

# ReFuelEU Aviation et les SAF : il faut à présent mobiliser les ressources en biomasse et en électricité nécessaires





## En bref

Avec l'adoption du règlement ReFuelEU Aviation, l'Union européenne a défini une trajectoire claire pour le déploiement des carburants d'aviation durables (*sustainable aviation fuels*, SAF), avec un objectif de 70 % de SAF en 2050, dont 35 % sous forme de carburants renouvelables d'origine non biologique.

L'atteinte de ces objectifs, les nouveaux développements attendus dans la conception des avions et les progrès dans la gestion du trafic permettront au secteur de l'aviation de mettre un terme à sa dépendance aux combustibles fossiles. Ces objectifs sont ambitieux, d'autant plus que le transport aérien est plus difficile à décarboner que les secteurs tels que le transport routier ou le bâtiment, mais ils peuvent être atteints comme le soulignent les analyses d'impact de la Commission.

Equilibre des Energies se félicite de l'adoption de ce règlement ainsi que de l'adoption d'autres initiatives législatives contribuant à la décarbonation du secteur aérien, telles que l'extension de la directive EU-ETS et l'actualisation de la directive RED.

La priorité est désormais de définir une stratégie industrielle pour le développement d'une capacité de production de SAF pouvant couvrir les besoins du secteur aérien européen afin d'atteindre les objectifs de ReFuelEU, sans devoir recourir à l'excès aux importations. En outre, il sera essentiel de veiller à ce que cette nouvelle industrie européenne des SAF reste compétitive en termes de prix afin de maintenir des conditions de concurrence équitables entre les acteurs de l'UE et ceux des pays tiers.

La mise en œuvre de cette stratégie industrielle nécessite d'évaluer la disponibilité des ressources nécessaires à la production des SAF et de développer les infrastructures pour produire et acheminer ces ressources – essentiellement de la biomasse et de l'électricité à faible émission de carbone – dans les quantités et dans les délais requis par ReFuelEU.

Dans cette perspective, le présent document évalue les besoins européens en biomasse et en énergie nécessaires à la mise en œuvre du règlement ReFuelEU dans différents scénarios pouvant être suivis pour en atteindre les objectifs.

**Deux scénarios alternatifs sont envisagés :** l'un est cohérent avec le scénario initialement proposé par la Commission dans l'analyse d'impact de ReFuelEU, l'autre est basé sur un compromis entre des besoins réduits en biomasse – dans la mesure où la biomasse pourrait devenir un goulet d'étranglement majeur dans la production de SAF – et une consommation

accrue d'électricité bas carbone. Un troisième scénario explore l'impact d'un mandat d'incorporation de 85 %, tel que proposé par le Parlement européen lors de la phase de négociation du règlement.

Les résultats de cette évaluation mettent en évidence les efforts de planification que les États membres devraient entreprendre, sous la coordination de la Commission, afin d'atteindre les objectifs adoptés.

### Ces résultats conduisent aux recommandations suivantes :

- **en ce qui concerne la biomasse, compte tenu des ressources disponibles limitées, les scénarios associés à une consommation plus réduite de biomasse et à une utilisation accrue d'électricité devraient être privilégiés ;**
- **le secteur de l'aviation devrait être priorisé pour l'utilisation des ressources de biomasse, car la plupart des autres secteurs ont accès à d'autres solutions, telles que l'électrification directe, pour leur décarbonation ;**
- **afin de garantir qu'une quantité suffisante d'électricité à faible teneur en carbone soit disponible pour la production de carburants de synthèse, il est nécessaire de planifier à l'avance le développement de moyens de production adéquats, probablement un mix d'énergies renouvelables et de nouvelles capacités nucléaires.**

## En route pour *Fit for 55*

L'Union européenne s'est engagée dans un programme ambitieux ayant pour objectif d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Dans ce contexte, le paquet européen *Fit for 55* vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre d'au moins 55 % d'ici 2030 par rapport à 1990. Deux textes sont cruciaux pour le secteur de l'aviation :

- **le système européen d'échange de quotas d'émission (EU-ETS)**, qui fixe un calendrier de suppression rapide des quotas gratuits de CO<sub>2</sub> pour l'aviation ;
- **le règlement ReFuelEU sur l'aviation** qui impose d'accroître l'utilisation des carburants durables pour l'aviation (SAF) en fixant des mandats d'incorporation de SAF passant de 2 % en 2025 à 6 % en 2030, 20 % en 2035, 34 % en 2040, 42 % en 2045 et 70 % en 2050.

Cette évolution vers les SAF constitue une transformation fondamentale de l'écosystème du transport aérien. L'un des principaux défis associés aux SAF réside dans leur disponibilité actuellement limitée et leur prix trois à huit fois plus chers que le kérosène conventionnel. Un autre défi consiste à s'assurer que les matières premières et l'électricité nécessaires à leur production seront disponibles dans les quantités requises.

Le présent document aborde ce deuxième défi en évaluant la disponibilité de la biomasse et de l'électricité nécessaires pour décarboniser le secteur de l'aviation. Il s'appuie sur l'évaluation réalisée par la Commission européenne dans son étude d'impact accompagnant la proposition initiale de règlement ReFuelEU et repose également sur d'autres évaluations réalisées par l'ONERA, le laboratoire aérospatial français.





## Différents types de SAF nécessitant différents types de matières premières

Le projet initial de règlement ReFuelEU reconnaissait trois types de SAF :

- **les biocarburants produits par voies conventionnelles (typiquement HEFA)** à partir d'huiles végétales et de déchets de lipides, c'est-à-dire d'huiles de cuisson usagées ou de graisses animales classées à l'annexe IX, partie B, de la directive RED II. La filière des HEFA est la voie la moins coûteuse et a l'avantage d'être industriellement mature. Mais la disponibilité des ressources en biomasse conforme aux exigences de la directive RED est un facteur limitatif important ;
- **les biocarburants avancés**, produits à partir de matières classées à l'annexe IX, partie A, de la directive RED : biomasse lignocellulosique (résidus agricoles ou forestiers, matériaux herbacés), algues, déchets biologiques. Les biocarburants avancés peuvent être produits par la voie de la gazéification suivie de réactions Fischer-Tropsch (FT) ou par celle de l'Alcohol-to-Jet (AtJ). Ces voies peuvent conduire à une production supérieure à celle de la filière des HEFA, mais ne sont actuellement qu'en phase de démonstration.
- **les carburants synthétiques renouvelables pour l'aviation (Power-to-Liquid-fuels ou e-fuels)** sont produits par la conversion en CO de ressources en CO<sub>2</sub>, suivie de réactions Fischer-Tropsch avec de l'hydrogène bas-carbone produit par électrolyse de l'eau. Pour que la filière soit décarbonée, le CO<sub>2</sub> peut être soit capturé à partir des procédés thermiques utilisant la biomasse (BECCS), soit directement capturé à partir de l'air (DAC).

Au cours de la phase de négociation du règlement, le champ d'application des carburants reconnus comme des SAF a été élargi par :

- **les biocarburants autres que ceux produits à partir des ressources énumérées à l'annexe IX**, partie A ou B, de la directive RED II, à l'exception des biocarburants produits à partir de cultures destinées à l'alimentation humaine et animale, sous réserve de certains critères de durabilité et dans la limite de 3 % dans le calcul de la part des SAF dans les carburants d'aviation ;
- sous certaines conditions, **les carburants d'aviation à base de carbone recyclé**, en utilisant le CO<sub>2</sub> capturé à partir de processus industriels ;
- **l'hydrogène pour l'aviation**, renouvelable ou à faible teneur en carbone, qui n'est pas considéré stricto sensu comme un SAF mais qui est pris en compte dans le calcul de la part des SAF dans les carburants d'aviation.

Dans cet article, par souci de simplification, nous adoptons une classification légèrement différente et distinguons :

- **les biocarburants :**
  - **les HEFA**, à savoir les biocarburants conventionnels produits par la filière HEFA ;
  - **les biocarburants avancés, appelés BtL (Biomass to Liquid)**, produits à partir des ressources énergétiques énumérées dans la partie B de l'annexe IX de la directive RED II par le biais de la filière FT.

Les biocarburants sont produits à partir de la biomasse avec l'ajout de l'électricité (en quantités plus importantes pour le BtL que pour le HEFA). Dans le présent article, les AtJ ne sont pas pris en compte car, lorsqu'ils sont utilisés sur des matières premières lignocellulosiques, leur rendement est limité.

- **les Ptl (Power to Liquid)**, c'est-à-dire les carburants liquides synthétiques qui peuvent être produits dans une phase transitoire à partir de carbone recyclé et qui seront issus, à l'avenir, de carbone directement capturé dans l'air (DAC).
- **les e-BtL**, dérivé de la filière FT, où de l'hydrogène est injecté après la phase de gazéification de la biomasse afin de permettre d'atteindre l'équilibre stœchiométrique des réactions Fischer-Tropsch et d'augmenter la quantité de biocarburants produits. Les e-BtL sont un compromis entre BtL et Ptl.
- **l'hydrogène pour l'aviation.**

## Trois scénarios pour décarboner les carburants

Cette note examine trois scénarios dans le but de déterminer les quantités de SAF qui seront nécessaires jusqu'en 2050 et la quantité de ressources énergétiques (biomasse et électricité) qui seront requises.

Ces scénarios, reposant sur un modèle mis au point par l'ONERA, sont les suivants :

- **le scénario 1 (REFuelEU)** correspond au respect de la trajectoire du règlement REFuelEU conduisant à 70 % de SAF en 2050 avec un minimum de 35 % de carburants synthétiques pour l'aviation à cet horizon ;
- **le scénario 2 (RefuelEU with e-BtL)** poursuit le même objectif mais repose beaucoup plus largement sur le développement de la filière e-BtL, afin de limiter les besoins en biomasse ;
- **le scénario 3 (85 % of SAF in 2050)** reprend l'hypothèse de 85 % de SAF en 2050, en supposant qu'un tel objectif sera nécessaire pour atteindre la neutralité carbone de l'aviation. Comme le scénario 2, il s'appuie largement sur le développement des e-BtL.

Ces scénarios ont été appliqués à la zone UE des 27. Ils tiennent compte de l'évolution prévisionnelle du trafic régional, court, moyen et long courrier et de toutes les mesures qui contribueront à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> :

- le renouvellement des flottes actuelles par l'acquisition d'aéronefs de dernière génération (basé sur la durée de vie moyenne des aéronefs de 20 ans) ;
- à partir de 2035, l'arrivée d'une nouvelle génération d'avions permettant de réduire les émissions de 20 à 30 % ;
- l'optimisation des opérations (trafic aérien et exploitation des aéroports) ;
- l'émergence d'avions à l'hydrogène (H<sub>2</sub>) à partir de 2035/40 ;
- l'incorporation d'un pourcentage croissant de SAF.



## SCÉNARIO 1 : REFUELEU

Le scénario 1 est cohérent avec ReFuelEU : 70 % de SAF en 2050 (dont 35 % de BtL et HEFA et 35 % de PtL). La filière des HEFA est censée rapidement atteindre un plateau de 2,5 Mt. La filière BtL inclut l'AtJ et Gas-FT mais l'AtJ n'est pas censé se développer de manière significative. L'e-BtL est comptabilisé pour zéro. En outre, l'hydrogène est censé couvrir 9,6 % des besoins en énergie (tableau 1 et figures 1 à 3).

Tab. 1 : Hypothèses principales du scénario 1 pour 2050.

Scen 1 - 2050	Y compris H <sub>2</sub>	Jet fuels seulement
BtL & HEFA	31,6 %	35,0 %
e-BtL	-	-
PtL	31,6 %	35,0 %
Kero	27,1 %	30,0 %
Sous-total	90,3 %	100,0 %
Hydrogène	9,6 %	
Total	100,0 %	

Fig. 1 : Scénario 1 - Répartition entre les carburants (sans l'hydrogène).

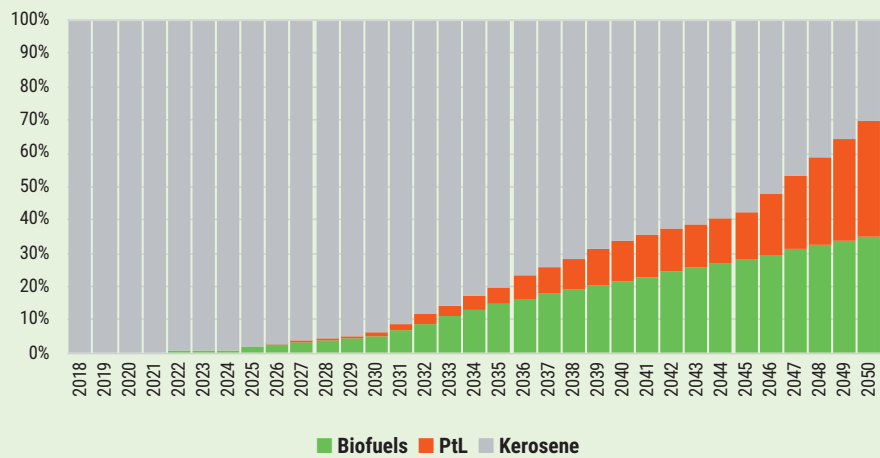


Fig. 2 : Scénario 1 - Répartition entre les carburants en 2050 (y compris l'hydrogène).

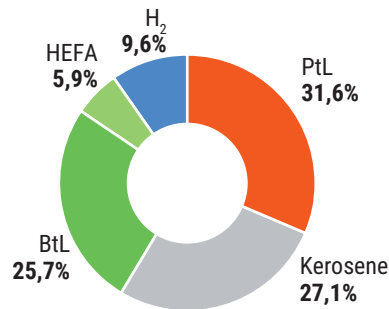
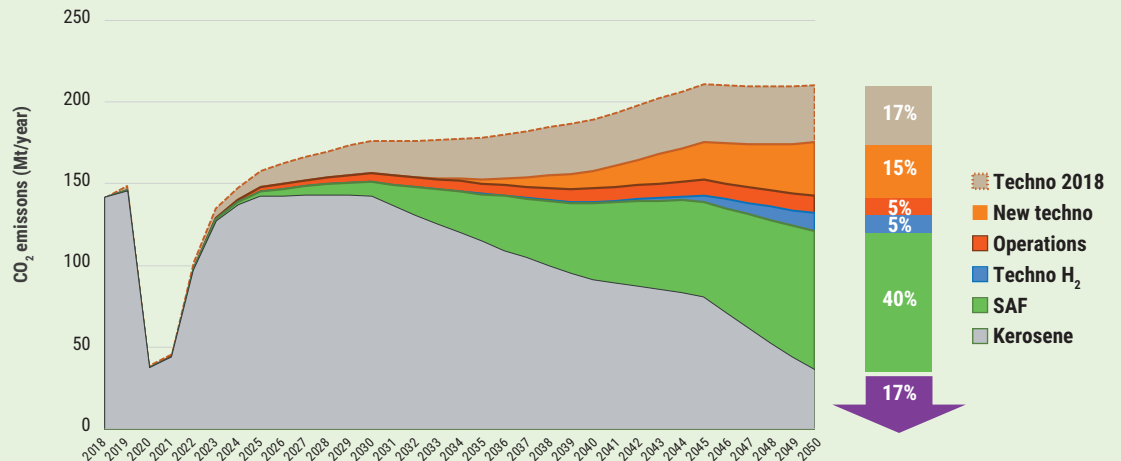


Fig. 3 : Évolution des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur de l'aviation dans le scénario 1.





Sur la base de ces hypothèses, les émissions de CO<sub>2</sub> directement rattachées au secteur aérien évoluent conformément à la figure 3. Il en ressort qu'il resterait en 2050 un volume d'émissions correspondant à 17 % d'émissions tendancielle qu'il faudrait compenser par d'autres moyens.

Ce scénario 1 exige une quantité croissante de biomasse au cours des premières décennies. Ensuite, en raison de l'émergence de la filière PtL, l'électricité bas-carbone prend le relais (figure 4). Les quantités de biomasse et d'électricité nécessaires sont résumées dans le tableau 5 pour 2030, 2035, 2040 et 2050. Ces quantités s'élèvent respectivement à 90,0 Mt pour la biomasse et à 570,1 TWh pour l'électricité en 2050.

Le chiffre de 90 Mt est considérablement plus élevé que l'évaluation proposée pour 2050 par la Commission européenne dans son étude d'impact (62,5 Mt de biomasse solide en 2050). Cependant, il n'est pas clair si l'évaluation de la Commission inclut ou non les quantités de biomasse liées aux coproduits de la production de SAF. Si nous considérons uniquement la biomasse associée à la production de SAF, les 90 Mt sont ramenées à 63,3 Mt, ce qui est très proche de l'évaluation de la Commission.

Les émissions amont associées à la production de SAF doivent également être prises en compte. Il est notamment essentiel que l'électricité devienne bas-carbone, afin d'accroître l'efficacité de la conversion et de réduire toutes les émissions dues à la production et au transport des SAF (figure 5).

Fig. 4 : Ressources énergétiques nécessaires dans le scénario 1 (biomasse et électricité).

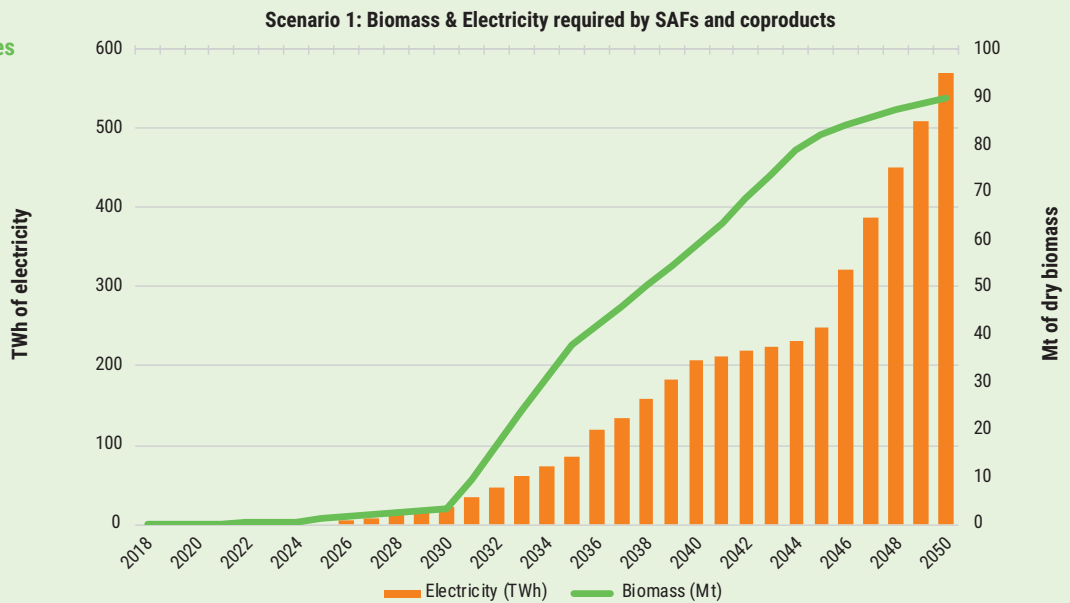
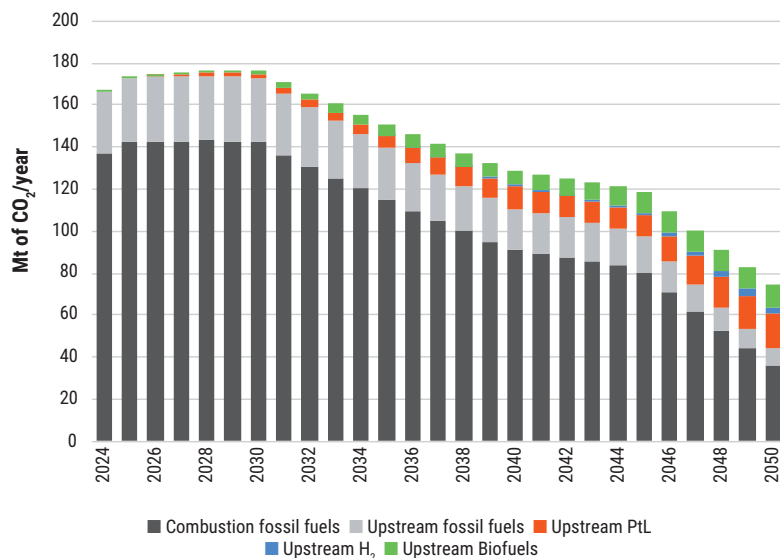


Fig. 5 : Évolution des émissions calculées en cycle de vie dans le scénario 1.





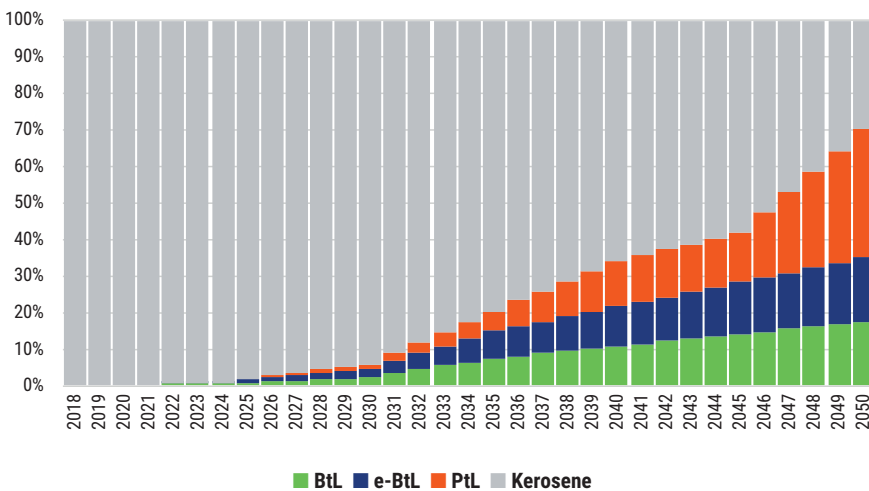
## SCÉNARIO 2 : ReFuelEU avec e-BtL

Le scénario 2 est basé sur le même objectif de décarbonisation que le scénario 1 (70 % de la SAF en 2050), mais il s'appuie davantage sur l'e-BtL afin de réduire les besoins en ressources énergétiques issues de la biomasse par rapport au scénario 1.

Les données et les résultats relatifs au scénario 2 sont résumés dans le tableau 2 et les figures 6 à 7.

Dans ce scénario, les émissions de CO<sub>2</sub> à compenser en 2050 restent très proches de 16/17 % des émissions tendanciennes. Mais les quantités de biomasse sèche nécessaires en 2050 sont ramenées à 56,2 Mt tandis que la quantité d'électricité bas-carbone exigée est portée à 711 TWh, c'est-à-dire 21 % de la production actuelle d'électricité dans l'UE27.

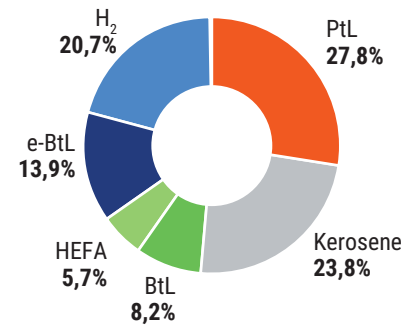
Fig. 6 : Scénario 2 – Répartition entre les carburants (sans l'hydrogène).



Tab. 2 : Hypothèses principales du scénario 2 pour 2050.

Scen 2 - 2050	Y compris H <sub>2</sub>	Jet fuels seulement
BtL & HEFA	13,9 %	17,5 %
e-BtL	13,9 %	17,5 %
PtL	27,8 %	35,0 %
Kero	23,8 %	30,0 %
Sous-total	79,4 %	100,0 %
Hydrogène	20,7 %	
Total	100,0 %	

Fig. 7 : Scénario 2 - Répartition entre les carburants en 2050 (y compris l'hydrogène).



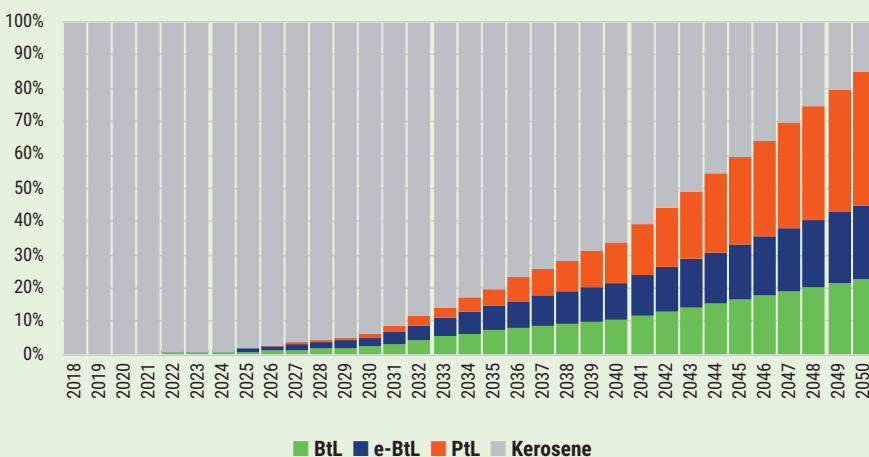
## SCÉNARIO 3 : 85 % de SAF en 2050

Le scénario 3 est basé sur le même scénario de décarbonisation que le scénario 2, mais vise à atteindre une proportion de 85 % de SAF en 2050. Cela permettrait, grâce aux puits de carbone, d'atteindre la neutralité carbone de l'aviation.

Les données et les résultats relatifs au scénario 3 sont résumés dans le tableau 3 et les figures 8 à 9.

Dans le scénario 3, les émissions de CO<sub>2</sub> qui doivent être compensées par d'autres mesures ou par des puits de carbone en 2050 sont ramenées à 8 % des émissions tendanciennes. Mais la quantité de biomasse sèche nécessaire en 2050 est portée à 176,9 Mt et la quantité d'électricité nécessaire est de 804,1 TWh (soit 24 % de la production annuelle actuelle d'électricité de l'UE27).

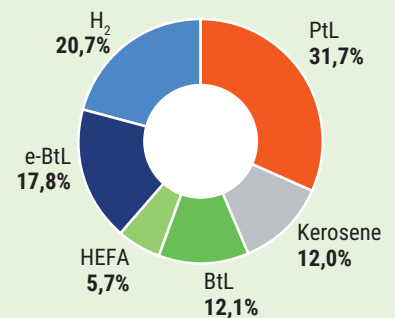
Fig. 8 : Scénario 3 - Répartition entre les carburants (sans l'hydrogène).



Tab. 3 : Hypothèses principales du scénario 3 pour 2050.

Scen 3 - 2050	Incluidnd H <sub>2</sub>	Jet fuel only
BtL & HEFA	17,8 %	22,4 %
e-BtL	17,8 %	22,4 %
PtL	31,7 %	39,9 %
Kero	12,0 %	15,2 %
Sous-total	79,4 %	100,0 %
Hydrogène	20,7 %	
Total	100,0 %	

Fig.9 : Scénario 3 - Répartition entre les carburants en 2050 (y compris l'hydrogène).







## Synthèse des résultats

Le tableau 4 résume l'évolution des quantités de biomasse et d'électricité qui seront nécessaires dans chacun des scénarios en 2030, 2035, 2040 et 2050.

Tab. 4 : Synthèse des trois scénarios. Ces données comprennent les quantités directement associées à la production de SAF mais aussi les quantités liées aux coproduits (naphta).

	Scénario 1 (ReFuelEU)		Scénario 2 (ReFuelEU avec e-BtL)		Scenario 3 (SAF 85 % en 2050)	
<b>Biomasse</b> 	2030	3,2 Mt	2030	4,0 Mt	2030	4,0 Mt
	2035	37,8 Mt	2035	32,7 Mt	2035	32,7 Mt
	2040	58,8 Mt	2040	43,7 Mt	2040	43,7 Mt
	2050	90,0 Mt	2050	56,2 Mt	2050	76,9 Mt
<b>Électricité</b> 	2030	21,4 TWh	2030	24,4 TWh	2030	24,4 TWh
	2035	85,8 TWh	2035	117,4 TWh	2035	117,4 TWh
	2040	206,4 TWh	2040	280,5 TWh	2040	280,5 TWh
	2050	570,1 TWh	2050	710,7 TWh	2050	804,1 TWh

## Les ressources seront-elles disponibles ?

Les trois scénarios nécessitent de grandes quantités de biomasse et d'électricité, et les scénarios 1 et 2 permettent seulement une décarbonisation partielle.

### Biomasse

L'évaluation des ressources en biomasse est extrêmement difficile en raison de leur diversité. De nouvelles cultures énergétiques peuvent être disponibles, mais l'aviation est en concurrence avec d'autres secteurs (énergie, transports routiers et maritimes). Certains acteurs environnementaux estiment également que les déchets agricoles ou forestiers devraient être laissés en place.

Les ressources de la filière des HEFA seront limitées en Europe (à 2,8 ou 3,1 Mt). Par conséquent, la production du SAF nécessitera dans le scénario 1, selon l'analyse d'impact de la Commission européenne, environ 11 % du potentiel disponible de l'UE en résidus agricoles et déchets de bois, 3,0 % du potentiel disponible en produits et résidus forestiers, et 9,4 % du potentiel disponible en cultures énergétiques<sup>1</sup>.

Notre évaluation conduit à des estimations 50 % plus élevées, en tenant compte de la biomasse requise par les coproduits des SAF.

Basée sur plusieurs études (Material Economics<sup>2</sup>, The Royal Society<sup>3</sup>, Académie des Technologies<sup>4</sup>), la présomption de la Commission européenne semble optimiste, même si l'autorisation d'utiliser des graisses animales de catégorie 3 offre une certaine flexibilité, dans la limite de 3 %.

Dans son étude réalisée pour le compte du Concawe<sup>5</sup>, l'Imperial College est plus positif mais les résultats sont considérés par de nombreux spécialistes comme trop optimistes et l'Imperial College reconnaît que « même si le potentiel est là, il faudrait développer la chaîne d'approvisionnement pour mobiliser toutes ces ressources ». **En effet, les ressources en biomasse n'augmenteront probablement pas et la disponibilité des ressources n'est pas le seul problème, car elles doivent également être collectées dans des conditions environnementales et économiques acceptables. Les quantités de biomasse pouvant être collectées dans le scénario 1 sont très probablement un**

1. Communication COM(2021) 561 final 14/07/2021 (page 41).

2. <https://materialeconomics.com/latest-updates/eu-biomass-use>

3. <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/net-zero-aviation/net-zero-aviation-fuels-policy-briefing.pdf>

4. <https://www.academie-technologies.fr/wp-content/uploads/2023/03/Rapport-decarbonation-secteur-aerien-production-carburants-durables-AT-Mars-2023.pdf>

5. <https://www.concawe.eu/publication/sustainable-biomass-availability-in-the-eu-to-2050/>



**maximum absolu et la Commission européenne elle-même reconnaît que le développement des SAF signifie « une concurrence accrue entre les secteurs de l'économie pour l'accès aux ressources énergétiques ».**

**Cela conduit à deux recommandations :**

- **la biomasse éligible au règlement SAF devrait être réservée en priorité au secteur de l'aviation ;**
- **le scénario 2, conduisant à des quantités de biomasse inférieures de 38 % à celles requises par le scénario 1 en 2050, devrait être privilégié, le développement de ressources électriques supplémentaires semblant plus facile et plus réaliste que le développement de ressources supplémentaires en biomasse ;**
- **quant au scénario 3, proposé par le Parlement européen lors de la phase de négociation, il semble prématuré de le prendre en considération tant que la faisabilité des scénarios 1 et 2 n'est pas confirmée.**

## Électricité

Les quantités d'électricité nécessaires en 2050 (570 TWh dans le scénario 1 et 710 TWh dans le scénario 2) représentent respectivement 17 % et 21 % de la production actuelle d'électricité en Europe (3 371 TWh en 2018).

Ces besoins sont très importants, même en tenant compte des améliorations possibles de l'efficacité des procédés. L'électricité devra compenser la disponibilité limitée des ressources en biomasse.

De plus, le développement des Ptl, notamment basé sur la capture du carbone dans l'air, nécessitera de grandes quantités d'énergie. La chaleur peut provenir de la synthèse FT, mais l'électricité bas-carbone devra encore être produite.

Afin de garantir la disponibilité d'une quantité suffisante d'électricité bas-carbone, il est nécessaire de planifier à l'avance le développement de moyens de production adéquats, probablement un mix d'énergies renouvelables et de nouvelles centrales nucléaires.

Sans ces investissements, l'Europe devrait importer massivement des SAF de pays tiers, ce qui soulèverait des questions politiques et stratégiques quant à l'indépendance énergétique de l'Europe.

Une possibilité pourrait être de produire un pourcentage de l'hydrogène nécessaire par le reformage du méthane à la vapeur (SMR) associé à la capture et à l'utilisation du carbone (CCU). Cette solution réduirait l'investissement nécessaire dans le système électrique mais conduirait à maintenir les importations de gaz. Une étude devrait être lancée sur la stratégie à adopter pour optimiser les écosystèmes de production et de transport des SAF, hydrogène et CO<sub>2</sub>.

## Conclusions

La décarbonisation de l'aviation est possible mais difficile et le développement des SAF est essentiel. La plupart des technologies sont disponibles, mais elles doivent être améliorées afin de les rendre plus efficaces et plus compétitives en termes de prix.

Le principal défi concerne les ressources en biomasse du fait de leur disponibilité limitée, en Europe en tout cas, et des difficultés liées à l'accroissement de ces ressources et à leur collecte. Afin de couvrir les besoins du secteur aérien, il sera donc nécessaire qu'une part importante de ces ressources soit réservée à l'aviation, ce qui impliquera d'accepter que le secteur du transport aérien ait priorité sur d'autres secteurs pour lesquels d'autres solutions de décarbonation sont disponibles, en particulier pour les poids lourds qui peuvent être alimentés par l'électricité ou par l'hydrogène.

L'électricité permettra de compenser la limitation des ressources en biomasse et la capture du CO<sub>2</sub> dans l'air devra être envisagée afin de disposer de suffisamment de ressources en carbone neutre sur le plan climatique.

Il faudra trouver un compromis entre la biomasse et l'électricité, mais chaque scénario sera associé à d'importants besoins en électricité. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de planifier à l'avance les investissements liés au développement de l'infrastructure électrique, de les coordonner avec le plan de développement de l'hydrogène et du CCU, tout ceci permettant de disposer à temps des ressources nécessaires pour que la trajectoire de décarbonisation de l'aviation suive son cours.

### Remerciements

Équilibre des Énergies remercie M. Xavier Vancassel de la Direction scientifique et prospective de l'ONERA, pour sa contribution précieuse à ce projet. M. Vancassel a utilisé les modèles développés par l'ONERA pour réaliser les calculs utilisés dans chacun des scénarios.