

## Améliorations techniques

L'évolution des architectures moteurs joue un rôle clé dans la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Safran et General Electric, par exemple, ont développé une série de moteurs toujours plus efficaces :

- Le CFM56 (-25 % de consommation en 1982)
- Le LEAP (-15 % en 2016)
- Le futur Projet RISE, avec une réduction visée de 20 % d'ici 2035 grâce à un concept **non caréné en "open fan"**.

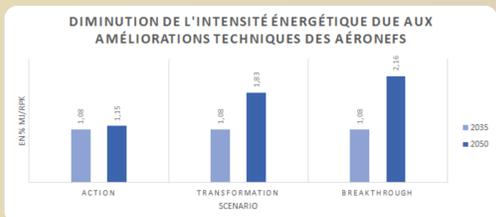
Cette dernière configuration, améliore le rendement (*r*) en réduisant traînée et poids :

$$r = \frac{\text{travail propulsif utile}}{\text{énergie cinétique apportée}} = \frac{2}{1 + \frac{V_{\text{ejection}}}{V_{\text{vol}}}}$$

Objectif : maximiser *r*.

### Architectures en Blended Wing Body (BWB) :

- Le fuselage est intégré aux ailes
- Amélioration de l'aérodynamisme notamment par une augmentation de la finesse de 22 % permettant une réduction de la consommation de carburant



Graver, B., Mukhopadhyaya, J., Zheng, X. S., Rutherford, D., Mukhopadhyaya, J., & Pronk, E. (2022). Aligning aviation with the Paris agreement.

Avec une diminution de 2,16 % de l'intensité énergétique dans le meilleur scénario (*Breakthrough*), les simples **améliorations techniques ne sont pas suffisantes** pour garantir la neutralité carbone visée pour 2050. Pour l'atteindre, il faudra agir sur le carburant lui-même, voire déployer des technologies d'émissions négatives.

## Nouvelles technologies

### Électricité

Les avions 100% électriques aujourd'hui

Vols de *courte* durée et avec *moins d'une dizaine de passagers*.

**Pipistrel** : 2 ou 4 passagers. Certifiés pour la formation des pilotes.

**Eviation Alice** : 9 passagers sur une distance de 815 km.

### Avantages :

- Pas d'émissions pendant le vol
- Peu cher
- Peu de nuisances sonores
- Efficacité énergétique batterie **~90 %** > moteurs traditionnels **~40 %**

### Inconvénients

- Poids des batteries => pas de vols + longs ou avec une charge utile + importante possible.
- Densité énergétique du carburant d'un moteur thermique **~40MJ/kg** > densité énergétique batterie **~1MJ/kg**.

**Futur** : Hybridation combinant propulsion classique et électrique pour des aéronefs + grands et + lourds

### Hydrogène

Une alternative prometteuse

Selon l'Agence Internationale de l'Énergie :

- **13 %** des besoins mondiaux en carburant d'aviation pourraient être couverts par l'hydrogène **d'ici 2050**.
- Réduction potentielle des émissions de CO<sub>2</sub> de **3,5 gigatonnes par an**.

### Des projets ambitieux

Exemple : Airbus ZEROe  
• Objectif : créer des avions zéro émission **d'ici 2035**.  
• L'hydrogène sera utilisé comme **source principale** de carburant.

- ### Les défis actuels
- **Coût élevé** de la production d'hydrogène vert.
  - Facteurs clés pour **réduire** ces coûts :
    - a. Baisse des coûts **des énergies renouvelables**.
    - b. Avancées dans les technologies de **stockage** et de **transport**.
    - c. Augmentation de l'**échelle de production**.

Si l'avion était un pays :  
8e pays le plus émetteur du monde

9 kgCO<sub>2</sub>/100km/passager

2,8 % des émissions mondiales

Le transport le + polluant (intensité énergétique/pers/km)

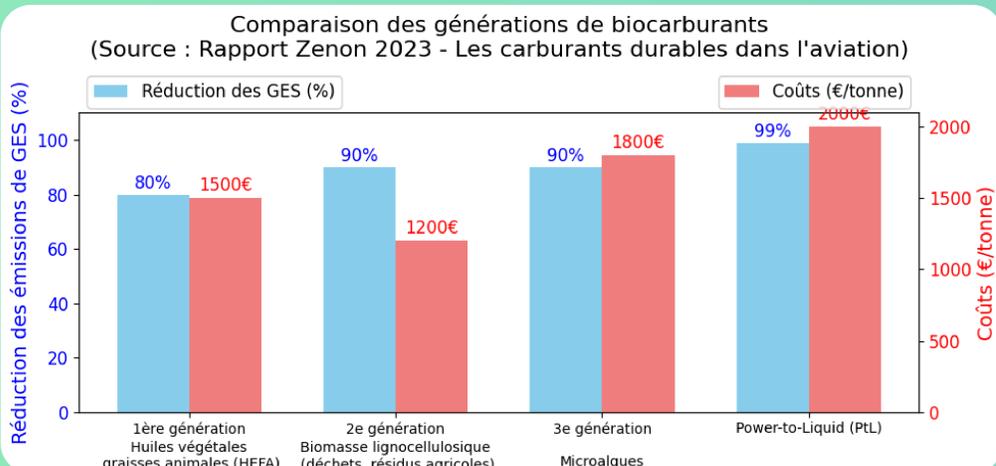
8 % de la consommation mondiale de pétrole



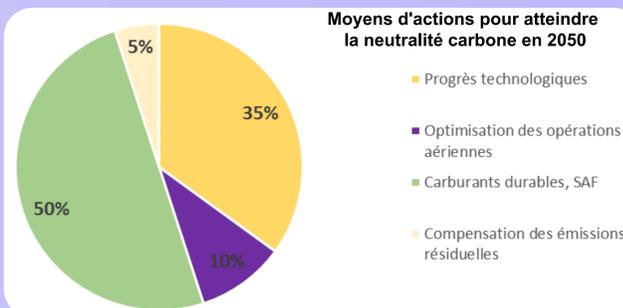
## Sustainable Aviation Fuel (SAF)

**Biocarburants : un levier clé pour la décarbonation aérienne**

- Réduction des GES : 50 à 90 % selon les sources (ex. : 71 % ATAG, 80 % IATA).
- Adoption limitée : moins de 1 % des vols européens, freinée par coût élevé (1 500 €/tonne vs 400 €/tonne pour le kérosène) et faible disponibilité.
- Compatibilité : carburants "drop-in" utilisables jusqu'à 50 % avec kérosène sans modification des moteurs.
- Défis : coût élevé, production insuffisante malgré une baisse amorcée en 2023.
- Enjeux scientifiques : forte attention portée sur les SAF comme levier pour décarboner l'aviation.



## Politiques et scénarios



SAFRAN RAPPORT INTÉGRÉ 2023. (s. d.). <https://web.safran-group.com/r2023/#page=35>

Trois scénarios de décarbonation envisagés par l'ICCT (rapport de juin 2022) :

- **Action** : minimaliste.
- **Transformation** : intermédiaire.
- **Breakthrough** : plus ambitieux.

### SAFs (Sustainable Aviation Fuels)

- Issus de biomasse ou d'énergies renouvelables
- Compatibles avec les infrastructures existantes -> couvriraient 50 % à 100 % de la consommation selon les scénarios.

**Efficacité énergétique des avions**  
Aucune avancée majeure avant 2035 prévue, mais de nouveaux avions plus efficaces pourraient être introduits après cette date selon les scénarios envisagés.

### Quelques objectifs fixés par les accords de Paris

- neutralité carbone d'ici 2050
- mise en place par l'ICAO du plan CORSIA
- Pays invités à soumettre des NDCs

BIBLIOGRAPHIE  
 • Safran et l'ONERA lancent les essais en soufflerie du futur Open Fan. (s. d.). GIFAS. <https://www.gifas.fr/press-summary/safran-et-l-onera-lancent-les-essais-en-soufflerie-du-futur-open-fan>  
 • Safran (2024). La décarbonation du secteur aérien [Conférence donnée à l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris le 30 octobre 2024].  
 • Ammar, S. (2013). Design conceptuel d'un avion "Blended Wing Body" de 200 passagers [Master's thesis, École Polytechnique de Montréal]. [https://publications.polymtl.ca/12931/1/2013\\_SamiAmmar.pdf](https://publications.polymtl.ca/12931/1/2013_SamiAmmar.pdf)  
 • ACI, Long-Term Carbon Goal Study for Airports, Report, 2021, 80p  
 • Rapport Zenon 2023 - Les carburants durables dans l'aviation

