



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

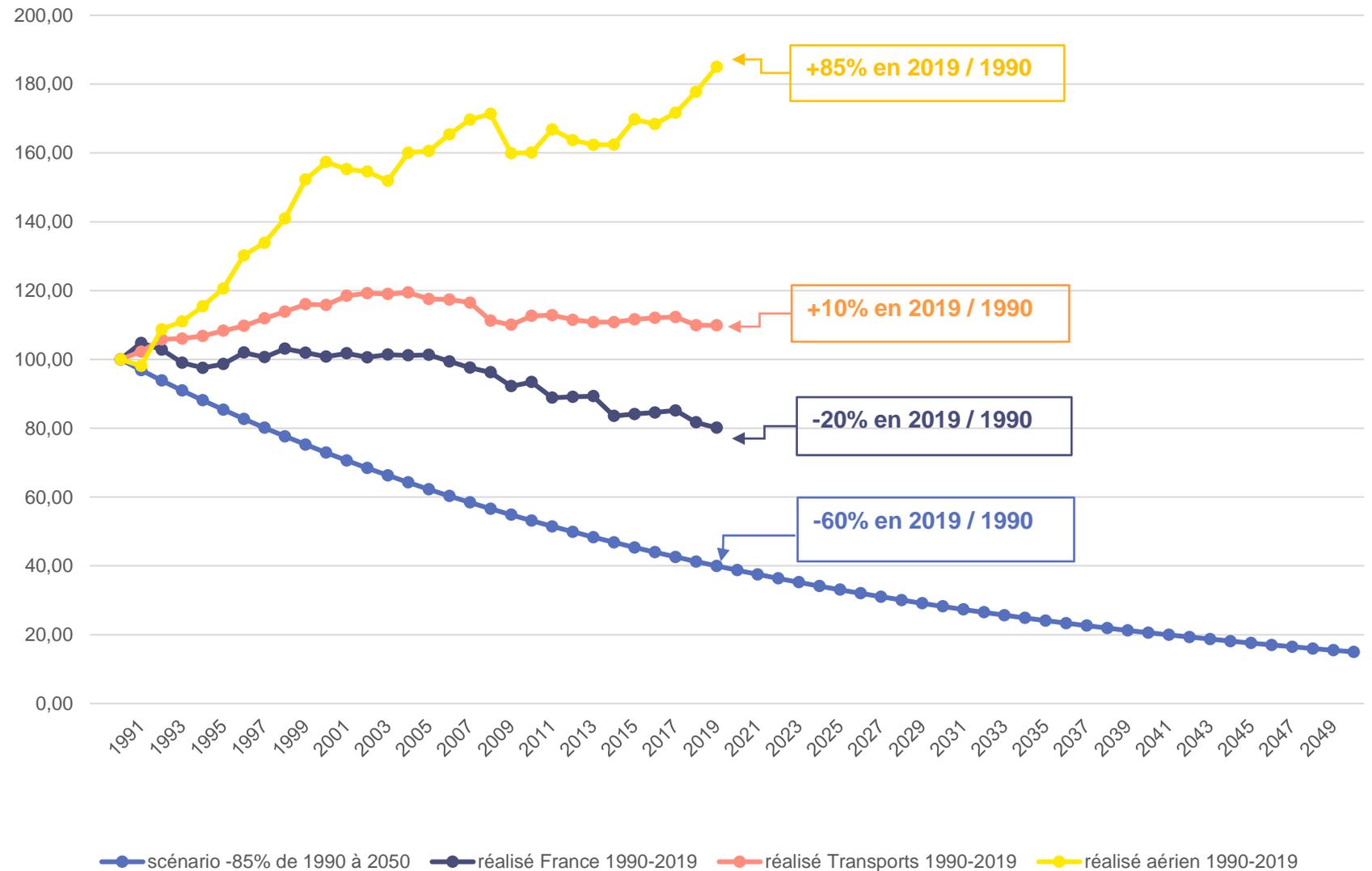


# **ELABORATION DE SCENARIOS DE TRANSITION ÉCOLOGIQUE DU SECTEUR AÉRIEN**

Présentation de la synthèse de l'étude publiée en septembre 2022  
*Table ronde Ville & Aéroport du 13 avril 2023*

# Introduction : trajectoires GES comparées

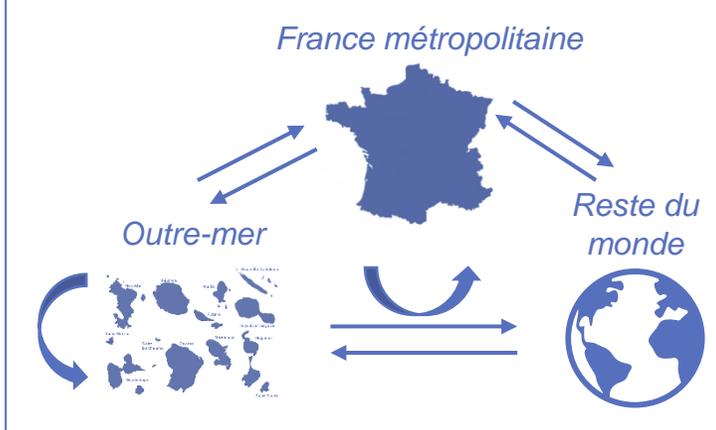
- 1) Transport aérien seul (avec international)
- 2) Ensemble des transports France (hors international)
- 3) Tous secteurs France (hors international)
- 4) Scénario -85% sur 1990-2050 (cohérent SNBC, taux annuel constant -3,1% de 1990 à 2050)



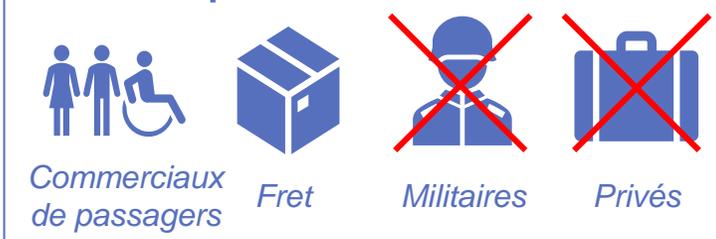
# Objectif et périmètre de l'étude

**Objectif :** Elaborer trois scénarios contrastés de transition écologique du secteur aérien sur la période 2020-2050, représentant trois stratégies potentielles pour la filière

## Périmètre géographique



## Vols comptabilisés



## Périmètre temporel

1990 → 2050

### Emissions considérées quantitativement :

- Production et distribution de l'énergie consommée par les avions (émissions amont) ;
- Utilisation des Groupes Auxiliaires de Puissance (APU) ;
- Phases *Landing and Take Off* (LTO) ;
- Phase de croisière (ou de demi-croisière).

### Qualitativement :

- Accès vers et depuis les aéroports ;
- Emissions des aéroports.

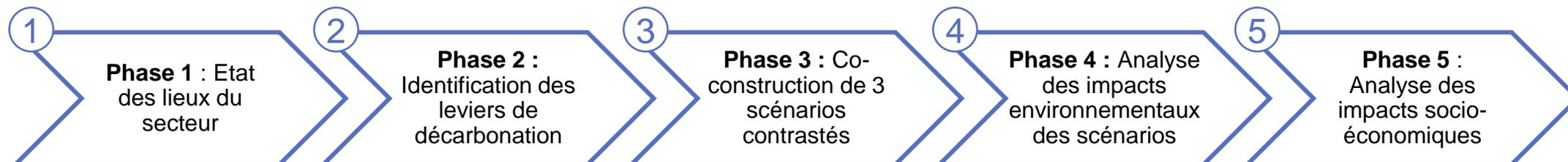
### Emissions non incluses :

- Cycle de vie des avions ;
- Matériel de soutien au sol ;
- Construction des aéroports.

## Deux périmètres différents de comptabilisation des émissions de CO<sub>2</sub> :

	Périmètre « Départs et arrivées France »	Périmètre « Départs France »
Vols concernés	• Tous les vols au départ et à l'arrivée de la France	• Tous les vols au départ de la France
Emissions liées aux croisières	• ½ croisières	• Croisières complètes
Avantages	• Prise en compte des consommations de kérosène liées à l'incapacité de certains pays à produire des électrocarburants bas-carbone	• Prise en compte complète des baisses d'émissions liées aux efforts de décarbonation français
Inconvénients	• Représentation incomplète des baisses d'émissions liées aux efforts de décarbonation français	• Non prise en compte des émissions liées aux vols arrivant en France, qui embarquent un mix différent de carburants

# Déroulé de l'étude



## Objectifs

- Formaliser une revue bibliographique
- Réaliser une synthèse des principales connaissances pertinentes disponibles

- Identifier, énumérer et analyser les leviers de décarbonation du secteur aérien

- Coconstruire avec l'ADEME, la DGAC et la DGEN 3 scénarios originaux de transition écologique contrastés et adaptés au contexte français

- Elaborer un modèle prospectif
- Evaluer l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> dans chacun des scénarios
- Evaluer l'évolution des autres impacts environnementaux dans chacun des scénarios

- Evaluer les impacts socio-économiques et les investissements liés à chacun des scénarios

## Réalisations

- Etat des lieux de la situation actuelle ainsi que des impacts environnementaux et socio-économiques du secteur aérien
- Synthèse des principaux scénarios existants

- 3 ateliers de travail avec les parties prenantes du secteur (sur l'ambition des scénarios, les leviers de décarbonation et les mesures de mise en œuvre)
- Description synthétique des leviers de décarbonation

- 3 scénarios de transition et un scénario de référence

- Modèle prospectif de calcul des émissions de CO<sub>2</sub> associées à chacun des scénarios
- Evaluation qualitative des autres impacts environnementaux des scénarios

- Evaluation des impacts socio-économiques et des investissements liés à chacun des scénarios

# Un secteur en forte croissance et à forte valeur ajoutée confronté au défi de la réduction de son impact écologique



## Un secteur en fort développement :

- Trafic en forte croissance, fortement impacté par la crise sanitaire ;
- Reprise estimée du trafic à son niveau de 2019 en 2024 ;
- En France, hausse principalement du trafic international depuis 1990 ;
- Le trafic vers et depuis la France devrait continuer à croître ;
- 20% des Français n'ont jamais pris l'avion ;
- 36% des Français prennent l'avion au moins une fois par an ;
- Les CSP+ représentaient plus de 50% des passagers en 2016.



## Un secteur associé à de nombreux bénéfices socio-économiques

- Mode de transport qui joue un rôle clé pour la cohésion du territoire national ;
- Un secteur aérien qui est un levier de croissance pour l'économie française et mondiale ;
- En France, 1,1 millions d'emplois liés au secteur, dont 342 000 emplois directs ;
- Marchandises à haute valeur ajoutée : 35% des échanges de marchandises en valeur pour seulement 1% des échanges de marchandises en volume à l'échelle mondiale.



## Un secteur très concentré et dont les acteurs sont confrontés à des enjeux de rentabilité

- Peu de constructeurs mais de nombreux sous-traitants ;
- Forts enjeux de rentabilité pour les compagnies aériennes ;
- Forte concurrence des compagnies à bas-coûts par rapport aux compagnies historiques.

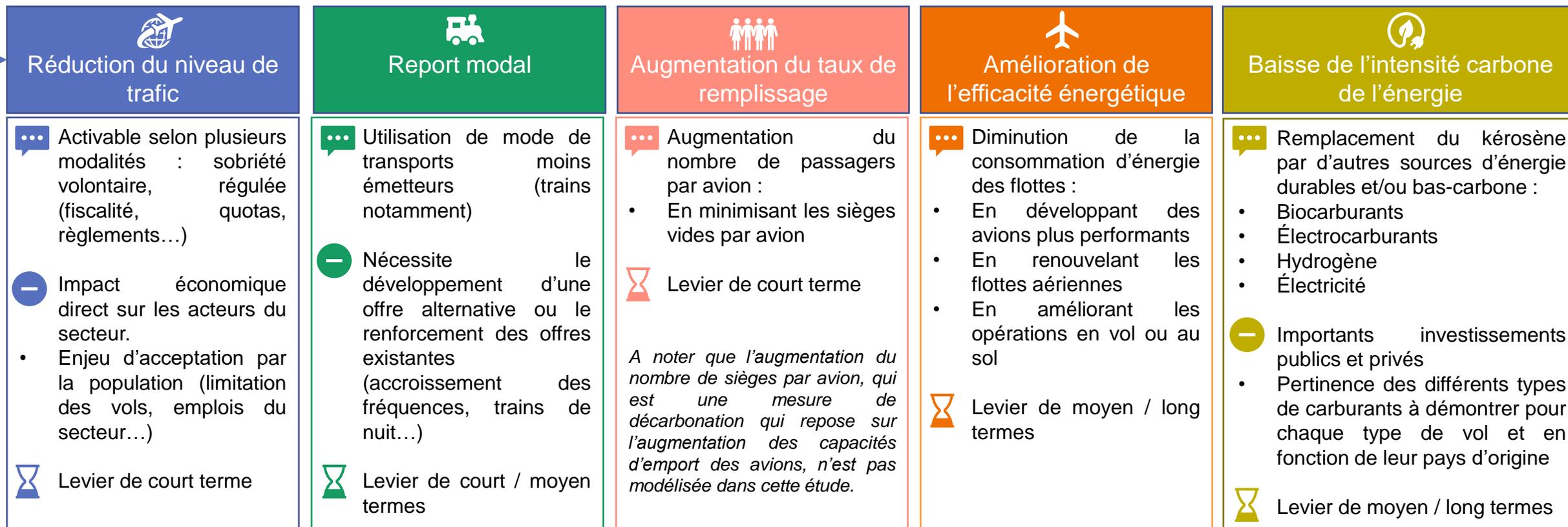


## Un secteur confronté au défi de sa transition écologique

- Emissions de gaz à effet de serre (GES) corrélées à la quantité de trafic aérien ;
- En France, +85% d'émissions de GES entre 1990 et 2019 (vols intérieurs et internationaux) ;
- La part du secteur dans les émissions françaises est passée de 2,4% à 5,3% sur la même période ;
- Les vols internationaux représentent la majeure partie de ces émissions (près de 80% en 2019) ;
- Le poids des vols intérieurs métropolitains dans ces émissions est faible (9,0% en 2019) ;
- L'impact climatique réel du secteur pourrait être beaucoup plus important à cause des traînées de condensation ;
- Le secteur aérien a d'autres impacts environnementaux négatifs (bruit, pollution de l'air, artificialisation des sols...).

# Cinq leviers de décarbonation avec des enjeux distincts

## Leviers de décarbonation du secteur (issus de l'équation de Kaya)



La « compensation » des émissions de CO<sub>2</sub> n'est pas un des leviers utilisé pour diminuer les émissions dans les scénarios de transition. En effet, cette étude se concentre sur la réduction des émissions directes et indirectes du secteur aérien, et la compensation n'est donc pas incluse dans le périmètre de cette étude.

**⚠ Deux leviers qui conduisent à une augmentation des coûts d'opération des compagnies aériennes qui entraîne :**

- Une hausse des prix des billets
- Et donc une baisse de la demande : ce sont les « effets prix »

# Un scénario de référence et trois scénarios de transition

<b>S0</b> <b>« Scénario de référence »</b>	<b>SA</b> <b>Scénario « Rupture technologique »</b>	<b>SB</b> <b>Scénario « Modération du trafic »</b>	<b>SC</b> <b>Scénario « Tous leviers »</b>
<p> <b>La société se développe selon les tendances actuelles, sans modération du trafic ou déploiement de technologies allant au-delà des technologies déjà maîtrisées actuellement.</b></p> <p> Absence de rupture technologique : les flottes sont modernisées via le remplacement des avions en fin de vie par les avions les plus performants disponibles aujourd'hui.</p> <p> Les avions continuent d'utiliser quasi exclusivement des carburants fossiles (le kérosène).</p> <p> Le prix des billets d'avions reste stable : la légère hausse du prix du kérosène est compensée par les progrès en termes d'efficacité énergétique permis par le renouvellement des flottes.</p> <p> Pas de frein au recours à l'avion, ce qui conduit à une augmentation forte du trafic.</p>	<p> <b>Des investissements importants sont réalisés dans l'aéronautique et la production de CAD, afin de conserver un niveau de trafic élevé et de permettre au secteur de développer son activité.</b></p> <p> Des ruptures technologiques et de fortes améliorations des opérations permettent de diminuer significativement la consommation énergétique des avions à partir de 2035. L'avion court-courrier à hydrogène voit le jour en 2035.</p> <p> Les CAD sont progressivement mobilisés grâce à des efforts d'investissement très importants (et ce plus particulièrement sur les électrocarburants).</p> <p> L'utilisation de technologies plus onéreuses et des CAD renchérit rapidement le coût des vols à partir de 2035.</p> <p> La croissance du trafic aérien est soutenue, mais infléchie par la hausse des coûts des vols, à partir de 2030.</p>	<p> <b>Des mesures de modération du trafic et les CAD sont mobilisés pour minimiser les émissions cumulées entre 2020 et 2050 et réduire nettement les émissions d'ici 2030.</b></p> <p> Les nouveaux avions bénéficient des améliorations technologiques incrémentales. L'avion à hydrogène n'est pas développé.</p> <p> Les CAD sont progressivement mobilisés grâce à des efforts d'investissement importants (et ce plus particulièrement sur les biocarburants).</p> <p> L'utilisation de CAD augmente le coût des vols à partir de 2030. Cette hausse s'accélère à partir de 2035.</p> <p> Le trafic est contraint par des leviers fiscaux et réglementaires dans l'optique de limiter les émissions du secteur, et ce dès 2023. Il est également limité par la hausse du prix des billets, à partir de 2030. Il diminue donc entre 2023 et 2030, est stable jusqu'en 2045, puis remonte légèrement à partir cette date.</p>	<p> <b>La décarbonation du secteur s'appuie sur tous les leviers disponibles afin de réduire le recours à des technologies de rupture non-matures aujourd'hui et d'augmenter l'acceptabilité des mesures de modération du trafic.</b></p> <p> Des progrès technologiques et des améliorations des opérations permettent de diminuer la consommation énergétique des avions à partir de 2040.</p> <p> Les CAD ne sont pas produits en quantité suffisante pour couvrir la demande. Le premier avion court-courrier à hydrogène est commercialisé en 2040.</p> <p> L'utilisation de technologies plus onéreuses et des CAD renchérit progressivement le coût des vols.</p> <p> Les mesures de modération du trafic et la hausse du prix des billets conduisent à une faible hausse du trafic.</p>

# Carburants mobilisés dans les scénarios

## Des carburants mobilisés s'ils représentent une solution réelle de décarbonation

### Carburants d'Aviation Durables (CAD)

#### Electrocarburants

- i** Synthétisés à partir de CO<sub>2</sub> capturé à la sortie d'installations industrielles et d'électricité
- CO<sub>2</sub>** Caractère décarboné dépendant de l'intensité carbone du mix électrique du pays de production

#### Biocarburants de 2<sup>ème</sup> génération

- i** Synthétisés à partir de certains résidus de cultures et d'agroforesterie, et de la technologie Fischer-Tropsch
- CO<sub>2</sub>** Fort pouvoir de décarbonation

#### Hydrogène (H<sub>2</sub>)

- i** Synthétisé uniquement par électrolyse de l'eau. Utilisé comme carburant soit en combustion, soit en pile à hydrogène
- CO<sub>2</sub>** Caractère décarboné dépendant de l'intensité carbone du mix électrique du pays de production

#### Hypothèses générales :

- Aucune importation ou exportation de CAD ou d'hydrogène → Les carburants sont produits dans les pays de départ des avions
- L'hydrogène n'est utilisé que pour des vols court-courriers (de moins de 2000 km) → Ces vols sont assimilés à des vols intra-européens (au sens de la carte page suivante)

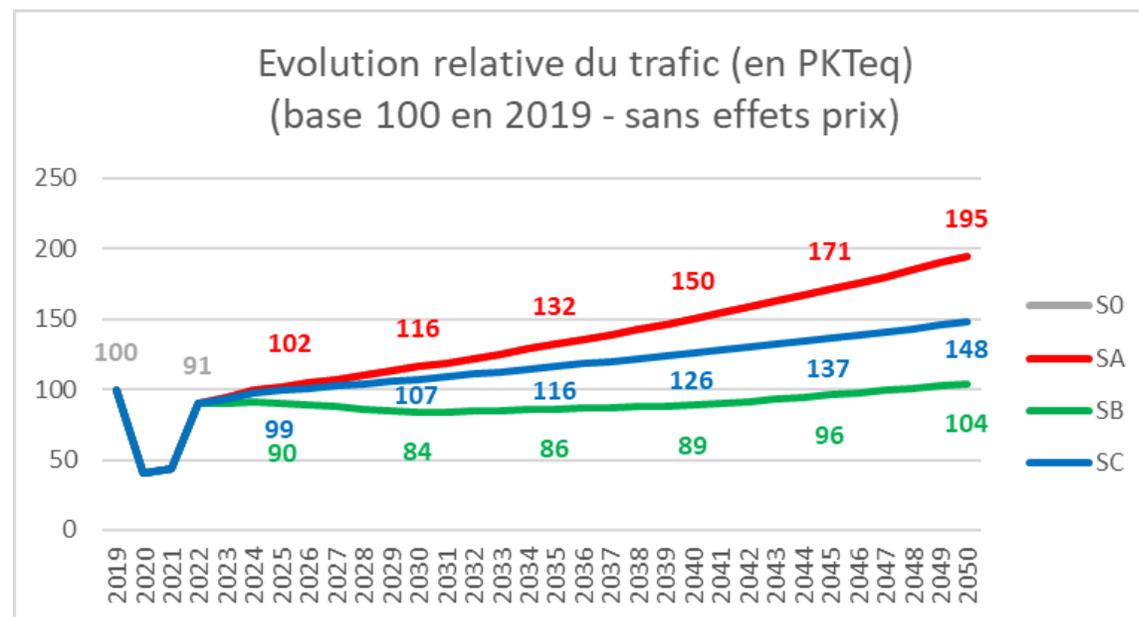
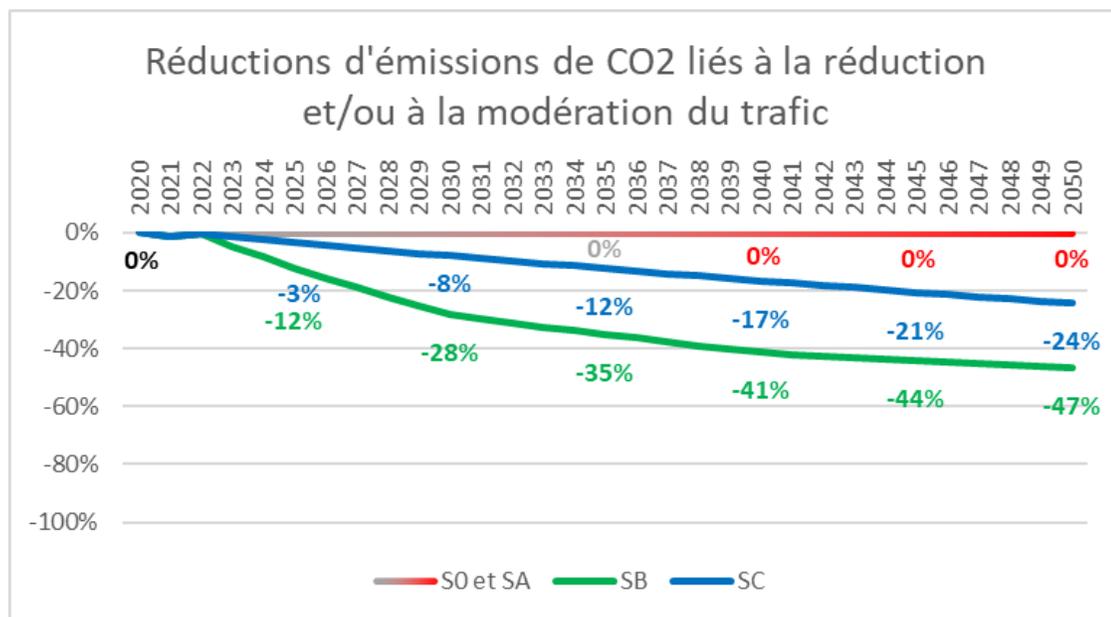
**109 gCO<sub>2</sub>/kWh**

Intensité carbone maximale du mix électrique moyen du pays de départ des avions pour que les electrocarburants soient un levier de décarbonation

# La modération du trafic : 1<sup>er</sup> levier majeur de décarbonation

La réduction du trafic et la modération du trafic par rapport à son niveau de référence sont des leviers de décarbonation disponibles à court terme

- Des études supplémentaires sont nécessaires pour savoir dans quelle mesure le levier de la maîtrise du trafic est pilotable, c'est-à-dire dans quelle mesure il peut être ajusté à la hausse ou à la baisse en fonction de la trajectoire souhaitée des émissions et des progrès technologiques effectivement déployés.

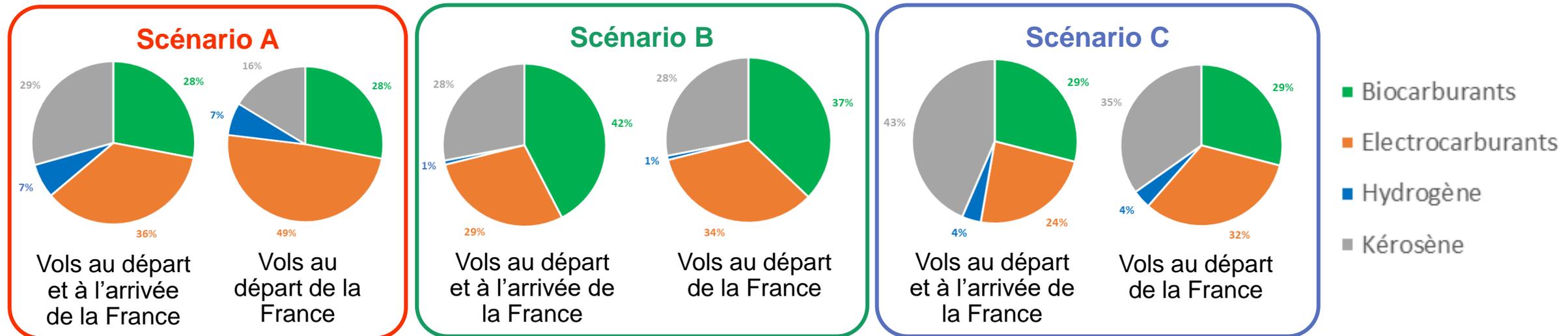


# Du kérosène est encore consommé en 2050

Les consommations de kérosène seront encore significatives dans tous les scénarios en 2050

- Ces consommations de kérosène ont lieu principalement :
  - Dans tous les vols intérieurs et internationaux au départ de l'Outre-mer (pas d'électrocarburants produits sur place) ;
  - Dans tous les vols internationaux au départ d'Amérique du Nord, d'Afrique, d'Asie et d'Océanie ;
  - Dans les vols au départ de la France métropolitaine et des zones géographiques pertinentes du point de vue de la production d'électrocarburants pour lesquels les avions ne sont pas certifiés pour embarquer plus de 50% de CAD.

Composition des mix énergétiques en 2050 (en tep) – avec effets prix



# L'hydrogène est un levier mineur de décarbonation

## Les consommations d'hydrogène restent mineures dans tous les scénarios

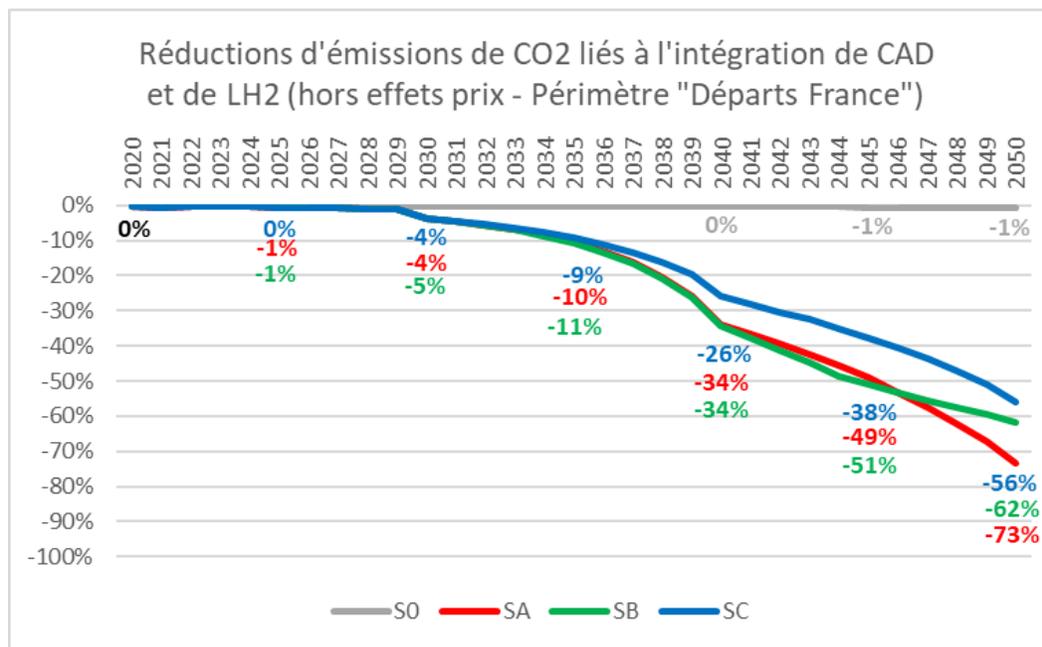
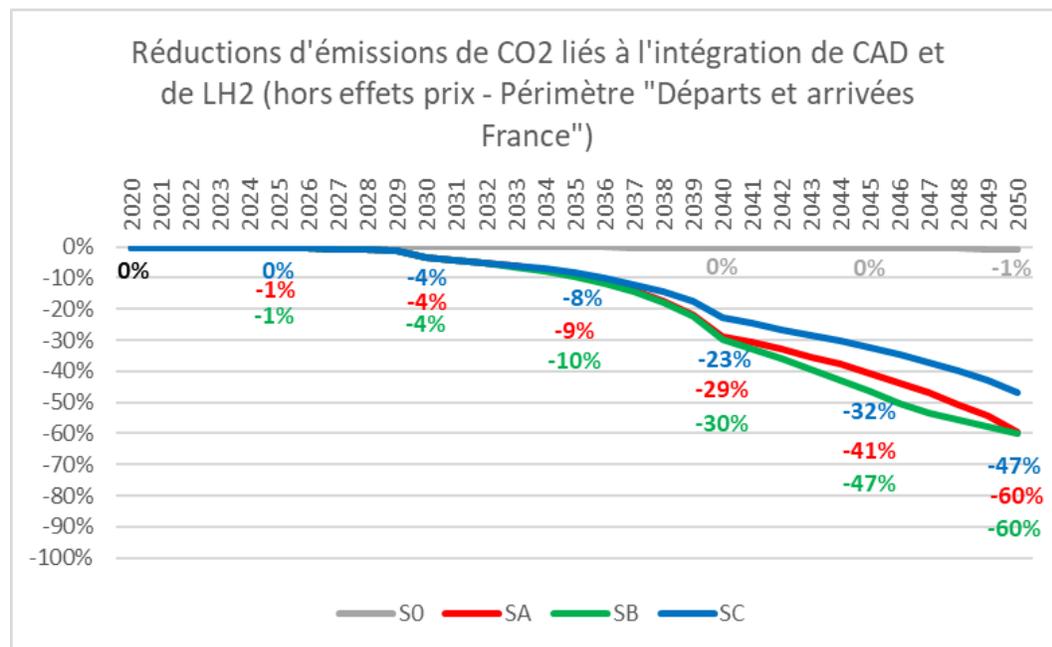
- Il est fait l'hypothèse que la répartition des émissions selon le type de vol reste constante entre 2019 et 2050 ;
- Seuls les commuters (moins de 500 km - 0,3% du trafic), les vols régionaux (moins de 1000 km - 1,0% du trafic) ainsi que les vols court-courriers (moins de 2000 km - 8,1% du trafic) peuvent embarquer de l'hydrogène ;
- Les premiers avions à propulsion à hydrogène apparaissent en 2035 (**scénario A**) ou 2040 (**scénario C**) ;
- Ces avions ne représentent 100% des nouveaux avions court-courriers qu'à partir de 2050 ;
- Entre 4% (**scénario B**) et 5% des flottes (**scénario A**) sont renouvelées chaque année.

→ La progression de l'hydrogène dans le mix énergétique est très progressive  
→ Respectivement 60% (**scénario A**) et 37% (**scénario C**) des avions court-courriers sont à propulsion à hydrogène en 2050

# La baisse de l'intensité carbone du mix : 2<sup>ème</sup> levier majeur

La baisse de l'intensité carbone du mix énergétique est un levier technique majeur de réduction des émissions du secteur aérien, qui est disponible à moyen / long termes

- Le recours à ce levier implique le développement :
  - De capacités industrielles de production de CAD ;
  - De réseaux de transport et de stockage des carburants produits (notamment pour l'hydrogène) ;
  - Des capacités nationales de production d'électricité et d'hydrogène bas-carbone ;
  - Des capacités nationales de capture et d'utilisation de CO<sub>2</sub> à la sortie d'installations industrielles ;
  - Des capacités nationales de mobilisation des résidus de culture et d'agroforesterie pertinents pour la production de biocarburants.



# Des potentiels conflits d'usages sur des résidus de culture

**Choisir d'approvisionner massivement le secteur aérien en biocarburants est un choix de politique publique, qui implique d'arbitrer un ordre de priorité entre différents secteurs**

- Les différents secteurs qui pourraient rentrer en conflit d'usage avec le secteur aérien vis-à-vis de la mobilisation de certains gisements de résidus d'agriculture et d'agroforesterie sont notamment ceux du transport routier (pour produire du biocarburant routier) et de la bioéconomie (production de matériaux biosourcés).

	S0	SA	SB	SC
<b>Part des résidus de culture disponibles et pertinents en France en 2050 utilisés pour produire les biocarburants en France</b>	0%	23%	20%	21%

- L'intégration par la France des émissions liées aux vols internationaux dans ses objectifs climatiques et le périmètre de la SNBC doit être l'occasion de consolider sa vision des besoins en ressources en biomasse à l'horizon 2050, et de mieux planifier la production et la consommation de ces ressources.

# Des potentiels conflits d'usages sur l'électricité bas-carbone

Choisir d'approvisionner massivement le secteur aérien en électricité et en hydrogène bas-carbone est un choix de politique publique, qui implique d'arbitrer un ordre de priorité entre différents secteurs ou d'augmenter l'ambition des objectifs nationaux actuels de production d'électricité bas-carbone

- D'autres choix sont possibles, comme celui de la modération du trafic (comme dans le **scénario B** et le **scénario C**), choix qui réduisent la quantité d'électricité et d'hydrogène bas-carbone nécessaire pour le secteur aérien.

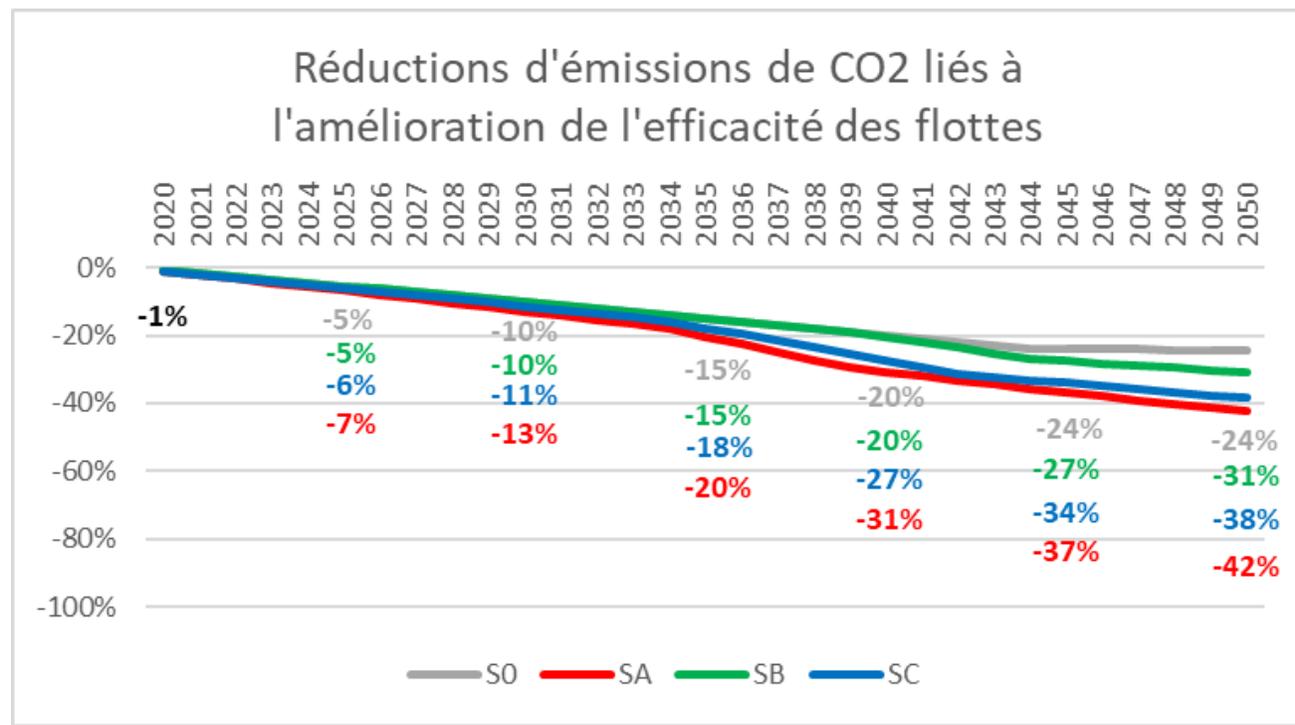
	S0	SA	SB	SC
<b>Part de la production électrique nationale mobilisée en 2050 pour produire les électrocarburants et de l'hydrogène bas-carbone en France</b>	0%	17%	8%	10%

- L'intégration par la France des émissions liées aux vols internationaux dans ses objectifs climatiques et le périmètre de la SNBC doit être l'occasion de consolider sa vision des besoins en électricité et en hydrogène bas-carbone à l'horizon 2050, et de mieux planifier la production et la consommation de ces ressources.

# L'amélioration de l'efficacité des flottes : 3<sup>ème</sup> levier majeur

L'amélioration de l'efficacité énergétique des flottes aérienne est un levier technique majeur de réduction des émissions du secteur aérien, qui est disponible à moyen / long termes

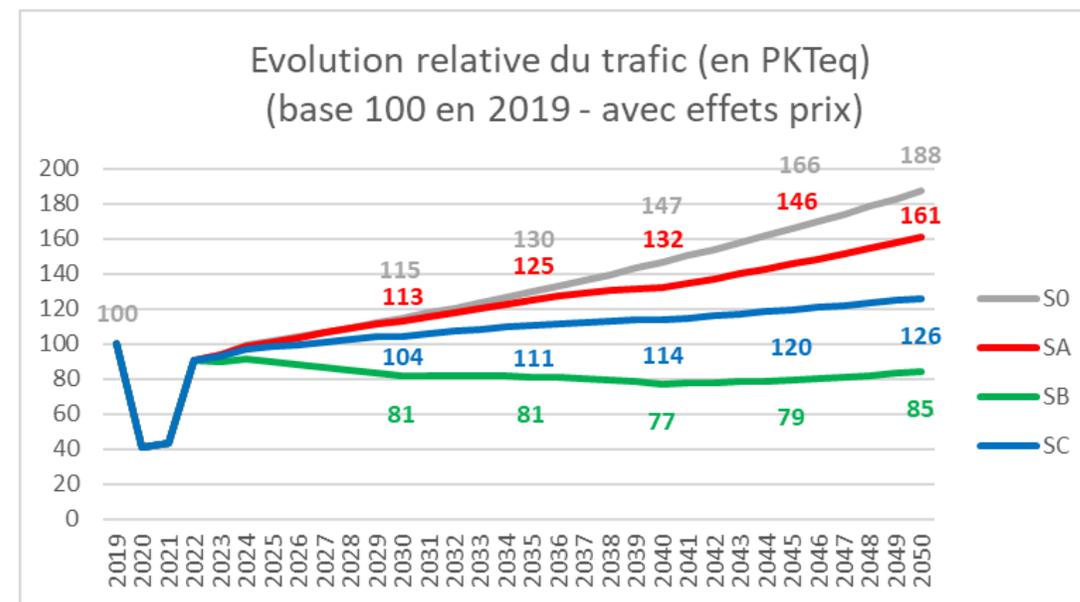
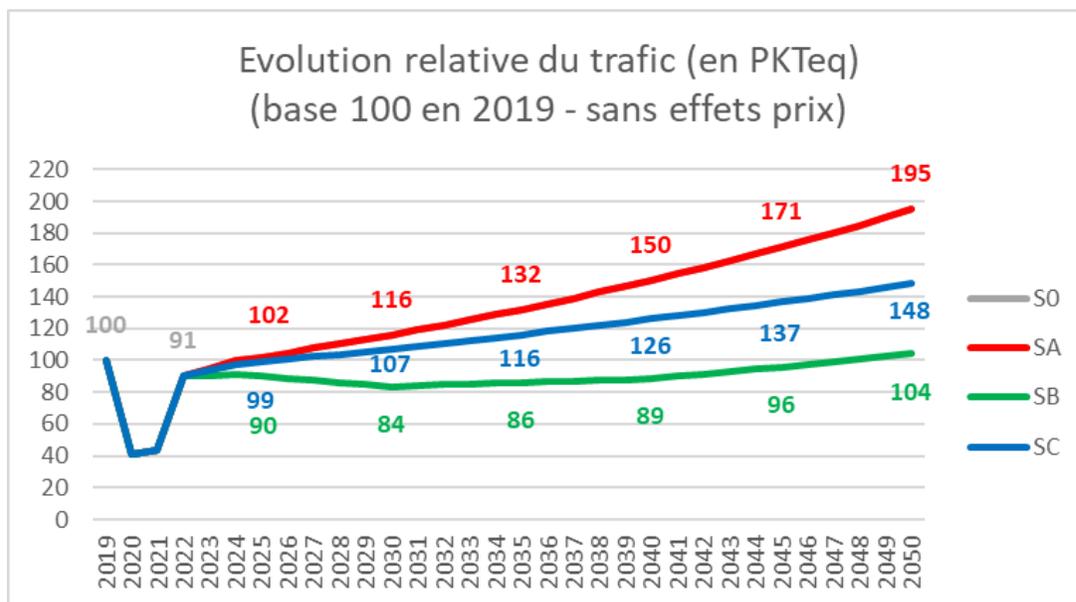
- Le recours à ce levier implique le développement de nouvelles générations d'avion, et le renouvellement des appareils ne se fait qu'à l'issue d'une durée de vie de 20 à 25 ans.





# Evolution du trafic dans les scénarios

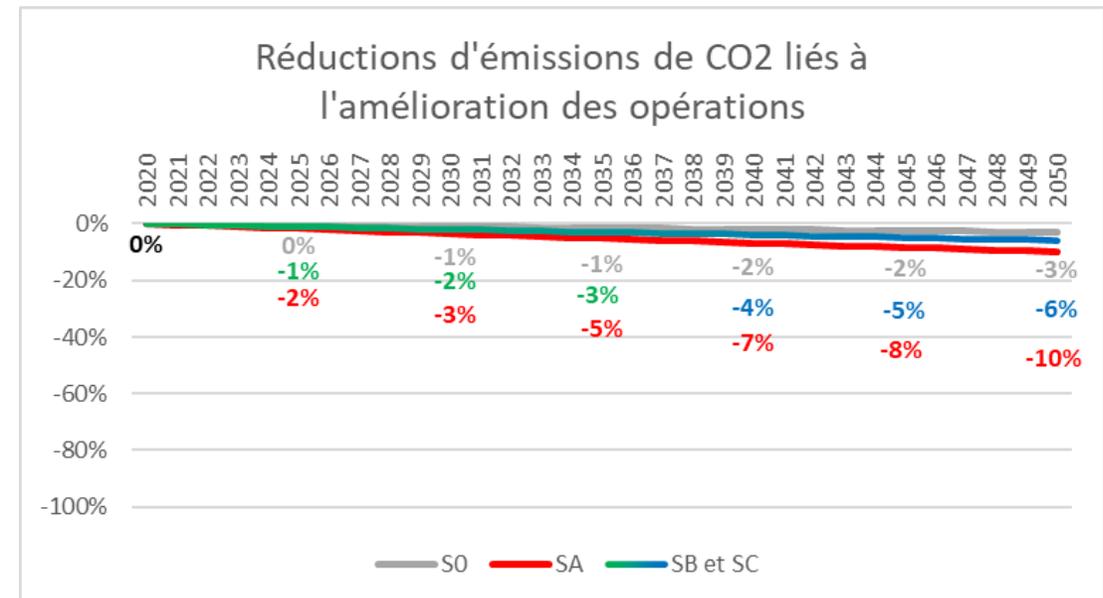
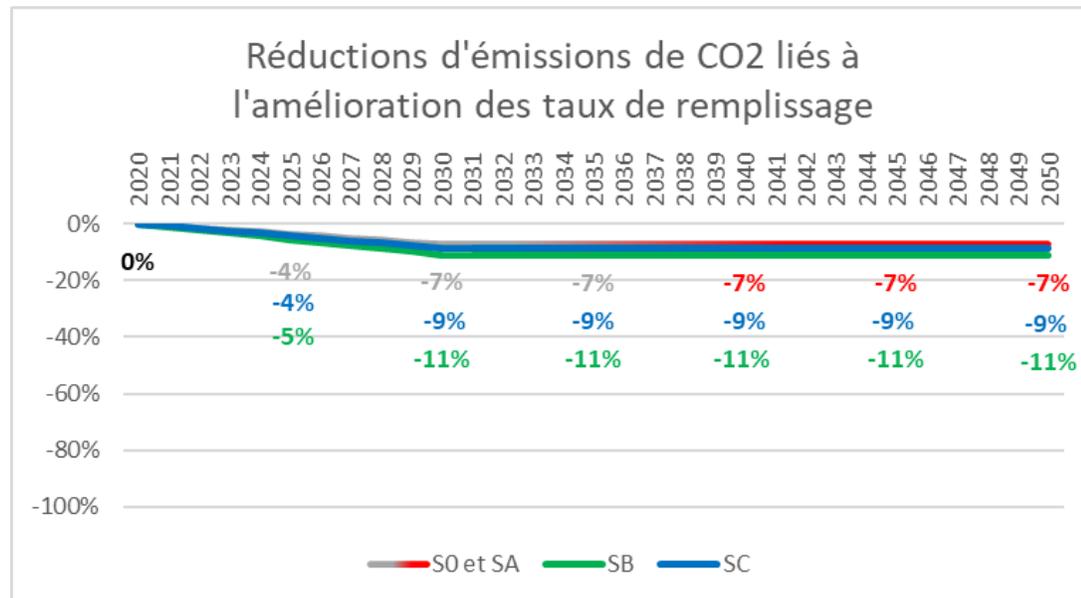
- Dans le scénario 0 de référence, le trafic retrouve son niveau de 2019 en 2024. Il est peu impacté par les effets prix et croît de manière continue entre 2022 et 2050 ;
- Dans le **scénario A**, aucune action de modération du trafic n'est mise en place, mais la croissance du trafic est ralentie par les effets prix par rapport au scénario de référence ;
- Dans le **scénario B**, la maîtrise régulée ou volontaire du trafic et les effets prix aboutissent à une baisse du trafic entre 2023 et 2030, puis à une stagnation de celui-ci entre 2031 et 2045, avant de renouer avec une légère croissance entre 2046 et 2050. En 2050, le niveau de trafic est inférieur à son niveau de 2019 ;
- Dans le **scénario C**, la modération du trafic et les effets prix conduisent à une croissance modérée du trafic entre 2022 et 2050.



# D'autres leviers mineurs de décarbonation du secteur

L'amélioration des taux de remplissage et des opérations permettent des réductions des émissions moins importantes que les autres leviers

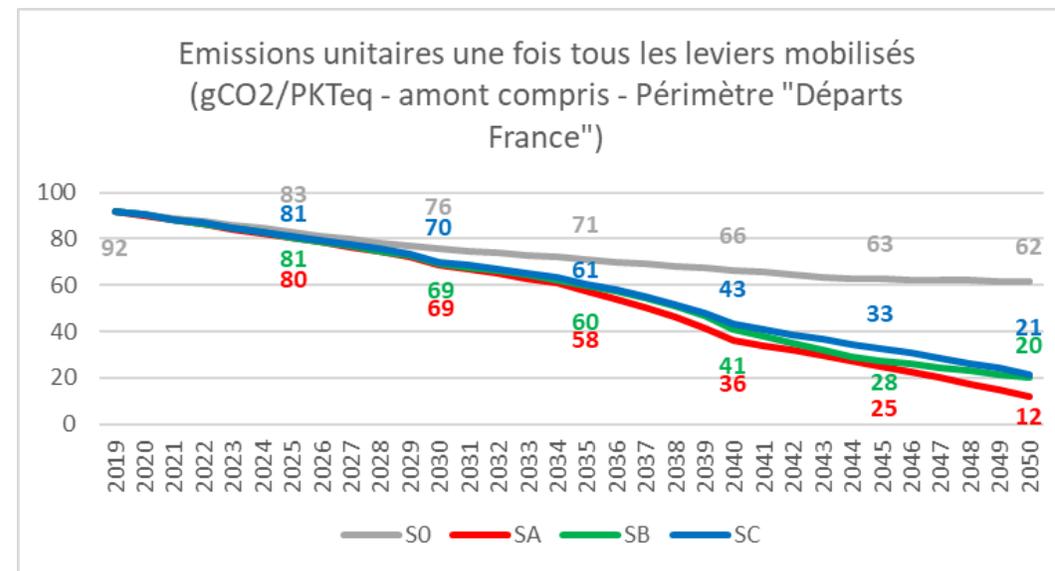
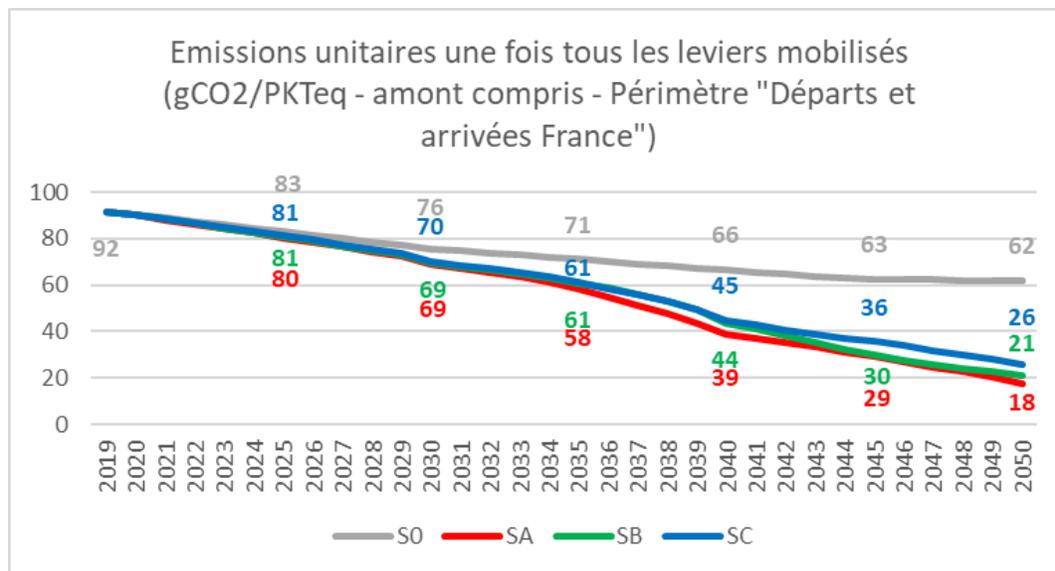
- En effet, les avions au départ et à l'arrivée de la France sont déjà relativement bien remplis, et les opérations en vol et au sol relativement bien optimisées.



# Des émissions unitaires en forte baisse entre 2019 et 2050

La mobilisation des leviers techniques de décarbonation du secteur permettent une baisse très importante des émissions unitaires dans tous les scénarios de transition

- Les émissions unitaires baissent le plus et le plus rapidement dans le **scénario A** du fait de la mobilisation plus forte des leviers techniques par rapport au **scénario B** et au **scénario C**.
- Les émissions unitaires baissent plus dans le **scénario B** que dans le **scénario C** grâce à la mobilisation plus importante des CAD, et ce malgré des progrès techniques moins forts.
- Les émissions unitaires baissent plus pour les vols au départ de la France que pour ceux y arrivant du fait de l'intégration plus importante d'électrocarburants (liée au mix électrique peu carboné français).



# Une empreinte carbone qui diminue moins vite

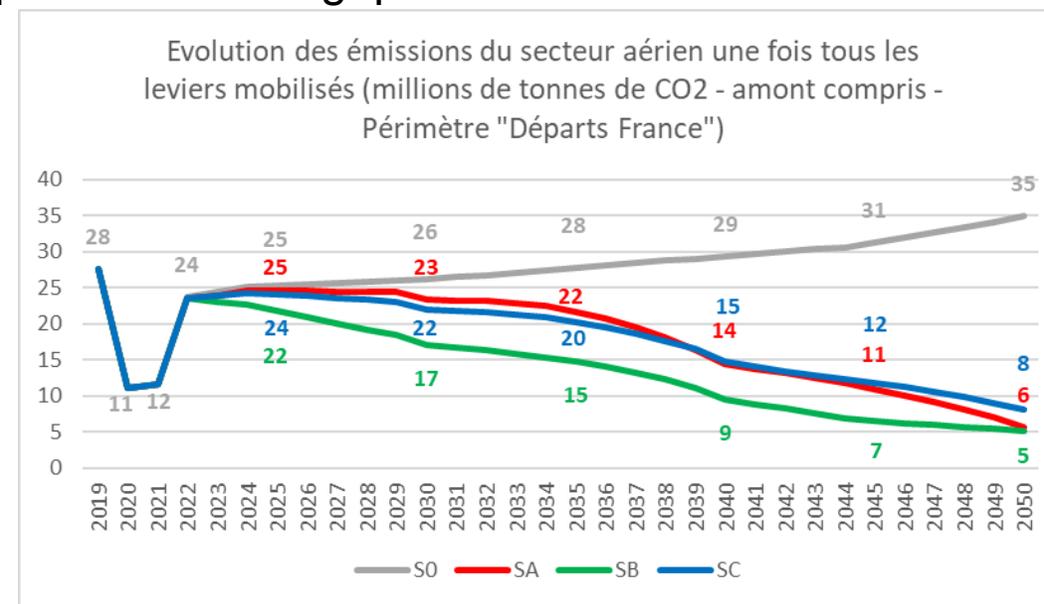
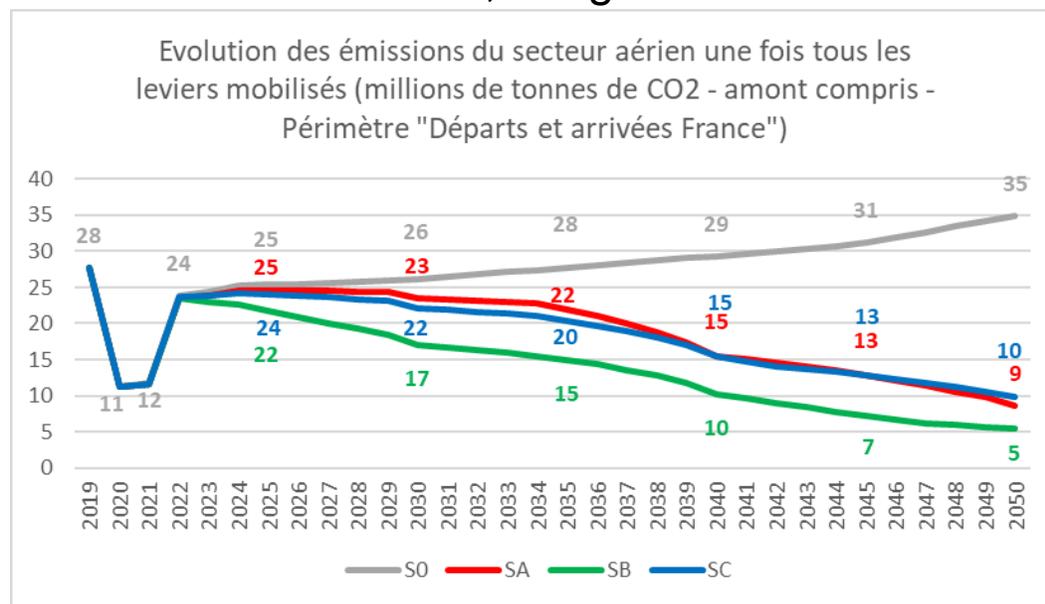
## Les vols à destination de la France resteront plus carbonés que ceux en partance du territoire national

- L'empreinte carbone du secteur aérien en France (Périmètre « Départs France ») diminuera moins vite que les émissions nationales du secteur (Périmètre « Départs et arrivées France »).
- En effet, il devrait être toujours impossible en 2050 de recourir à des électrocarburants bas-carbone dans les vols en provenance de certaines régions du monde (du fait des mix électriques trop carbonés en Amérique du Nord, en Afrique, en Asie et en Océanie).
- L'impact climatique réel des voyages diminuera donc moins vite que celui des vols au départ de la France. Il est ainsi essentiel que les émissions liées aux vols au départ et à l'arrivée de la France soient suivies au niveau national au même titre que celles liées seulement aux vols au départ de la France, et ce grâce à des indicateurs spécifiques.
- Ce suivi contribuera au pilotage de la décarbonation du secteur du tourisme (émissif et réceptif) en France.
- Les émissions unitaires ne sont pas nulles en 2050. Par conséquent, les vols continueront à émettre des GES à cette date. Les émissions liées aux déplacements aériens pourront donc continuer à représenter une part importante de l'empreinte carbone de certains individus à cet horizon temporel.

# Des émissions annuelles également en forte baisse

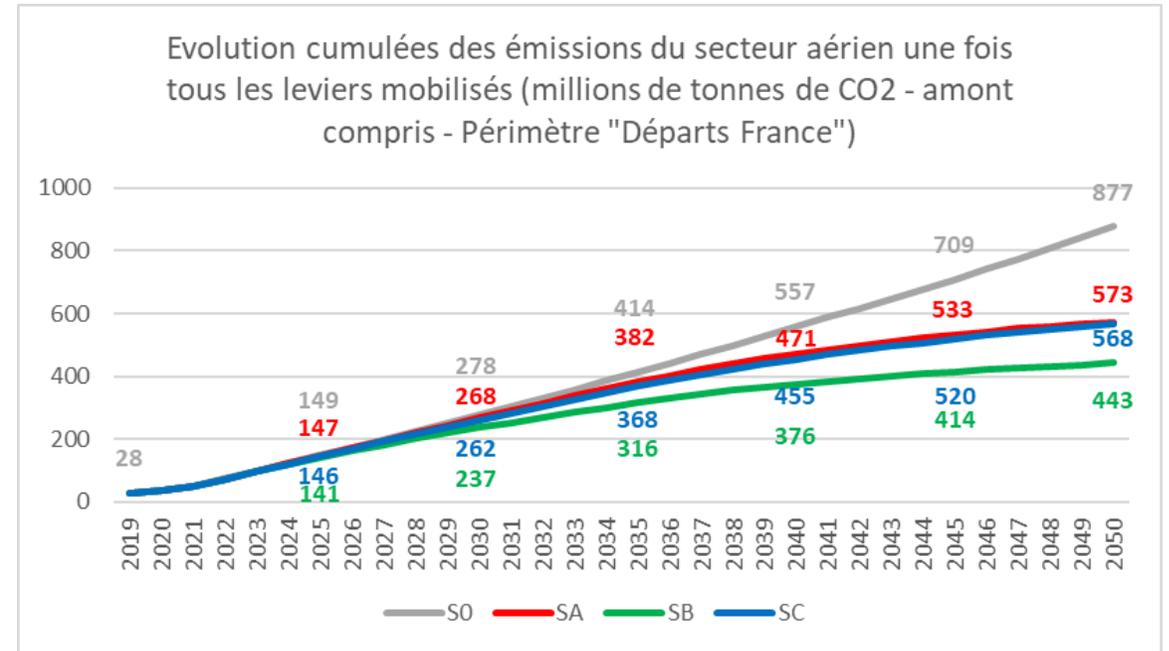
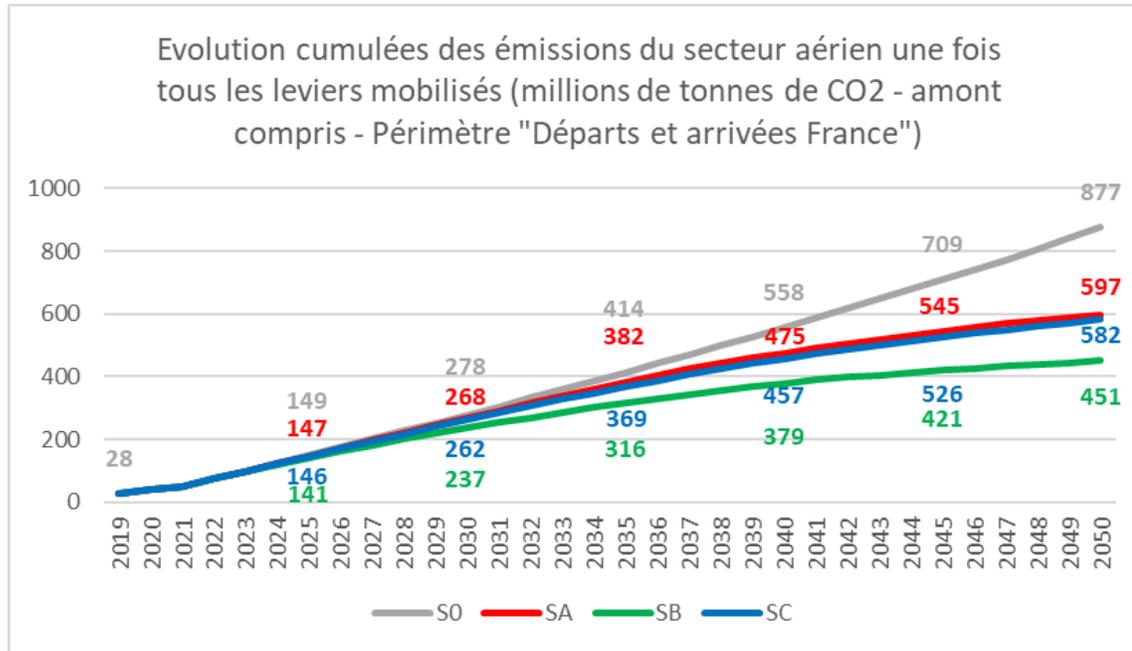
La baisse des émissions unitaires et la modération du trafic conduisent à de fortes baisses des émissions annuelles dans les scénarios de transition par rapport au scénario de référence.

- Sans action supplémentaire par rapport à celles déjà entreprises aujourd'hui, les émissions de CO<sub>2</sub> liées aux vols au départ de la France pourraient augmenter de +26% entre 2019 et 2050 et pourraient voir leur part dans les émissions totales françaises plus que quadrupler par rapport à aujourd'hui (cf. scénario 0).
- Les émissions annuelles baissent plus rapidement dans le **scénario B** grâce à la réduction du trafic.
- La maîtrise de la hausse du trafic dans le **scénario C** permet une évolution des émissions annuelles similaire à celle dans le **scénario A**, malgré une absence de ruptures technologiques.



# Des émissions cumulées minimales dans le scénario B

Les émissions cumulées sont moins importantes dans le scénario B que dans les autres scénarios grâce aux réductions d'émissions de court terme liées à la modération du trafic

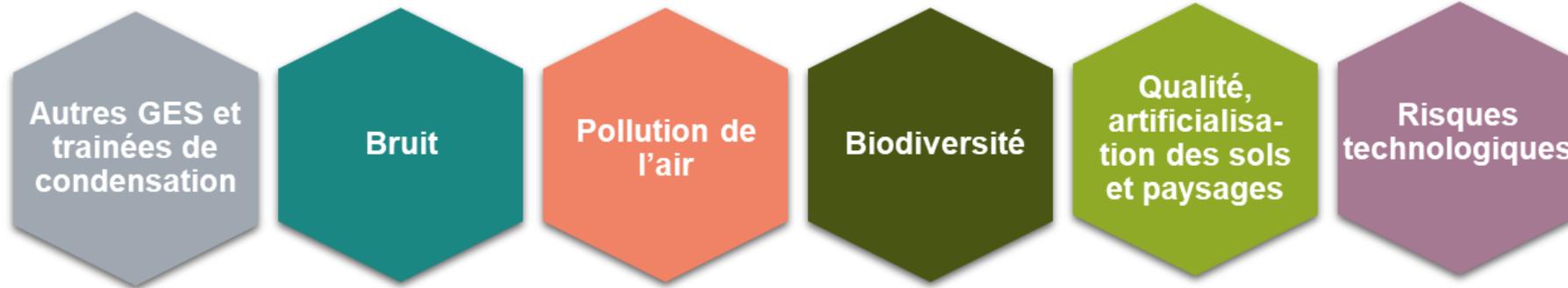


# Une action nécessaire et possible dès aujourd'hui

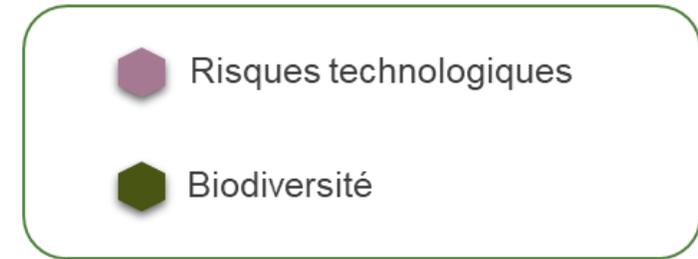
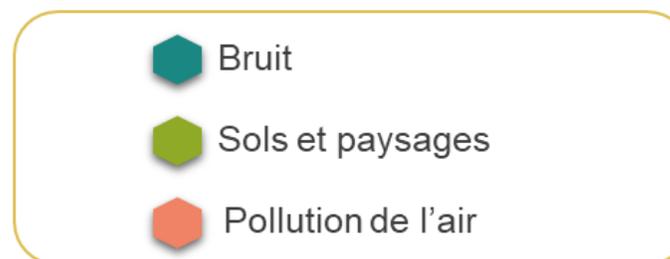
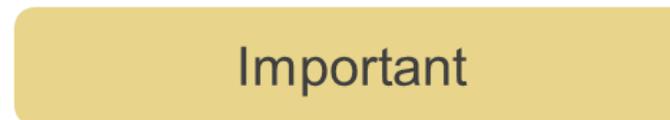
**Il est possible et nécessaire d'agir dès aujourd'hui pour diminuer fortement les émissions du secteur aérien, comme le prouvent les scénarios de transition.**

- Ces scénarios illustrent notamment la complémentarité des leviers de décarbonation.
- La réduction et/ou la modération de la demande est le seul levier permettant des réductions rapides des émissions à court terme.
- Il est nécessaire que les acteurs publics et privés investissent dès aujourd'hui dans la recherche et le développement de nouveaux modèles d'avions et de nouvelles façons de produire des CAD, ainsi que dans des unités et réseaux de production et de distribution de CAD et d'hydrogène et d'électricité bas-carbone.
- Ces investissements permettront de mobiliser ces deux leviers techniques majeurs de réduction des émissions unitaires de CO<sub>2</sub> et de relâcher une éventuelle contrainte sur le trafic.
- La temporalité et l'intensité de la mobilisation de ces deux leviers dépendront de celles des investissements.
- Il est également nécessaire de mener des études et des expérimentations relatives aux mesures de maîtrise du trafic afin de statuer sur le niveau de recours à ce levier de sobriété, d'établir les modalités concrètes de sa mise en œuvre et anticiper les impacts socio-économiques (positifs et négatifs).

# Autres impacts environnementaux évalués qualitativement



## Classification des enjeux en 3 catégories :



# Evolution des impacts environnementaux (1/2)

Le scénario de modération du trafic est le scénario qui permet le plus de minimiser les effets hors CO<sub>2</sub>, la pollution de l'air et les nuisances sonores

Enjeux environnementaux	Enjeux environnementaux Sous-catégories	Niveau d'enjeu	S0 Scénario de référence	SA Rupture technologique	SB Modération trafic	SC Scénario Tous leviers	Principaux leviers discriminants
Atténuer le changement climatique	Réduire les effets hors CO <sub>2</sub> : autres GES, trainées de condensation, aérosols..	Majeur	-	+	++	+	Maitrise trafic Efficacité énergétique
Qualité et artificialisation des sols et paysages	Préserver la qualité des sols	Important	-	--	-/--	-	Report modal CAD
	Limiter la consommation d'espaces naturels agricoles et forestiers	Important					
	Préserver la qualité paysagère	Modéré					
Biodiversité	Préserver et renforcer la biodiversité et les services écosystémiques	Modéré	-	--	-/--	-	Maitrise trafic CAD
Pollution de l'air	Limiter les émissions de polluants atmosphériques et préserver la qualité de l'air extérieur et limiter l'exposition des populations aux pollutions de l'air	Important	-	+	++	+	Maitrise trafic Report modal Efficacité énergétique
Bruit	Limiter les nuisances sonores	Important	--	0	+	+	Maitrise trafic Efficacité énergétique
Risques technologiques	Limiter l'exposition des populations aux risques technologiques	Modéré	0	-	0	-	Hydrogène

Légende :

++ Effets positifs majeurs

0 Effets neutres

-- Effets négatifs majeurs

+ Effets positifs limités

- Effets négatifs limités

-/-- Effets négatifs à quantifier plus précisément

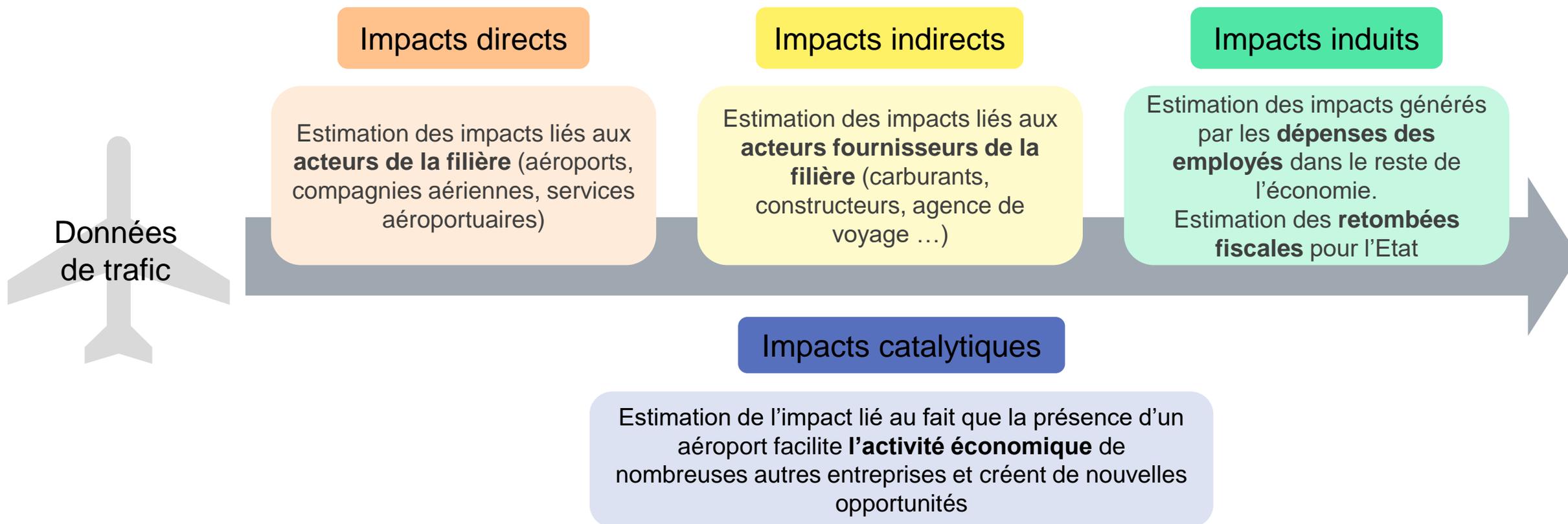
## Evolution des impacts environnementaux (2/2)

**Le levier de la modération / réduction du trafic est le levier associé aux plus grands bénéfices environnementaux dans le cadre de la transition bas-carbone du secteur aérien.**

- Une augmentation du trafic peut induire, notamment si elle n'est pas modérée, une artificialisation des sols, en raison de l'extension des aéroports existants. La réduction de l'intensité carbone du mix énergétique est un levier qui génère également de l'artificialisation, en raison du développement des installations de production électrique et/ou des cultures spécifiques nécessaires à la production des CAD et de l'hydrogène bas-carbone embarqués dans les avions.
- La trajectoire de décarbonation du secteur aérien basée sur la réduction du trafic aérien à court terme et une croissance modérée du trafic à moyen et long terme est la trajectoire qui minimise le plus certains impacts environnementaux du secteur aérien entre 2020 et 2050 (effets hors CO<sub>2</sub>, pollution de l'air, nuisances sonores).
- L'impact négatif de cette trajectoire sur les paysages, les sols et la biodiversité devra faire l'objet d'études supplémentaires pour pouvoir être quantifié plus précisément.
- Cet enseignement serait très probablement amplifié si l'analyse était effectuée sur un périmètre élargi au tourisme (tous motifs) lié au transport aérien.

# Impacts socio-économiques évalués

Une évaluation des impacts socio-économiques en termes d'activité générée en France (chiffre d'affaires, valeur ajoutée, emplois) par le déploiement des scénarios du secteur aérien

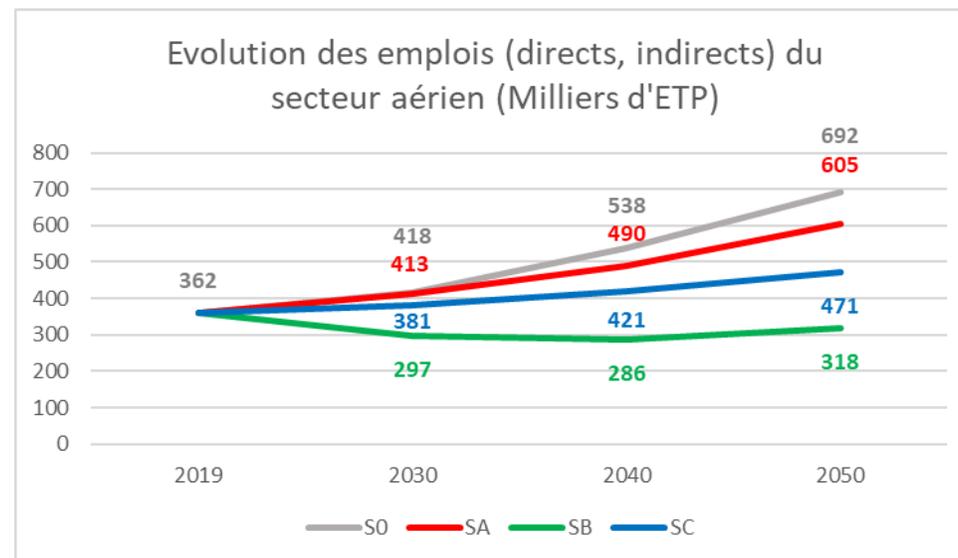


# Le scénario de modération de trafic, un scénario à impact limité

- L'évolution du nombre d'emplois et de la valeur ajoutée du secteur aérien est directement liée à celle du chiffre d'affaires de la filière, qui est elle-même corrélée au niveau de trafic aérien.
- Par conséquent, le nombre d'emplois et la valeur ajoutée du secteur aérien en France augmentent dans le **scénario A** et le **scénario C**, et ce en lien avec l'augmentation du trafic.
- Le **scénario B** a un impact limité sur ces deux aspects puisqu'il conduit à une stabilisation du trafic aérien entre 2023 et 2050. Dans ce scénario, la France continue à contribuer à l'amélioration de l'efficacité énergétique de la flotte mondiale en exportant des avions performants. La croissance du secteur de la construction aéronautique française dépendra du volume d'avions exportés, et donc des efforts de modération de trafic consentis par les autres pays.

## A RETENIR

- **362 000 emplois** directs et indirects en 2019
- Evolution de l'activité **proportionnelle au trafic aérien**
- Secteurs du **transport et des services** sont les plus impactés
- Entre **300 000 et 600 000 emplois directs et indirects en 2050** (construction aéronautique exclue)



# Subventions et investissements publics

## Le montant des subventions publiques nécessaires à l'atténuation complète des effets prix pourrait atteindre 2 et 4 milliards d'euros par an à l'horizon 2050

- Les Etats peuvent réduire l'impact sur le trafic des effets prix, liés à la modernisation des flottes aériennes et à l'intégration de CAD et d'hydrogène bas-carbone, en subventionnant le secteur aérien.
- Les montants des subventions à accorder au secteur pour atténuer les effets prix seraient élevés.
- Ces montants deviennent significatifs à partir de 2030 lorsque les effets prix liés à l'utilisation des CAD deviennent importants, et augmentent, rapidement au cours du temps (en lien avec l'augmentation rapide de l'utilisation de CAD).
- Sur la période 2030-2050, leur montant cumulé pourrait être de l'ordre de plusieurs dizaines de milliards d'euros, et ils pourraient même atteindre entre 2 et 4 milliards d'euros par an à l'horizon 2050.

## Des transitions associées à des investissements publics conséquents

- L'étude ne comporte pas d'évaluation des investissements nécessaires au développement de nouveaux modèles d'avions, à l'accélération du rythme de renouvellement des flottes, ainsi qu'au développement des capacités nationales de production de CAD et d'hydrogène bas-carbone.
- Il est certain que des investissements publics seront nécessaires pour accompagner la mobilisation des leviers de l'efficacité énergétique d'une part, et la baisse de l'intensité carbone du mix énergétique d'autre part ; il est également certain que ces investissements seront significatifs.

# Mesures de mise en œuvre des scénarios

**Objectif : Identifier les principales mesures pouvant être mises en œuvre pour décarboner le secteur**

- L'étude a permis d'identifier 10 familles de mesures :
  1. Rehaussement de l'ambition des objectifs climatiques nationaux et internationaux relatifs au secteur aérien ;
  2. Accompagnement à la diversification des activités des acteurs du secteur et à la reconversion professionnelle ;
  3. Réduction et/ou modération du trafic aérien des Français ;
  4. Réduction et/ou modération du trafic aérien des étrangers vers et depuis la France ;
  5. Report modal vers des modes de transport moins émetteurs ;
  6. Amélioration de l'efficacité énergétique des flottes et augmentation du taux de remplissage des avions ;
  7. Amélioration des opérations en vol et au sol ;
  8. Intégration de carburants moins émetteurs dans les avions ;
  9. Décarbonation des aéroports ;
  10. Compensation des émissions résiduelles.
- La France a déjà commencé à mettre en place certaines mesures : Appel à projets national pour la production de carburants aéronautiques durables, Plan de soutien à l'aéronautique, articles de la loi Climat & Résilience...
- Des travaux supplémentaires sont nécessaires afin d'étudier la mise en œuvre et les impacts des mesures supplémentaires qui pourraient être mises en œuvre ;
- En particulier, il est nécessaire d'étudier et d'expérimenter les mesures de maîtrise du trafic afin d'évaluer leurs impacts climatiques, environnementaux et socio-économiques.

## Contenu des fiches mesures disponibles dans le rapport de l'étude

- ✓ Objectifs
- ✓ Exemples de mesures (réglementaires, économiques, institutionnelles, sensibilisation, influence...)
- ✓ Acteurs concernés
- ✓ Gains attendus
- ✓ Limites identifiées
- ✓ Leviers permettant de lever ces limites

Mesure	Acteurs concernés	Gains attendus	Limites identifiées	Leviers permettant de lever ces limites
...	...	...	...	...



# RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



**Pour télécharger l'étude :**

<https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/5815-elaboration-de-scenarios-de-transition-ecologique-du-secteur-aerien.html>

Service Transports et Mobilité / Marc Cottignies / [marc.cottignies@ademe.fr](mailto:marc.cottignies@ademe.fr)

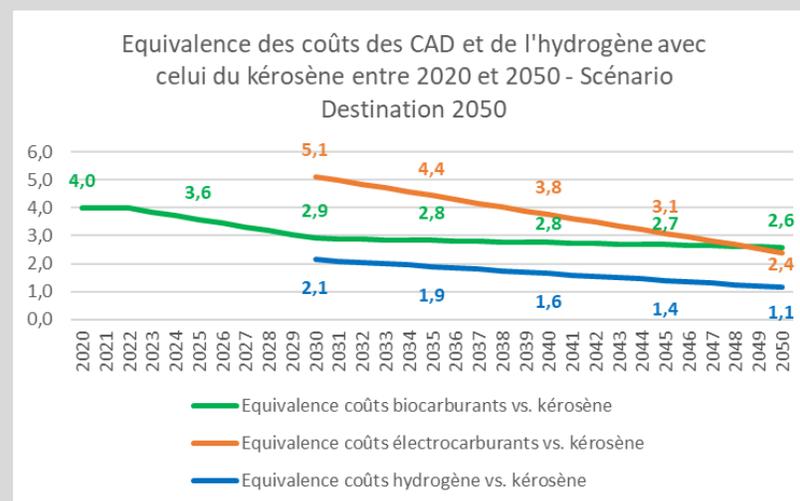
---

# Des effets prix incertains

**La modernisation des flottes et la décarbonation du mix de carburants auront pour effet de diminuer la demande de trafic. L'amplitude de ces effets prix est encore très incertaine.**

- Les incertitudes liées à l'amplitude des effets prix sont liées aux incertitudes suivantes :
  - Incertitudes sur l'évolution des coûts de production et de transport des CAD et de l'hydrogène ;
  - Incertitudes sur l'ampleur de la hausse des coûts d'exploitation des compagnies aériennes ;
    - La hausse des coûts des avions est par exemple à mettre en regard des futures économies de carburants réalisées grâce aux flottes plus efficaces.
  - Incertitudes sur l'amplitude du report des hausses des coûts d'opération sur le prix des billets ;
  - Incertitudes sur les baisses de demande liées à la hausse du coût des billets;
  - Incertitudes sur les montants des subventions publiques qui seront accordées aux différentes filières.

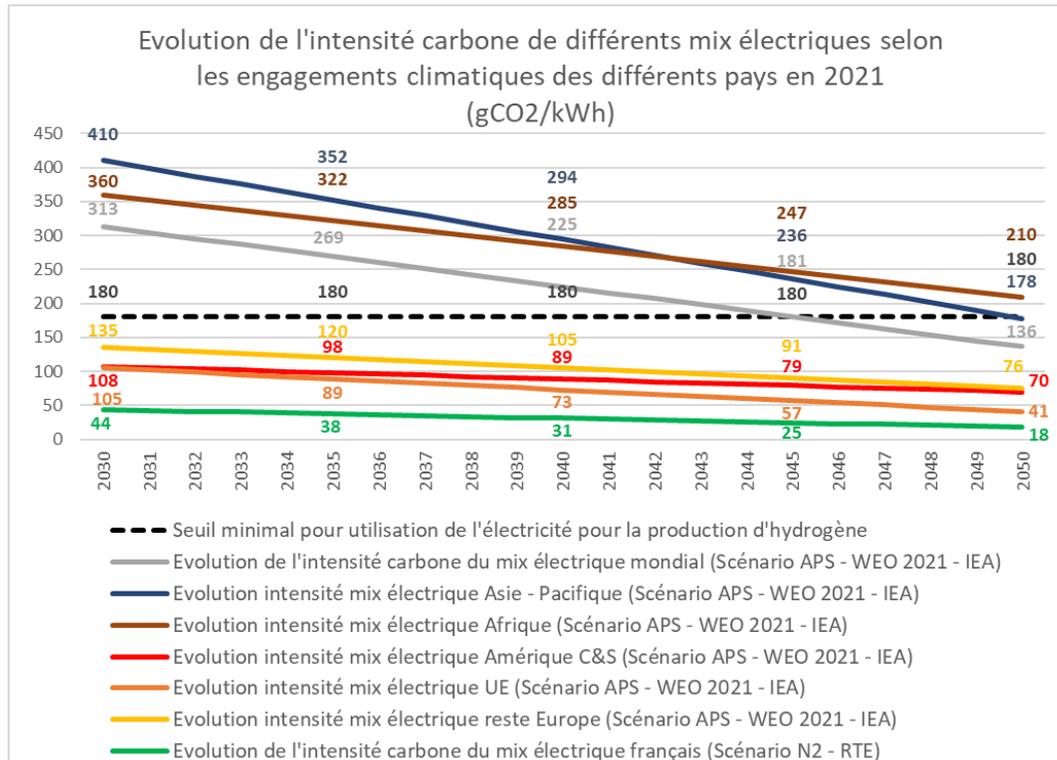
*Les projections d'évolution des coûts des CAD et de l'hydrogène utilisées dans les scénarios sont celles du scénario « Destination 2050 »*



# Pays où la production d'électrocarburants est pertinente

La production d'électrocarburants n'est pas un levier pertinent de décarbonation pour les vols au départ de l'Outre-mer, de l'Amérique du Nord, de l'Asie, de l'Afrique et de l'Océanie.

## Répartition des pays par région dans l'édition 2021 du WEO de l'AIE



Les électrocarburants sont considérés comme pertinents dans les scénarios de transition dans les vols au départ :

- De la **France métropolitaine** : il est en effet considéré que les capacités de production d'électricité des Outre-mer ne seront pas assez décarbonées à l'horizon 2050 ;
- De l'**Union Européenne** ;
- Du **reste Europe** (Espace Economique Européen, Balkans, Royaume-Uni, Turquie, Israël et Groenland), même si les électrocarburants sont pertinents seulement à partir de 2040 pour cette région ;
- De l'**Amérique Centrale et du Sud**.

# La certification des moteurs : un verrou technique à lever

**Le développement rapide et la certification de moteurs compatibles avec un mix composé de 100% de CAD sont essentiels pour ne pas limiter la capacité future des flottes aériennes à embarquer des CAD**

En 2050	Scénario A	Scénario B	Scénario C
Part des flottes certifiées pour embarquer 100% de CAD	80%	44%	71%
Capacité d'emport moyenne de CAD des flottes	90%	78%	86%
CAD dans les avions certifiés 100% CAD au départ des zones pertinentes*	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocarb. : 28%</li> <li>• Electroc. : 53%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocarb. : 50%</li> <li>• Electroc. : 50%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocarb. : 28%</li> <li>• Electroc. : 35%</li> </ul>
CAD dans les avions certifiés 50% CAD au départ des zones pertinentes*	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocarb. : 17%</li> <li>• Electroc. : 33%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocarb. : 25%</li> <li>• Electroc. : 25%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocarb. : 22%</li> <li>• Electroc. : 28%</li> </ul>
CAD dans les avions au départ des zones non pertinentes*	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocarb. : 28%</li> <li>• Electroc. : 0%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocarb. : 50%</li> <li>• Electroc. : 0%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocarb. : 28%</li> <li>• Electroc. : 0%</li> </ul>

\* Du point de vue de la production d'électrocarburants (voir slide 14)

# Evolution des consommations d'énergie

**Dans les scénarios de transition, entre 2019 et 2050, les consommations d'énergie finale diminuent mais les consommations d'énergie primaire augmentent**

- La baisse des consommations d'énergie finale est liée aux progrès d'efficacité énergétique des flottes aériennes, qui compensent les hausses de consommations liées aux augmentations du trafic dans le **scénario A** et le **scénario C** ;
- La hausse des consommations d'énergie primaire est liée aux consommations de CAD et d'hydrogène bas-carbone.

**Energie primaire et énergie finale consommée dans les différents scénarios en 2019 et en 2050  
(Périmètre « Départs et arrivées France »)**

	2019	2050			
	SO/SA/SB/SC	SO	SA	SB	SC
Kérosène consommé (MtepEF)	7,8	9,3	1,8	1,1	2,2
Biocarburants consommés (MtepEF)	0,0	0,0	1,7	1,6	1,5
Hydrogène consommé (MtepEF)	0,0	0,0	0,4	0,0	0,2
Electrocarburants consommés (MtepEF)	0,0	0,0	2,2	1,1	1,2
<b>Energie finale totale consommée (MtepEF)</b>	<b>7,8</b>	<b>9,3</b>	<b>6,0</b>	<b>3,8</b>	<b>5,2</b>
Pétrole brut consommé pour produire du kérosène (MtepEP)	7,9	9,5	1,8	1,1	2,3
Résidus de culture consommés pour produire des biocarburants (MtepEP)	0,0	0,0	8,4	8,0	7,5
Electricité consommée pour produire des électrocarburants et de l'hydrogène (TWhEF)	0,0	0,0	78,1	36,1	43,6
Energie primaire consommée pour produire l'électricité nécessaire à la production des électrocarburants et de l'hydrogène (MtepEP)	0,0	0,0	17,4	8,0	9,7
<b>Energie primaire totale consommée (MtepEF)</b>	<b>7,9</b>	<b>9,5</b>	<b>27,6</b>	<b>17,1</b>	<b>19,5</b>

# Une nécessaire évaluation des politiques liées au secteur

**Les subventions publiques peuvent permettre d'accélérer la mobilisation des leviers techniques de décarbonation, mais peuvent être associées à des effets pervers**

- Les Etats peuvent réduire l'impact sur le trafic des effets prix liés à la modernisation des flottes aériennes et à l'intégration de CAD et d'hydrogène bas-carbone en subventionnant le secteur aérien. Néanmoins, les montants des subventions à accorder au secteur pour atténuer les effets prix sont très élevés (voir slide 41).
- Subventionner le secteur aérien pour atténuer les effets prix pourrait potentiellement conduire à une hausse des émissions cumulées de CO<sub>2</sub> sur la période 2020-2050, notamment si les baisses d'émissions liées à l'accélération de la transition du secteur ne permettent pas de compenser les hausses d'émissions liées à la baisse des effets prix (et donc à la hausse du trafic).
- Il est donc essentiel que la France quantifie systématiquement les enjeux en termes de gain ou d'augmentation d'émissions de GES de ses politiques publiques relatives au secteur aérien, et ce dès le stade de leur élaboration « pour arbitrer les directions et mesures structurelles proposées, avec une prise en compte adaptée des enjeux GES associés » comme le recommande le Haut Conseil pour le Climat.