbone** en 2035, soit 15 ans avant l'objectif initialement fixé (2050). Cet avion sera probablement alimenté en hydrogène.

- **Limitation voire suppression** des vols de moins de 2h30
- **Réduction de 50% des émissions de CO₂** d'ici 2030, au lieu de 2050 comme envisagé auparavant.
- **Incorporation de 2% de carburant durable** d'ici 2025, afin de s'aligner sur la feuille de route française de déploiement des biokérosènes.

Le plan de relance français vise à accélérer la transition écologique du secteur aérien avec l'objectif ambitieux de commercialiser un avion zéro carbone d'ici 2035. Si sur le long terme les technologies hydrogène seront probablement mobilisées, les biokérosènes s'imposent comme une solution transitoire vers un secteur aérien bas carbone et s'inscrivent pleinement dans le plan de relance français.

Les impératifs de réduction de l'empreinte carbone du secteur aérien

Les biokérosènes constituent une solution crédible à moyen terme



Chiffres pour l'année 2017, données de l'AIE

La production d'énergie, les transports, l'industrie et les autres **activités humaines contribuent significativement à l'émission de gaz à effet de serre**, dont le CO₂, dans l'atmosphère.

Le secteur des transports est aujourd'hui le 2^e secteur le plus émetteur de CO₂, et il est celui qui présente la **plus forte croissance**.

Le transport aérien est le plus émetteur de CO₂ au kilomètre. Il est en forte croissance et peu de mesures sont encore mises en place pour réduire les émissions.

Un nombre limité de leviers sont actionnables pour réduire l'empreinte carbone de l'aviation. Les évolutions technologiques et notamment **les propulsions alternatives s'avèrent efficaces pour réduire les émissions en vol**.

Les biocarburants constituent aujourd'hui la solution la plus crédible à moyen terme, puisque l'électrification de masse semble impossible avant 2035.

Face à la croissance du secteur aérien et avec les limites technologiques actuelles liées à l'utilisation d'autres propulsions alternatives, les biokérosènes sont une solution efficace et réaliste à moyen terme bien qu'il faille encore considérer certains défis*. Le recours massif à cette solution pourrait être accéléré par la relance post crise sanitaire.

2

—
Une filière des
biokérosènes
encore en
structuration



Une filière des biokérosènes encore en structuration

Avec moins d'un litre de biokérosène pour 1000 litres de carburants d'aviation, leur utilisation reste extrêmement faible

L'utilisation de biocarburants dans le secteur de l'aviation est pratiquement négligeable contrairement à son utilisation dans le secteur des transports routiers et à l'utilisation moyenne sur l'ensemble des transports.

• Répartition carburants classiques / biocarburants



Zoom sur les biocarburants
143 Mds litres en 2017

Part des biocarburants entre routier et aérien



La filière des biocarburants privilégie largement le transport routier en raison notamment de politiques d'obligations d'intégration de biocarburants.

• Répartition des carburants par moyen de transport



Zoom sur les kérosènes
340 Mds litres en 2017

Part des biocarburants dans les carburants d'aviation



Les biokérosènes sont très largement minoritaires par rapport aux kérosènes conventionnels.

Caractéristiques des biokérosènes

Les biokérosènes doivent répondre à un cahier des charges stricts, en particulier ils doivent :

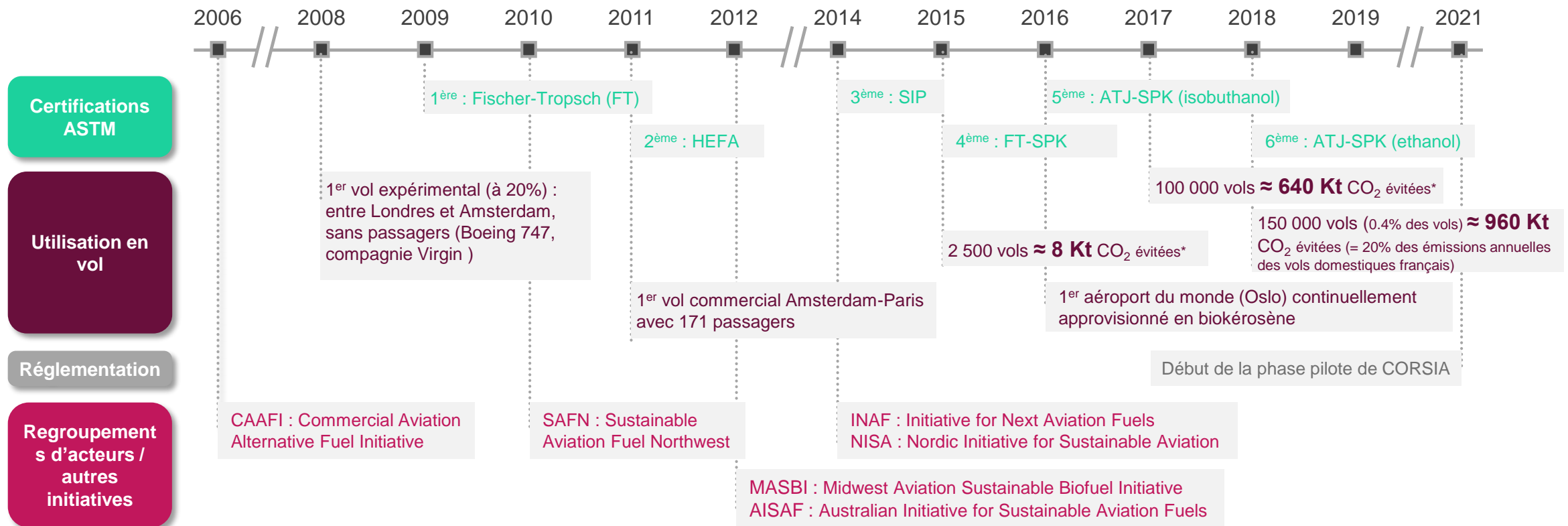
- Être adaptés aux équipements actuels de l'aviation (ayant une longue durée de vie), afin de pouvoir être utilisés à court et moyen terme.
- Être très proche en terme de composition à celle du kérosène, pour une performance énergétique similaire.
- Être certifiés par l'ASTM (*American Society for Testing Material, organisme de standardisation qui a publié plus de 12 000 normes*) pour la sécurité des vols.

Aujourd'hui les biocarburants sont quasiment exclusivement routiers et avec seulement 0,09% des carburants d'aviation, l'utilisation des biokérosènes est encore marginale et reste loin de l'objectif de 2% à horizon 2025 fixé par l'OACI

Une filière des biokérosènes encore en structuration

Malgré le développement technologique, l'utilisation des biokérosènes reste limitée par l'absence d'impulsion réglementaire

Depuis 2008, et sous l'impulsion d'initiatives des compagnies aériennes et de programme de développement, la filière des biocarburants pour l'aviation se développe via des certifications ASTM successives des procédés de production.

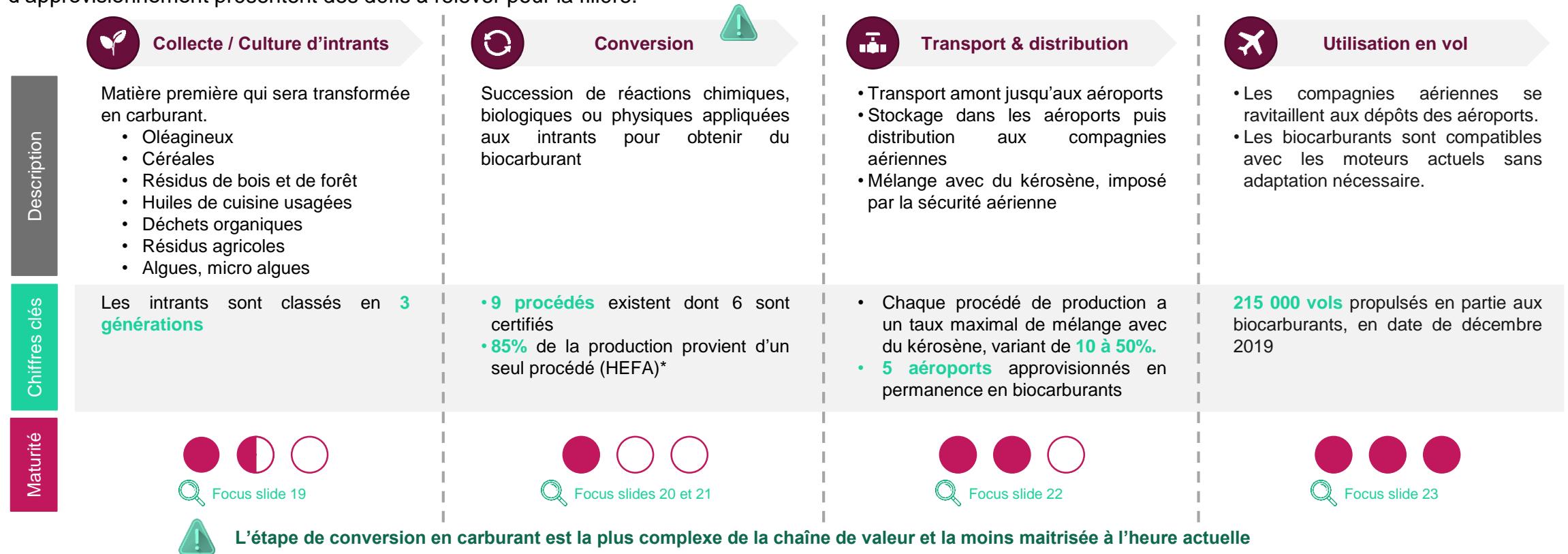


En date de 2018, 150 000 vols dans le monde avaient utilisé des biokérosènes, permettant d'éviter l'équivalent de 20% des émissions annuelles de CO₂ des vols domestiques français. Cependant, le manque de réglementation favorable à la filière freine encore la démocratisation de l'utilisation de biokérosènes en vol. Le début de la phase pilote de CORSIA doit être perçu comme ainsi un signal positif pour la filière.

Une filière des biokérosènes encore en structuration

Les étapes amont de la chaîne de valeur concentrent l'essentiel des efforts à produire pour développer la filière

Si la phase d'utilisation en vol est une étape maîtrisée de la chaîne de valeur, la disponibilité des intrants, la conversion en carburant et la logistique d'approvisionnement présentent des défis à relever pour la filière.

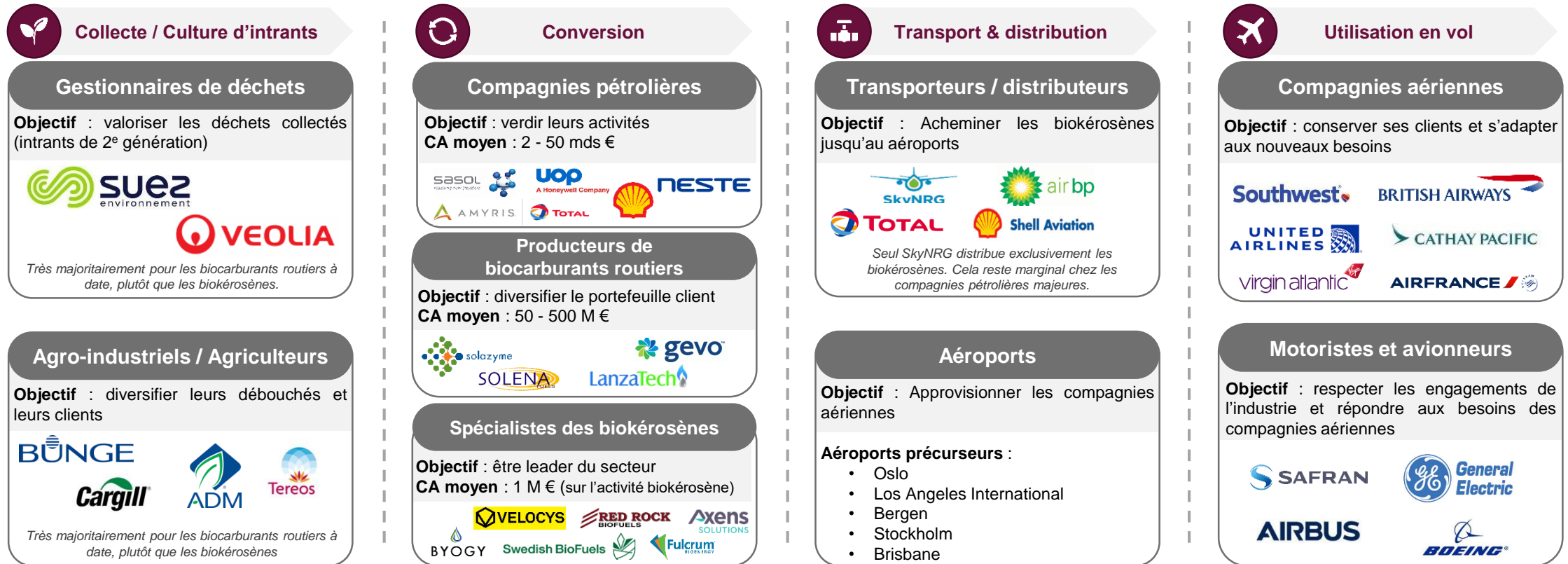


La filière peut s'appuyer sur la chaîne logistique existante de distribution des kérosènes, dont l'aval est en grande partie compatible avec les biokérosènes. La disponibilité des intrants est le sujet qui soulève le plus de questions auprès du public aujourd'hui. Des avancées technologiques seront nécessaires sur l'étape de conversion en carburant pour maîtriser davantage de procédés et faire basculer la filière vers une production de masse.

Une filière des biokérosènes encore en structuration

Des acteurs de tous horizons et de toutes tailles sont impliqués le long de la chaîne de valeur, ou ont un positionnement proche

La chaîne de valeur des biocarburants et depuis peu celle des biokérosènes* implique à la fois des grandes multinationales et des acteurs spécialisés ainsi que le concours des aéroports.



Des compagnies spécialisés cherchent à se positionner en leader du marché alors que des acteurs déjà en place sur le secteur des kérosènes ou des biocarburants se diversifient ou entreprennent des collaborations pour saisir des opportunités complémentaires. Du côté aval de la chaîne de valeur, quelques aéroports en Europe du Nord notamment ont réalisé les adaptations nécessaires à l'approvisionnement courant en biokérosènes.

Une filière des biokérosènes encore en structuration



Focus collecte : Les 2^{ème} et 3^{ème} génération d'intrants sont prometteuses pour la filière a moyen et long terme mais présentent des tailles de gisements plus limitées

Depuis la certification, en 2011, du procédé HEFA utilisant exclusivement les intrants de 1^{ère} génération, la filière a visé à améliorer l'impact écologique en développant de nouveaux procédés qui sont compatibles avec toutes les générations d'intrants.

Types d'intrants	1 ^{ère} génération : Cultures énergétiques dédiées	2 ^{ème} génération : Résidus de l'activité humaine	3 ^{ème} génération : Algues, microalgues
	<ul style="list-style-type: none"> • Oléagineux (colza, tournesol) • Betterave, canne à sucre • Céréales (blé, maïs) 	<ul style="list-style-type: none"> • Résidus de bois et de forêt • Résidus agricoles (tiges colza, paille ..) • Déchets organiques et huiles de cuisine 	<ul style="list-style-type: none"> • Culture d'algues en laboratoire dans des réacteurs
Taille gisement	● ● ●	● ● ○	● ○ ○ *
Respect de l'environnement	● ○ ○ Déforestation, concurrence terres arables	● ● ○ Valorisation de déchets, boucle locale	● ● ●
Maturité technologique	● ● ●	● ● ○	● ○ ○
Procédés associés	2 (dont 1 certifié)	5 (dont 4 certifiés)	3 (dont 1 certifié)
Attractivité économique	● ● ○	● ● ●	● ○ ○
Bilan	L'impact environnemental de la culture des intrants semble trop négatif à l'heure actuelle	Le gisement est insuffisant pour l'instant à cause du manque de collecte dans la plupart des pays	Les coûts de culture des algues sont encore trop élevés pour permettre une production de masse.

Si la 1^{ère} génération d'intrants est largement décriée en raison de son impact environnemental, les 2^{ème} et 3^{ème} générations plus prometteuses manquent encore respectivement d'intrants en quantité suffisante et de maîtrise technologique pour dominer la production de biokérosènes.

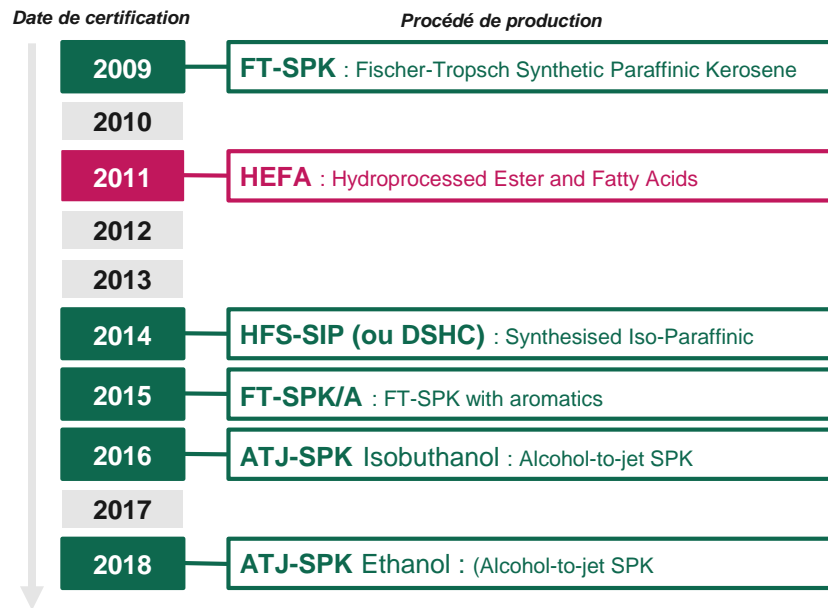
Une filière des biokérosènes encore en structuration



Focus conversion : Le développement des procédés valorisant les intrants de 2G et 3G est essentiel pour le succès des biokérosènes

Afin de pouvoir être utilisés sur un vol commercial, les biokérosènes doivent être produits à partir d'un procédé certifié par l'ASTM. En 2019, 6 procédés sont certifiés alors que 3 autres sont en phase de test.

Les récents procédés de production certifiés par l'ASTM privilégient les intrants de 2^{ème} génération...




Légende Génération des intrants majoritairement utilisés pour chaque procédé : ■ 1^{ère} génération ■ 2^{ème} génération ■ 3^{ème} génération

... alors que le secteur s'oriente vers la 3^{ème} génération pour les années à venir

3 procédés sont actuellement en phase de test en vue d'une certification :

- HDCJ : Hydrotreated Depolymerized Cellulosic Jet
- ATJ-SKA : Alcohol-to-Jet Synthetic Kerosene with Aromatics
- HFP-HEFA (ou HEFA+) High Freeze Point HEFA

 **Depuis la création de la filière, la 1^{ère} génération représente 85% des volumes**

Les biokérosènes de 1^{ère} génération sont largement dominant sur le marché en raison de la plus grande maturité des technologies et de la richesse des gisements d'intrants.

Répartition des volumes de biokérosènes par génération d'intrants

85%	15%
-----	-----

En raison d'une plus large disponibilité des intrants, les procédés de 1^{ère} génération sont prépondérants dans la production actuelle. Mais, pour améliorer l'impact environnemental et la problématique d'utilisation d'intrants agricoles, l'industrie accélère le développement des 2^{ème} et 3^{ème} génération.

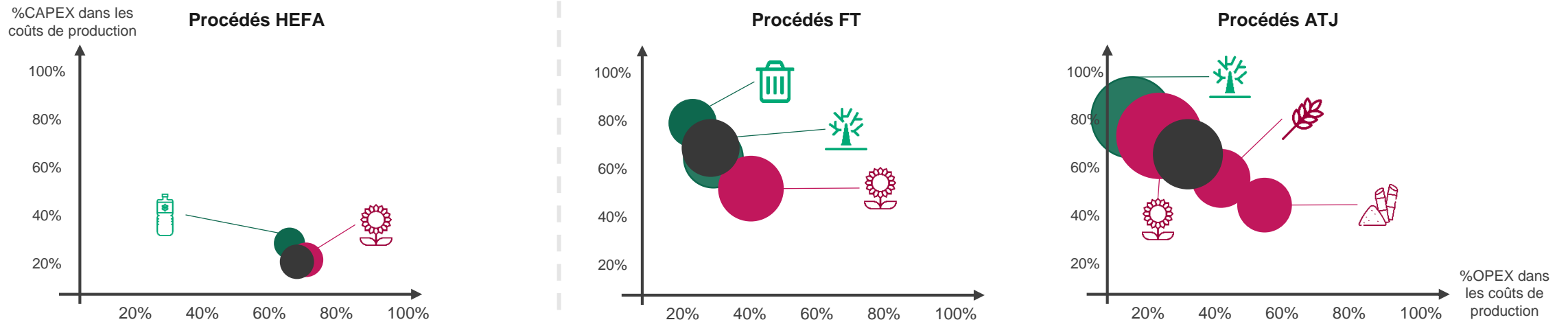
Une filière des biokérosènes encore en structuration



Focus conversion : Les biokérosènes souffrent d'un manque de compétitivité économique par rapport au kérosène conventionnel

Les coûts de production des biokérosènes dépendent directement du type d'intrants et du procédé. La répartition des coûts de production suivant les CAPEX et OPEX (opérations + coûts d'achat des intrants) est spécifique à chaque procédé.

Les coûts indiqués comprennent les CAPEX (installation, achat des équipements, planification) et les OPEX (achat des matières premières, autres coûts d'opération) associés à la production des biokérosènes (sur la base d'une utilisation des usines de 20 ans avec les moyennes de production habituelles).



- Biokérosènes **les moins chers**, mais 2 fois plus chers que le kérosène.
- **Peu propices aux économies d'échelle** : le coût des intrants représente 57% du coût de production en moyenne.

- Biokérosènes **3 à 5 fois plus** cher que le kérosène en fonction du type d'intrant.
- Requièrent d'importants CAPEX : 2/3 des coûts de production, laissant entrevoir des **économies d'échelle possibles** avec l'augmentation de la quantité de production.

Légende		Intrant 1 ^{ère} génération		
● Prix moyen du procédé	Ratio coût de production / prix du kérosène	Soja, palme, tournesol	Sucre	Céréales (blé, maïs ..)
○	5,5	Déchets ménagers	Déchets agricoles	Huile de cuisine
○	3,5	Les données économiques ne sont pas disponibles pour les carburants de 3 ^{ème} génération, encore au stade expérimental.		
○	1			

Les biokérosènes sont actuellement entre 2 et 5,5 fois plus chers que le kérosène notamment à cause d'absence d'économie d'échelle sur les moyens de production. Des politiques de soutien sont nécessaires pour améliorer leur attractivité économique auprès des compagnies aériennes et lancer une filière de production à grande échelle.

Une filière des biokérosènes encore en structuration





















Focus transport & distribution : Performante, la chaîne logistique existante est en mesure de s'adapter aux spécificités des biokérosènes




La distribution des carburants d'aviation se décompose en une partie amont jusqu'aux aéroports et une logistique intra-aéroport.

Une distribution centralisée vers les aéroports

- Les compagnies aériennes négocient des **contrats d'approvisionnement** (1 à 2 ans) avec les distributeurs, qui assurent ensuite le transport depuis les raffineries de production jusqu'aux dépôts de carburants des aéroports.
- La distribution de kérosène est plus centralisée que celle des carburants routiers : **180 aéroports génèrent 90% du trafic aérien mondial** alors que l'on recense 180 000 stations services en Europe et aux USA seulement.

Les principaux distributeurs de carburant d'aviation

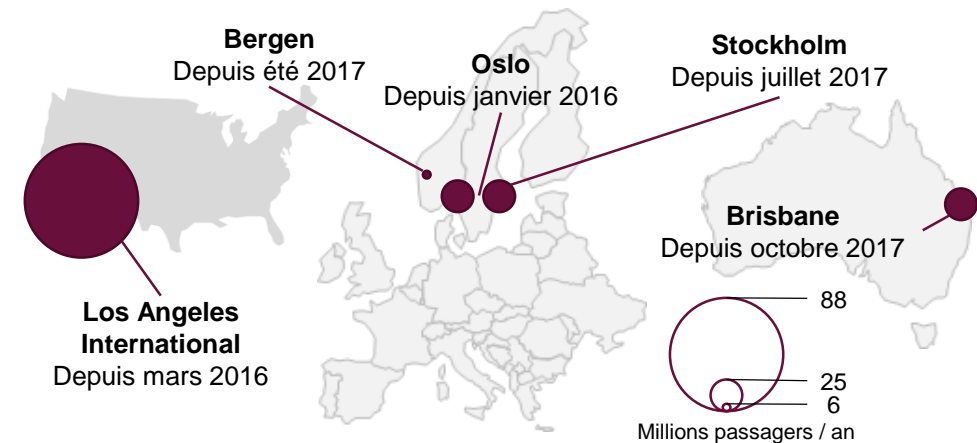
	72 M L/jour			43 M L/jour	
	66 M L/jour			32 M L/jour	
	64 M L/jour			12 M L/jour	
	60 M L/jour			0,25 M L/jour	
	57 M L/jour				

 Distributeur de biokérosène uniquement
 Distributeur de kérosène fossile uniquement
 Distributeur de kérosène fossile et bio

Des adaptations nécessaires dans les aéroports

- Les mesures de sécurité aérienne imposent des conditions de stockage et de distribution **spécifiques et exigeantes** qui font l'objet de contrôle.
- La gestion de 2 flux de carburants différents dans les aéroports est plus complexe : les aéroports doivent assurer la **traçabilité des carburants**.
- Un flux de biokérosène nécessite des **infrastructures de mélange** avec le kérosène.

5 aéroports sont approvisionnés en permanence en biocarburants



La filière peut s'appuyer sur une chaîne logistique existante et performante, dont le principal maillon, les aéroports, nécessite seulement quelques adaptations spécifiques à l'approvisionnement en biokérosènes.

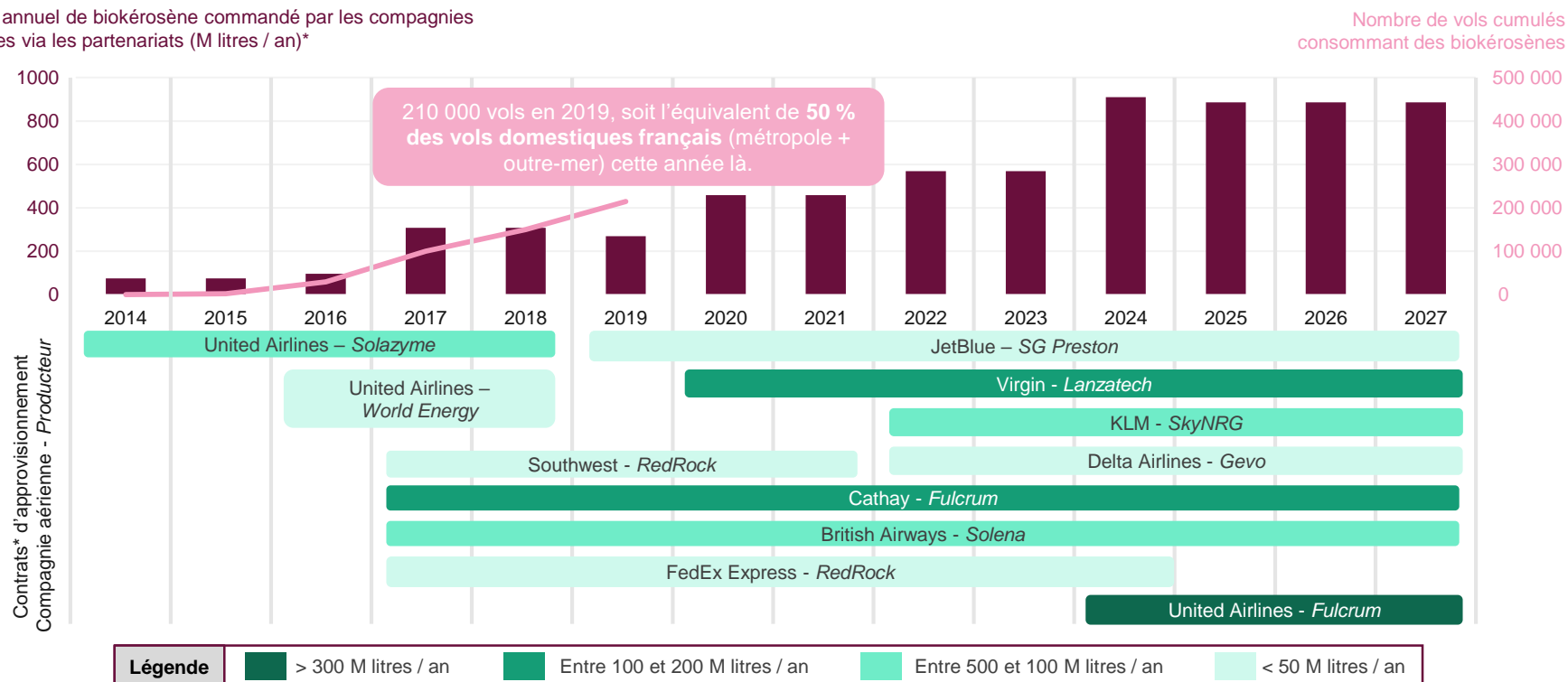
Une filière des biokérosènes encore en structuration



Focus utilisation en vol : Un marché en expansion via des partenariats entre producteurs et compagnies aériennes

A l'image des PPA dans l'énergie, les contrats d'approvisionnement garantissent aux producteurs des revenus à moyen terme pour financer leurs moyens de production tandis que les compagnies aériennes s'assurent des approvisionnements pérennes, réduisent leur empreinte carbone et améliorent leur image.

Volume annuel de biokérosène commandé par les compagnies aériennes via les partenariats (M litres / an)*



Chiffres clés

6 milliards de litres de biokérosènes font l'objet de contrats sur les 10 prochaines années.

En 2017, les volumes annuels ont été multipliés par **9**.

300 millions de litres ont été livrés en 2017, soit autant que sur les 10 années précédentes cumulées (depuis le 1^{er} vol expérimental en 2008).

Au total, environ **12** contrats ont été signés par les acteurs du secteur. Certains ne dévoilent pas les volumes traités.

L'ensemble des volumes actuels étant commandé par l'intermédiaire de partenariats entre compagnies aériennes et producteurs, ceux-ci sont le seul levier de développement de la filière et pourraient faire basculer le marché dans la production de gros volumes. A cette date, 850 millions de litres ont été commandés pour l'année 2027 ce qui ne représente néanmoins que 0,25% de la consommation annuelle de l'aviation mondiale.

Une filière des biokérosènes encore en structuration

Le développement de la filière est conditionné à des évolutions économiques, technologiques et structurelles



La filière, pénalisée par un **manque de compétitivité économique et de réglementation incitative**, pourrait accroître son développement grâce à la mise en place du programme CORSIA.



Les **2^e et 3^e générations de biokérosènes** semblent ouvrir la voie vers une production à **impact environnemental réduit**. La **quantité d'intrants disponible** pourrait cependant être une limite à la libération leur potentiel.



Elle est aujourd'hui structurée autour de nombreux **acteurs issus des milieux aérien, routier, agricole, propreté ou spécialisés dans les biokérosènes**. Les compagnies aériennes passent leurs commandes auprès des producteurs via des **contrats d'approvisionnement**.



Les **maillons amont de la chaîne de valeur** (collecte des intrants et production des biokérosènes) **nécessitent des efforts conséquents** pour développer la filière et des adaptations devront être réalisées dans les aéroports.

Afin d'estimer l'intérêt et la faisabilité de l'incorporation de biokérosènes jusqu'à 50% dans le carburant aérien, nous réalisons dans la suite une étude de cas en France prenant en compte différents paramètres : types de biokérosènes, taux d'incorporation, année d'étude, hypothèses économiques. |

3

Etude de cas et recommandations



Etude de cas et recommandations

Via trois critères importants, l'étude de cas vise à évaluer la feuille de route française des biokérosènes

Le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire a élaboré une feuille de route pour la filière et a fixé des objectifs d'incorporation de biokérosènes. L'objectif de cette étude de cas est d'estimer les gains carbone, les gisements d'intrants nécessaires et les coûts associés à cette feuille de route.

Identification de 3 critères pour évaluer l'apport de l'utilisation des biokérosènes



Intérêt environnemental



Disponibilité d'intrant



Impact économique

Principales hypothèses de calcul

Trajet

Vols intérieurs français

Trafic annuel : 158,8 millions de passagers par 100 km (source : DGAC 2018)

Consommation moyenne : 3,76 l/100km par passager (source : Air France)

Trajet Paris – Marseille

Distance : 732 km (source : Air France)

Technologies

Deux types de biokérosènes, tous les deux de 2^{ème} génération, sont étudiés :

1 Procédé : HEFA
Intrants : Huiles usagées

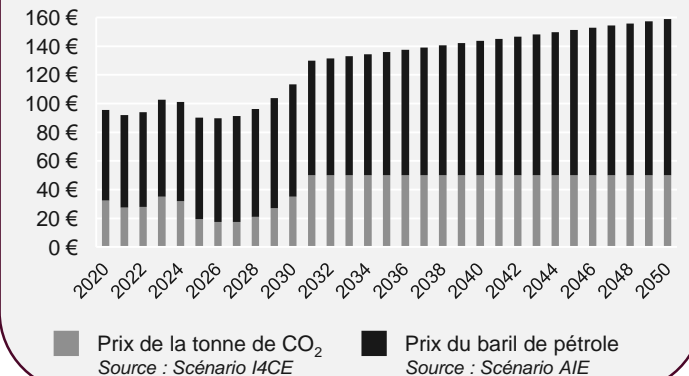
*Procédé le plus utilisé et le moins cher
Procédé mature donc des données chiffrées sont disponibles*

2 Procédé : FT-SPK
Intrants : Déchets organiques municipaux

*Intrant le plus intéressant sur le plan environnemental
Données chiffrées disponibles*

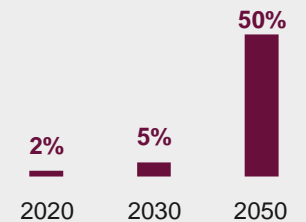
Macroéconomie

Pas de taxes sur les Kérosènes considérée



Feuille de route

Objectifs d'incorporation des biokérosènes en France



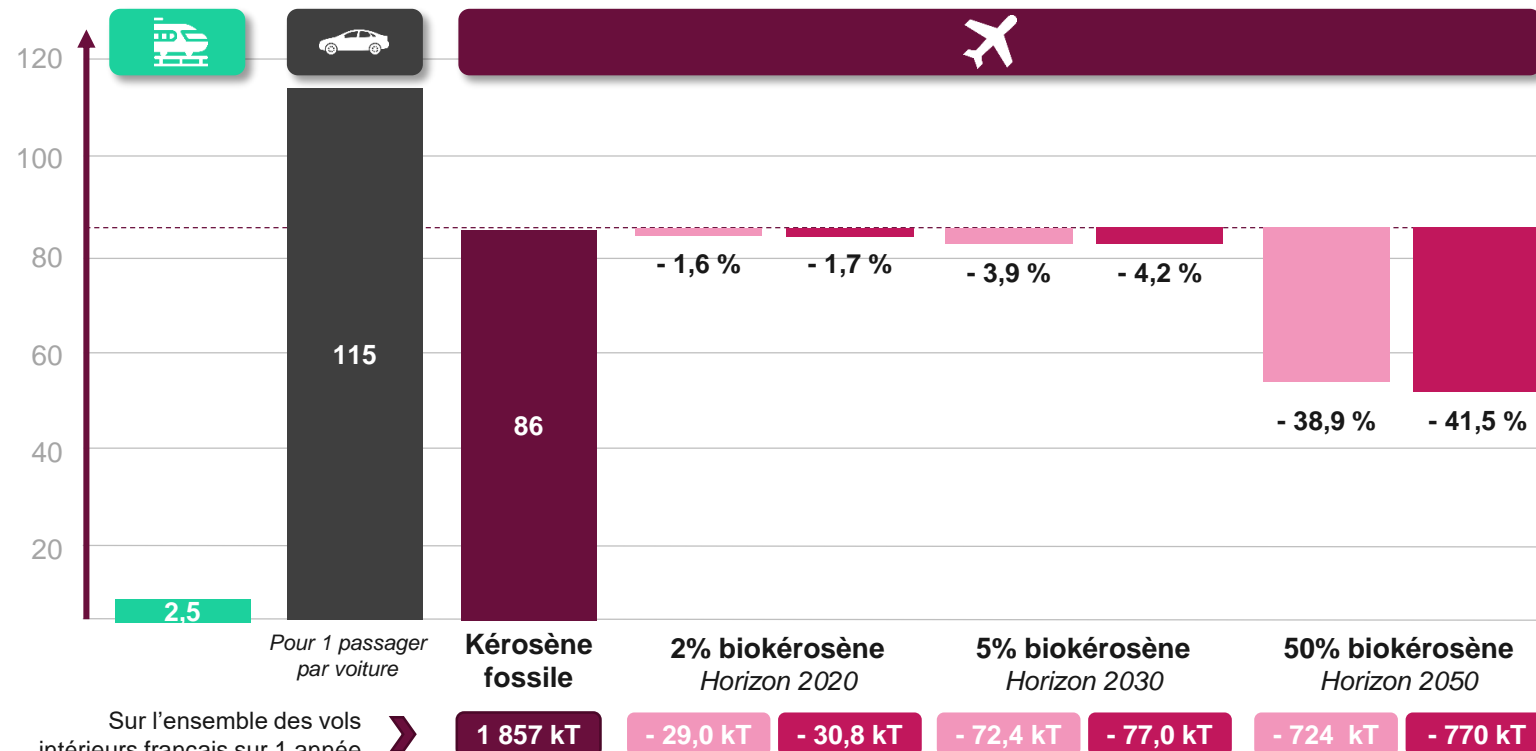
L'étude se concentre sur les vols intérieurs français et le cas d'un trajet Paris-Marseille autour de deux biokérosènes produits à partir d'intrants de 2^{ème} génération, avec des prévisions d'évolution du prix de baril de pétrole et de la tonne de CO₂ jusqu'en 2050.

Etude de cas et recommandations



Focus intérêt environnemental : Utilisés en grande quantité, les biokérosènes permettent un gain de carbone significatif

Emissions de CO₂ (kg) sur le trajet Paris – Marseille pour 1 passager



Repères clés

Avec l'incorporation de 50% de biokérosène 2 :

- en moyenne un français économiserait **140 kg** de CO₂ par an sur ses trajets en avion.

- La quantité de CO₂ économisée sur un trajet Paris Marseille correspond à **2,5 fois** les émissions de CO₂ journalières d'un français.

- Un trajet Paris Marseille en avion devient **20 fois** plus émetteur de CO₂ qu'en train au lieu de 34 fois.

Légende

- Biokérosène 1 : HEFA + huiles usagées
- Biokérosène 2 : FT-SPK + déchets organiques municipaux

Soit environ 1 journée d'émissions de CO₂ en France métropolitaine

Si une incorporation de 2 ou 5% ne présente pas d'intérêt environnemental majeur, l'incorporation à 50% de biokérosène issue du procédé FT-SPK (*biokérosène 2*), en revanche, permet de réduire de plus de 40% les émissions de CO₂ sur un vol Paris – Marseille. Ramené à l'ensemble des vols intérieurs en France sur une année, cela correspond aux émissions de CO₂ en une journée en France métropolitaine par l'ensemble des secteurs.

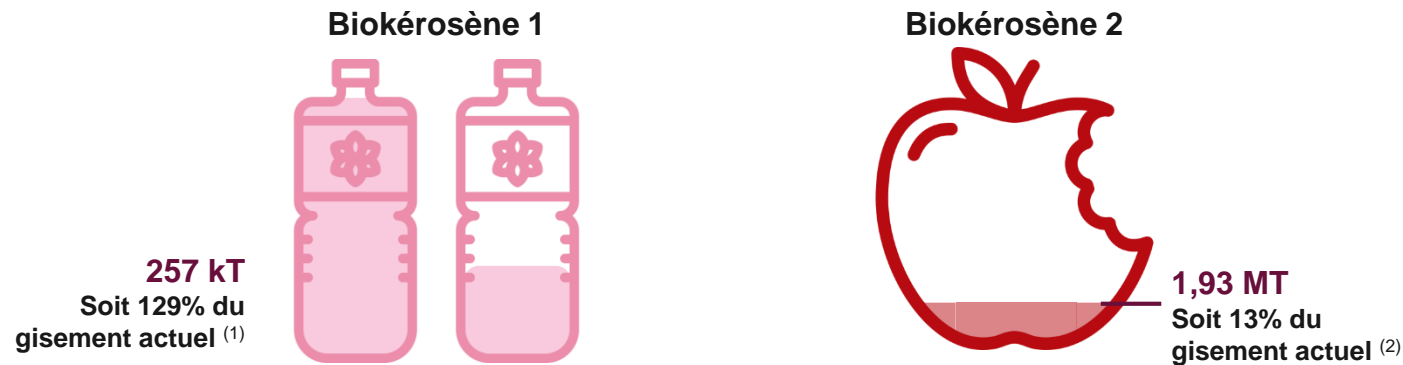
Etude de cas et recommandations



Focus disponibilité d'intrants : Les gisements actuels d'intrants peuvent être un paramètre limitant pour la feuille de route française

Pour que les biokérosènes apportent un gain CO₂ significatif, un taux d'intégration de 50% est nécessaire. Or, une telle production de biokérosène requiert d'importantes quantités d'intrants*.

Pour passer à un taux d'incorporation de 50%, les gisements français d'intrants actuels ne seraient pas forcément suffisants pour alimenter les vols intérieurs français...



... Et ils seraient probablement très insuffisants pour alimenter l'ensemble des vols au départ de la France

- Les vols français étudiés ici ne représentent que **15%** des vols au départ de la France.
- Les intrants étudiés ont **d'autres utilisations possibles** (biocarburants routiers, production de lubrifiants et fabrication de combustibles de substitution pour les huiles, production de biogaz ou biométhane et le compostage pour les déchets organiques ...) qui sont soutenues par des mécanismes financiers.
- Les gisements actuels sont des gisements potentiels bruts. La collecte séparée de ces déchets est un enjeu important, en particulier pour les déchets organiques, pour s'assurer de la disponibilité de ces gisements.

Repères clés

200 000 tonnes ⁽¹⁾ d'huiles usagées ont été générées en 2019, en France (Source : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire).

15 MT ⁽²⁾ de déchets organiques municipaux** sont générées chaque année en France (Analyse Sia Partners d'après ADEME et La Tribune).

Le gisement actuel d'huiles usagées ne permet pas d'atteindre 50% de biokérosène de ce type sur l'ensemble des vols intérieurs français. Une combinaison de plusieurs types de biokérosènes sera donc nécessaire pour atteindre l'objectif de la feuille de route.

*Pour le calcul des gisements, Sia Partners se base sur le nombre de vols intérieurs français réalisés en 2019 (sans tenir compte des suppressions de vols envisagées par Air France pour la relance post COVID-19.

**Les déchets municipaux sont les déchets collectés par les municipalités et donc issus des ménages, des commerces, des services publics et petites industries (hors grosses industries).

Etude de cas et recommandations

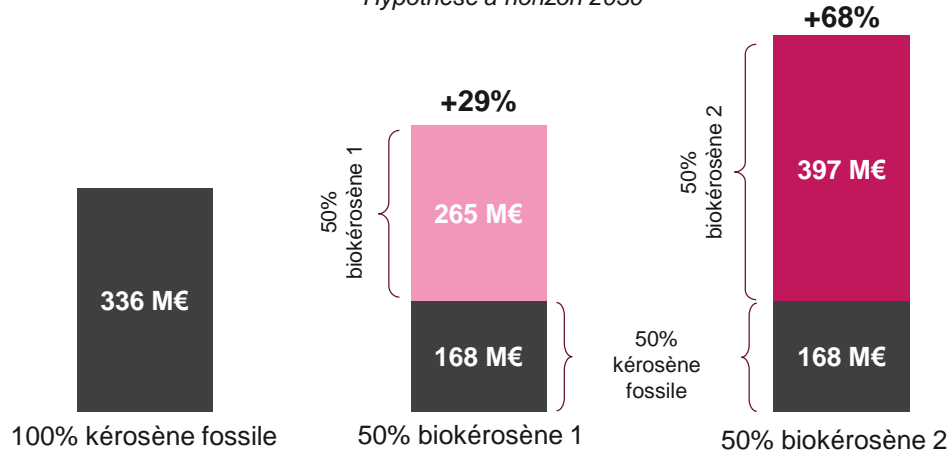


Focus impact économique : plus coûteux, les biokérosènes engendrent un surcoût pour les compagnies aériennes, transférable aux usagers

Le surcoût d'une incorporation de 50% de biokérosènes serait très difficile à assumer pour les compagnies aériennes seules ...

Budget carburant de l'ensemble des vols intérieurs français

Hypothèse à horizon 2030



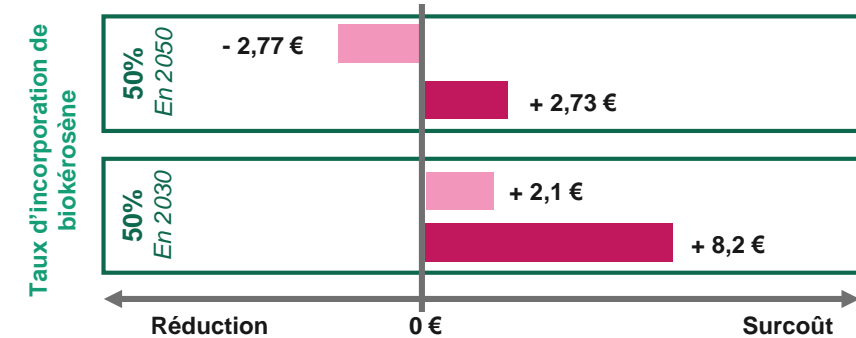
En 2019, le groupe Air France – KLM a généré un résultat net de 290 M€.

L'incorporation de 50% de biokérosènes induit un important surcoût pour l'ensemble des compagnies aériennes sur un marché déjà ultra concurrentiel. *Ce surcoût sera encore largement accentué par la chute du cours du pétrole suite à la crise du COVID-19.*

... Mais la répercussion économique sur le prix d'un billet serait relativement acceptable pour les voyageurs

Répercussion sur le prix d'un billet (vol Paris – Marseille)

Scenario feuille de route : 50% en 2050 / Scenario Sia Partners : 50% en 2030



D'après les prévisions, le prix de la tonne de carbone et du kérosène seront beaucoup plus élevés en 2050 qu'en 2030, ce qui rend les biokérosènes moins compétitifs en 2030 qu'en 2050. Le prix élevé du carbone en 2050 permet même un gain économique en cas d'utilisation du biokérosène 1.



En moyenne, le prix d'un billet d'avion Paris – Marseille est de 120 €.

Si le coût des biokérosènes est répercuté sur le prix du billet, cela engendrerait un surcoût d'au maximum 2,3% pour le voyageur sur un vol Paris – Marseille dans le scénario de la feuille de route.

Légende

■ Kérosène fossile

■ Biokérosène 1 : HEFA + huiles usagées

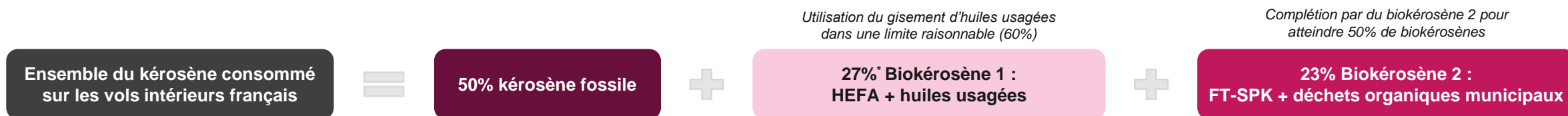
■ Biokérosène 2 : FT-SPK + déchets organiques municipaux

Le surcoût d'intégration des biokérosènes, si difficilement soutenable par les compagnies aériennes, pourrait être répercuté directement sur le prix du billet des passagers en restant acceptable, même avec un taux de 50% d'incorporation. Les arbitrages dépendront également d'éventuelles politiques de soutien complémentaires à la filière.


Etude de cas et recommandations

50% de biokérosène en 2030 : un scénario ambitieux mais réalisable et cohérent avec le plan de relance français post COVID-19

Afin d'atteindre l'objectif de 50% de biokérosène sur l'ensemble des vols intérieurs français, tout en étant compatible avec des gisements d'intrants disponibles réalistes et en limitant au maximum les coûts, Sia Partners recommande d'utiliser la combinaison de différents types de biokérosènes suivante :



Les **conséquences** et **gains** de cette solution sont les suivants :

	 Intérêt environnemental	 Disponibilité d'intrant	 Impact économique
Chiffres clés	745 kT de CO ₂ évitées soit une baisse de 40% des émissions	140 kT d'huiles usagées soit 60% du gisement brut 880 kT de déchets organiques municipaux soit 6% du gisement brut	125 millions d'euros de surcoût pour les compagnies sur l'ensemble des vols intérieurs français Ou 5 € de surcoût moyen par billet (estimation Sia Partners)
Commentaires	La quantité de CO ₂ évitée correspond environ : <ul style="list-style-type: none">• aux émissions journalières en France métropolitaine• aux émissions annuelles de 150 000 français• à la moitié des émissions hebdomadaires du secteur industriel français	Une telle demande en biokérosène peut être couverte par les gisements actuels d'intrants sans compromettre les autres utilisations.	La mesure serait coûteuse mais elle peut être répercutée sur le prix des billets et elle comporte plusieurs avantages économiques : <ul style="list-style-type: none">• Création d'emplois locaux• Meilleure souveraineté énergétique• Stabilité des prix

Un scénario d'incorporation de 50% de biokérosène à horizon 2030 sur l'ensemble des vols intérieurs français permettrait de réduire de 40% les émissions de CO₂ pour un surcoût moyen estimé à 5€ par billet et par passager, à condition de mettre en place des mesures de soutien pour permettre les importants investissements en amont.

Etude basée sur les prix du kérosène pré-COVID-19 et qui ne tient pas compte d'éventuelles suppressions des vols d'une durée de moins de 2h30 (comme annoncé dans le plan de relance du secteur).

Sources : le coût de production des biokérosènes est basé sur une étude de l'Internal Council on Clean Transportation + extrapolation de Sia Partners qui inclut la prise en compte d'économies d'échelle

Etude de cas et recommandations

Le scénario de Sia Partners s'inscrit pleinement dans le plan de relance français du secteur aéronautique, avec un gain environnemental significatif à moyen terme

L'étude de cas basée sur les hypothèses de la feuille de route française permet tirer des conclusions et des enseignements pour le développement de la filière :



Pluralité des intrants : Plusieurs types de biokérosènes associés à différents intrants doivent être combinés pour satisfaire la demande. La suppression de certains vols intérieurs permettrait de réduire ces quantités d'intrants nécessaires. Les gisements bruts des intrants sont également sollicités pour d'autres usages, tels que les transports routiers, qui disposent pourtant de solutions alternatives plus efficaces pour réduire leur empreinte carbone.



Taux d'incorporation minimum : Le gain environnemental n'est significatif qu'à partir d'un taux d'incorporation de biokérosènes de 50%. La feuille de route française annoncée en début d'année ne permet donc pas de réel gain environnemental à moyen terme (horizon 2030). Cependant, l'objectif annoncé dans le plan de relance post COVID-19 d'un avion neutre en carbone d'ici 2035 doit se concrétiser par un important soutien à la filière et un gain écologique.



Investissements : Les objectifs d'intégration massive des biokérosènes nécessitent un déploiement de nouvelles unités* de production à fort CAPEX. Pour assurer la concrétisation de ces investissements, des signaux forts doivent être envoyés aux investisseurs pour les rassurer sur le potentiel du marché (inscription dans la loi de ces objectifs, subventions de la différence de prix entre kérosène et biokérosène, « premium vert » sur les billets .. etc ..)



Volonté politique : Une volonté politique est requise pour faire adopter des mesures financières et réglementaires favorisant la généralisation des biokérosènes. Par ailleurs, il conviendra de mettre en place une stratégie sur l'utilisation des gisements bruts afin de prioriser et privilégier les biokérosènes parmi les débouchés au dépend d'autres usages tels que les biocarburants routiers (auxquels les pouvoirs publics peuvent mobiliser d'autres solutions alternatives).

Afin de réduire l'empreinte carbone du secteur aérien à moyen terme de manière absolue et non relative (sans l'utilisation de mécanismes de compensation), Sia Partners recommande la mise en place d'un scénario ambitieux à horizon 2030, cohérent avec les objectifs du plan de relance français post COVID-19. L'objectif fixé par le gouvernement de développer un avion neutre en carbone, grâce à l'hydrogène, en 2035, démontre l'intérêt de dynamiser la filière des biokérosènes comme une solution transitoire avant 2035.

Contacts



Charlotte DE LORGERIL

Partner

Mail : charlotte.delorgeril@sia-partners.com

Tel : +33 6 24 73 18 34

 @cdelorgeril



Benoît MAHE

Manager

Mail : benoit.mahe@sia-partners.com



Caroline LE GALL

Supervising Senior Consultant

Mail : caroline.legall@sia-partners.com



Jean-Sébastien TURC

Consultant

Mail : jean-sebastien.turc@sia-partners.com



Découvrez toutes nos études EnergyLab sur le site dédié !

www.energylab.sia-partners.com

Suivez-nous :

<http://www.energie.sia-partners.com/>

 @SiaEnergie



Sia Partners is a next generation consulting firm focused on delivering superior value and tangible results to its clients as they navigate the digital revolution. With over 1,650 consultants in 16 countries, we will generate an annual turnover of USD 300 million for the current fiscal year. Our global footprint and our expertise in more than 30 sectors and services allow us to enhance our clients' businesses worldwide. We guide their projects and initiatives in strategy, business transformation, IT & digital strategy, and Data Science. As the pioneer of Consulting 4.0, we develop consulting bots and integrate AI in our solutions.

Follow us on [LinkedIn](#) and [Twitter @SiaPartners](#)

For more information, visit:

www.sia-partners.com

*Sia Partners Panama, a Sia Partners member firm

A black and white photograph showing a low-angle view of several tall skyscrapers reaching towards a bright sky with some clouds. The perspective is from the ground looking up, creating a sense of height and scale.

Abu Dhabi
Amsterdam
Baltimore
Brussels
Casablanca
Charlotte
Chicago
Denver
Doha
Dubai
Frankfurt
Greater Bay Area
Hamburg
Hong Kong
Houston
London
Luxembourg
Lyon
Milan
Montreal
New York
Panama City*
Paris
Riyadh
Rome
Seattle
Singapore
Tokyo
Toronto