

LE PROJET **Ep'HyNE**

Création d'une unité de capture de CO₂
et de production de carburant d'aviation
durable sur l'Ecoparc de Chavelot



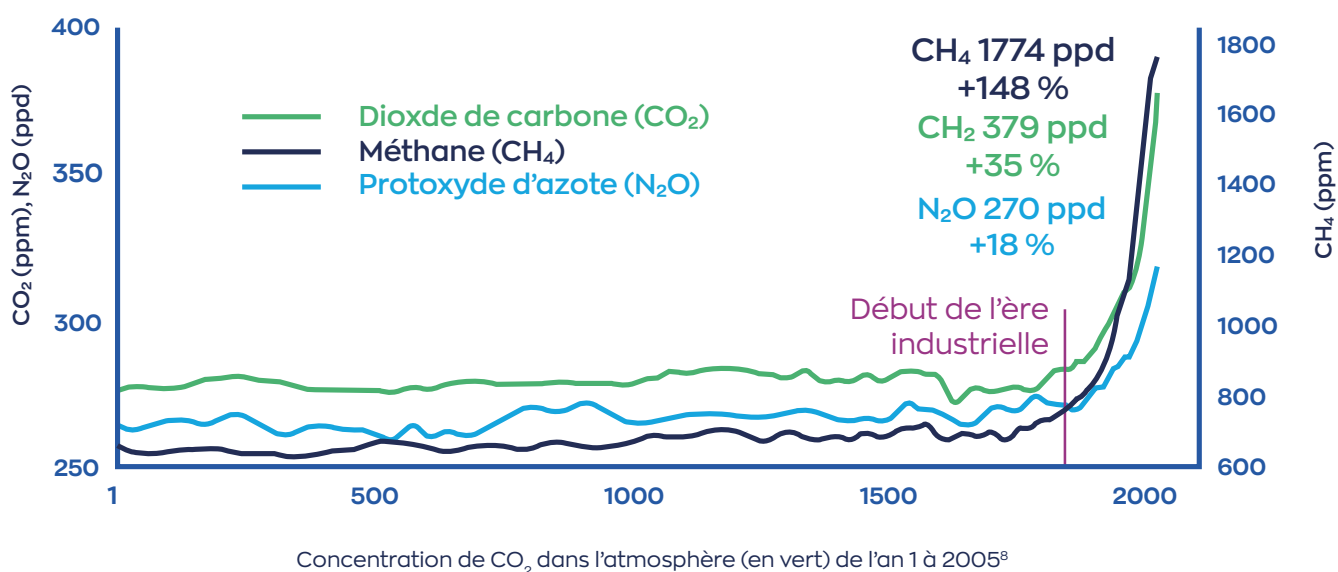
FICHE THÉMATIQUE N°5

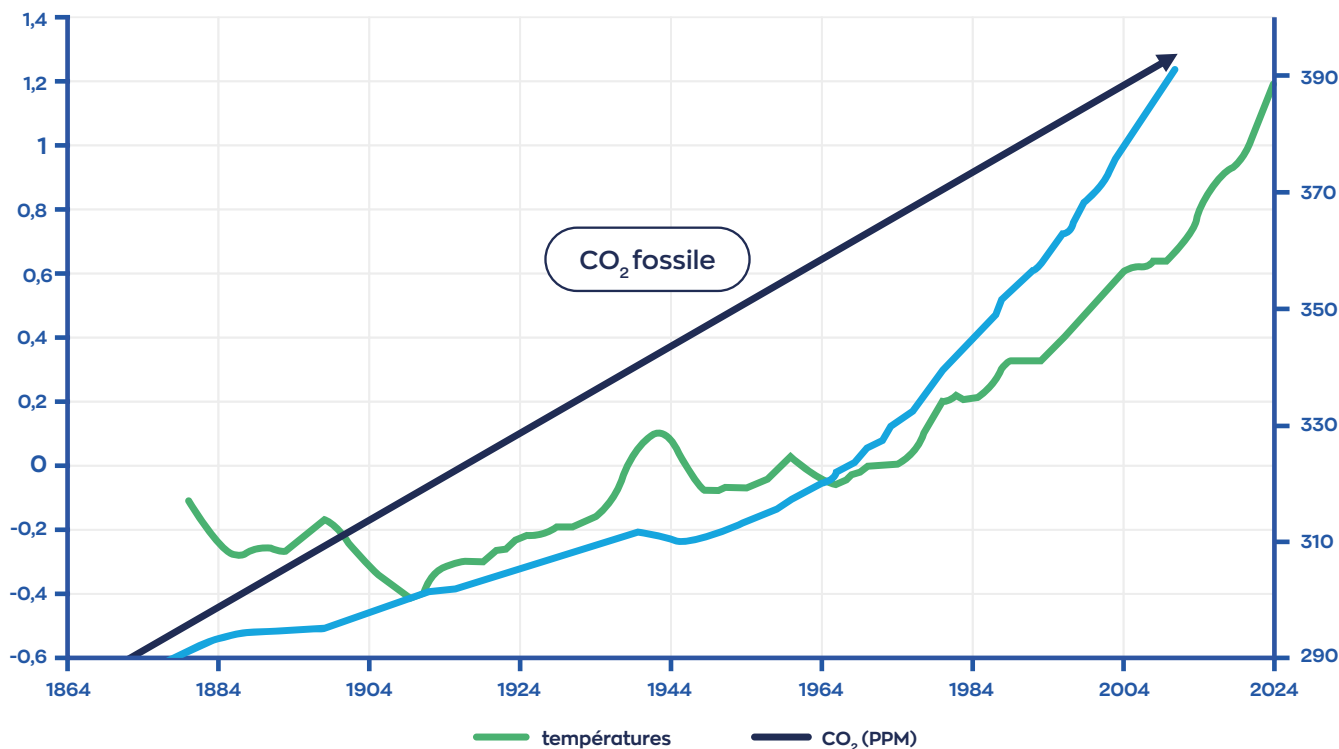
Fiche filière – La production d'e-SAF pour la décarbonation de l'aviation

1 Réchauffement climatique et CO₂

Le réchauffement climatique

Depuis le XIX^e siècle, l'humanité a commencé à brûler massivement des énergies fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz, libérant ainsi de grandes quantités de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère. Cette accumulation de CO₂, un gaz à effet de serre, modifie l'équilibre naturel du climat de la Terre. L'augmentation de la concentration de CO₂ contribue à l'élévation des températures mondiales, un phénomène appelé réchauffement climatique. En conséquence, ce changement a des impacts sur les écosystèmes, les conditions météorologiques et les sociétés humaines à l'échelle mondiale.





Températures par rapport à la température moyenne entre 1951 et 1980 (en vert)¹
et corrélation avec la concentration de CO₂ dans l'atmosphère (en bleu clair)²

L'effet de serre

Le réchauffement climatique est causé par l'augmentation des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) due à la combustion des énergies fossiles. Le CO₂, ainsi que d'autres gaz à effet de serre comme le méthane (CH₄) et l'ozone (O₃), retiennent la chaleur du soleil dans l'atmosphère, ce qui réchauffe la planète.

Normalement, une partie de cette chaleur est renvoyée dans l'espace, mais l'excès de CO₂ empêche cette dissipation, créant un «effet de serre renforcé» qui augmente la température globale. Ce réchauffement entraîne des événements météorologiques extrêmes (vagues de chaleur, tempêtes, sécheresses, inondations), fait fondre les glaciers et élève le niveau des mers, menaçant les zones côtières et provoquant des migrations et des pertes économiques.

Les écosystèmes sont également perturbés, forçant certaines espèces à migrer ou à disparaître. Cela affecte directement les ressources naturelles, l'agriculture et la biodiversité. En résumé, l'accumulation de CO₂ altère gravement le climat et impacte la vie humaine, la santé, la sécurité alimentaire et économique, ainsi que le bien-être des générations futures.

¹ Données de la NASA : <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=121>

² Observations de la NASA : <https://data.giss.nasa.gov/modelforce/ghgases/fig1a.ext.txt>

D'où vient ce CO₂ dans l'atmosphère ?

Le cycle du CO₂ biogénique

Il est important de noter que le CO₂ existait bien avant les émissions fossiles de l'homme. En effet, le carbone est au cœur de la vie : tous les êtres vivants en sont constitués, ce carbone est appelé « carbone biogénique ».

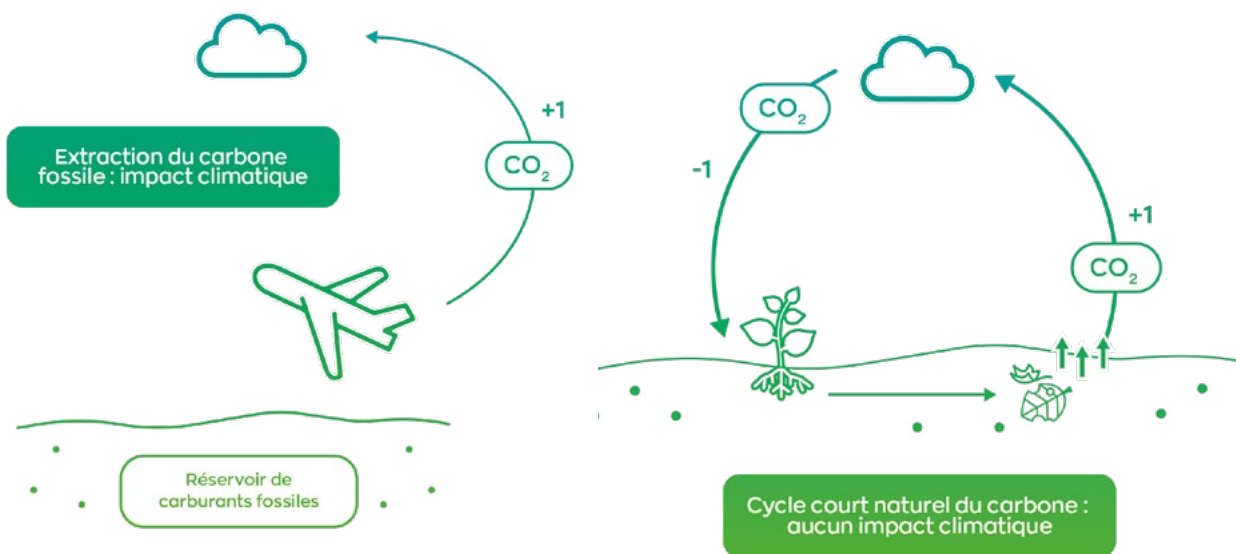
Ce mécanisme forme un cycle fermé et équilibré : le CO₂ n'est ni ajouté ni retiré de l'atmosphère de manière durable.

- 1 Les plantes capturent le CO₂ présent dans l'atmosphère pour croître et se développer.
- 2 Lorsqu'une plante meurt, le carbone qu'elle contient retourne dans l'atmosphère.
- 3 Ce carbone ainsi libéré est ensuite réabsorbé par de nouvelles plantes ou intégré dans d'autres formes de vie.

Les émissions de CO₂ fossile

La révolution industrielle, les transports, l'industrie et la production d'énergie ont considérablement augmenté les émissions de CO₂. Ce CO₂ est qualifié de « fossile », car il provient de réservoirs de carburants fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel) qui contiennent du carbone enfoui depuis des millions d'années. En brûlant ces énergies fossiles, l'humanité libère dans l'atmosphère du CO₂ qui était absent depuis des millénaires.

Par exemple, dans le cas de l'aviation, du carburant fossile composé de CO₂ fossile est pompé dans le sol, puis raffiné et chargé dans un moteur d'avion. L'avion pour voler brûle ce carburant libérant dans l'atmosphère le CO₂ du carburant qui était jusqu'alors enfoui dans le sous-sol.



Les émissions de carbone fossile (à gauche) et le cycle du carbone biogénique (à droite)

L'Union Européenne encourage l'utilisation du CO₂ biogénique car il permet un bilan carbone neutre. Ainsi, une émission de carbone biogénique compte comme 0 émission dans la comptabilité carbone.

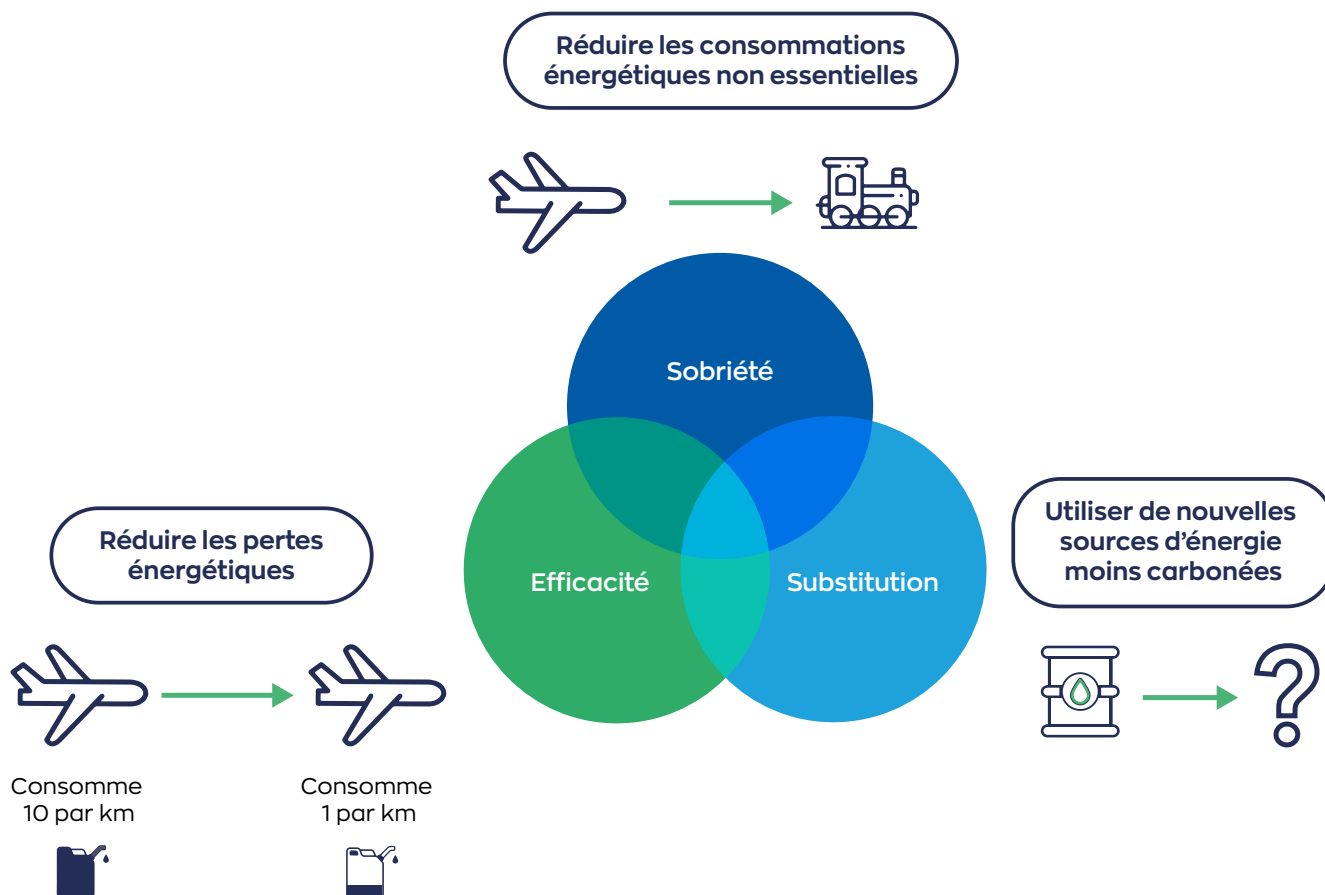
2 Les solutions pour un avenir plus propre

Le réchauffement climatique est causé par les activités humaines libérant notamment du CO₂ fossile dans l'atmosphère, alors : **comment poursuivre les activités humaines sans aggraver ce phénomène : la question de la « décarbonation » des usages.**

Les méthodes générales de décarbonation

Il est impératif d'agir pour contrer ce dérèglement climatique. Quelles sont les solutions à notre disposition pour faire face à ce défi ?

Ces solutions doivent viser à réduire ou éliminer l'utilisation de combustibles fossiles et les émissions de CO₂ associées.



Les solutions de décarbonations

Sobriété

Réduire notre consommation énergétique est une étape essentielle de la transition énergétique. En effet, l'énergie la plus propre est celle qui n'est pas consommée. Ainsi, la première solution est d'éviter les consommations en surplus.

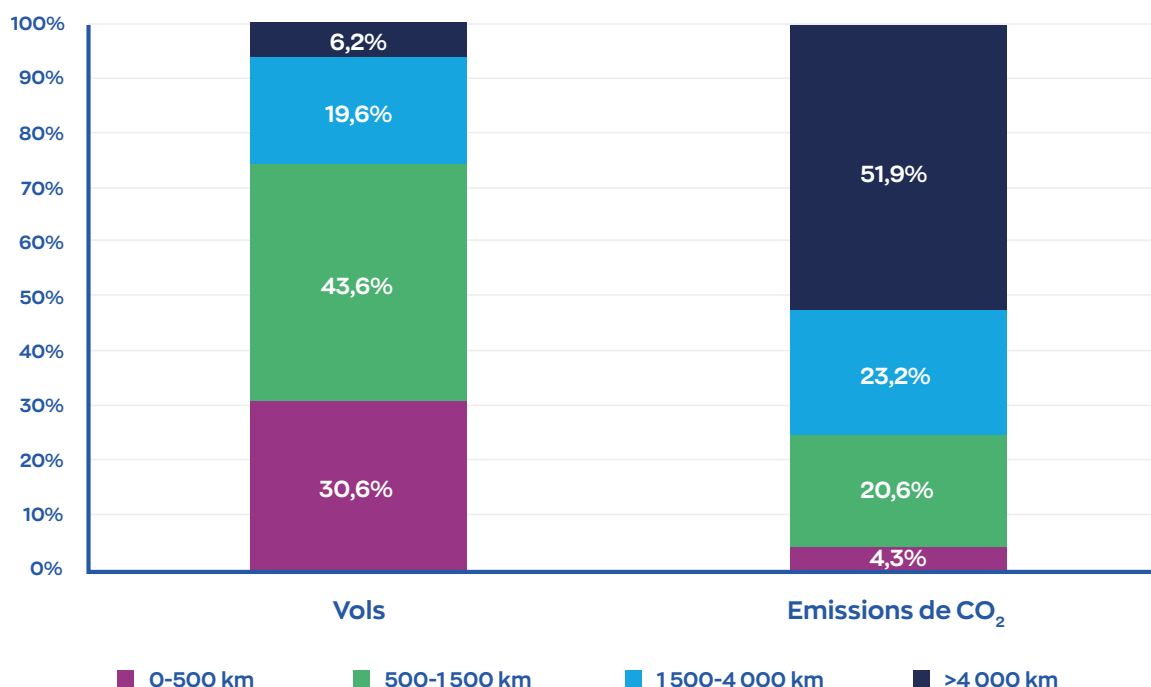
La sobriété pour l'aviation : Le report modal

La sobriété pour l'avion, c'est emprunter des alternatives plus propres telles que le train. Ce processus, appelé « report modal », est généralement encouragé par les autorités publiques à travers le développement d'infrastructures comme les lignes à grande vitesse, rendant ces options plus attractives pour les usagers.

Selon une étude menée au niveau européen³ les voyageurs sont particulièrement enclins à privilégier le train pour des trajets d'une durée allant jusqu'à 6 heures. Ainsi les vols courts et moyens courriers pourraient être entièrement remplacés par des lignes de train à grande vitesse efficaces⁴. Ces vols représentent la plus grosse partie des trajets mais la plus petite partie des émissions. Ainsi, les vols de moins de 500 km qui peuvent être totalement reportés sur le train représentent 4% des émissions de CO₂⁵.

VERSO ENERGY est donc convaincu que le report modal permettra de réduire fortement le nombre de courts courriers en circulation mais il est nécessaire de trouver une autre solution pour les trajets longs courriers, plus émetteurs de CO₂.

Pour l'aviation, la sobriété se traduit aussi par une réduction de la vitesse des transports : en ajustant les vitesses de croisière, les avions peuvent diminuer leur consommation de carburant sans affecter de manière significative les horaires de vol. En effet, tout comme les voitures qui économisent du carburant et réduisent leurs émissions en roulant à 100 km/h sur l'autoroute au lieu de 130 km/h, les avions consommant moins de kérosène lorsqu'ils volent à une vitesse réduite.



Répartition des vols d'avion selon leur distance de trajet et leurs émissions

³ UBS (2020) 'By train or by plane?' The traveller's dilemma after Covid-19 and amid climate change concerns. UBS Global Research. April 2020

⁴ La France a fait un premier pas vers le remplacement total des courts courriers à travers un décret de 2023 qui interdit les courts courriers ayant une alternative de moins de 2h30 de train : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047571222>

⁵ <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-data-snapshot-CO2-emissions-flight-distance>

Efficacité énergétique

Une fois que les consommations excédentaires sont éliminées, il est nécessaire d'optimiser l'utilisation de l'énergie restante. L'efficacité énergétique consiste à maintenir les mêmes usages tout en améliorant leur rendement, ce qui permet d'obtenir le même service avec moins d'énergie consommée.

L'efficacité pour l'aviation

L'efficacité passe par :

- Optimisation des trajectoires de vol
- Optimisation des opérations au sol
- Amélioration de la motorisation et du fuselage

Cette approche offre des gains en termes de consommation énergétique sans changer le service rendu par l'appareil.

Substitution

Améliorer l'efficacité énergétique ne permet pas de décarboner complètement. Il est nécessaire de changer de technologie. La substitution consiste à remplacer les énergies fossiles par des alternatives bas-carbones ou décarbonés.

La méthode la plus efficace pour décarboner un usage par substitution est l'électrification. En effet, l'électricité produite en France émet très peu de CO₂, ce qui permet de réduire la consommation de carburant mais augmente les besoins en électricité.

Le projet Ep'HyNE propose une solution de substitution pour l'aviation.

Récapitulatif

Méthode	Avantages	Inconvénients
Sobriété : Ne garder que les émissions nécessaires	L'énergie la plus propre est celle qui n'est pas consommée. La sobriété est la méthode la plus efficace pour décarboner.	Repose sur le fait que la population cesserait de consommer certains services, ce qui n'est pas garanti.
Efficacité énergétique : Réduire les émissions en gardant les mêmes usages	Conserve les usages et les technologies actuels. Ne nécessite pas d'avancées technologiques ambitieuses.	Gains insuffisants pour atteindre la neutralité carbone. Peut se baser sur des innovations ambitieuses.
Substitution : Changer de technologie vers une technologie décarbonée	Conserve les usages actuels. Peut complètement décarboner.	Souvent, entraîne une plus grande consommation électrique. Peut se baser sur des innovations ambitieuses.

Tableau récapitulatif des solutions de décarbonation

Zoom sur les solutions de substitution pour l'aviation (avion électrique, avion à hydrogène, carburants durables)

La solution proposée par le projet Ep'HyNE est une **substitution**, remplacer du carburant fossile par du carburant durable.

Il existe deux principales méthodes pour décarboner une technologie par substitution :



Utiliser directement des énergies sans carbone comme l'électricité, éliminant ainsi les émissions de carbone.



Une autre solution est de s'inscrire dans le cycle des plantes du carbone biogénique car comme énoncé précédemment émettre du carbone biogénique issu de plantes n'a pas d'impacts sur le changement climatique (voir partie 4.1).

Les solutions sans carbone

L'avion électrique⁶

Dans l'aviation, l'électrification est une option envisagée pour éliminer les émissions directes de CO₂.

L'idée est de faire comme pour les voitures et équiper les avions de batterie. Cependant, cette solution n'est pas encore prête pour un déploiement à grande échelle. Les batteries actuelles, bien moins denses en énergie que le kérosène, ne fournissent pas l'autonomie nécessaire à un vol commercial. De plus, concevoir des avions adaptés à cette technologie nécessiterait des changements radicaux par rapport aux modèles actuels.

Les contraintes technologiques rendent l'électrification inadaptée aux besoins du transport aérien commercial dans l'immédiat.

L'avion à hydrogène

VERSO ENERGY est aussi un producteur d'hydrogène et croit en cette molécule comme indispensable à la transition énergétique pour des secteurs comme l'industrie sidérurgique. Celle-ci peut être produite de façon décarbonée par électrolyse de l'eau et peut permettre de remplacer des molécules fossiles par des molécules renouvelables. L'idée est de stocker l'énergie sous forme d'hydrogène et de le consommer comme un carburant.

Toutefois, l'hydrogène pose un problème technologique fort car : à pression ambiante, pour une même quantité d'énergie un réservoir d'hydrogène est significativement plus volumineux qu'un réservoir d'e-SAF. Il y a alors deux solutions, soit mettre l'hydrogène sous forte pression soit le liquéfier à très basse température.

Le stockage de l'hydrogène présente des défis technologiques importants. L'avion à hydrogène nécessite aussi des changements importants par rapport aux modèles d'avions actuellement sur le marché.

⁶ Journal of Transport Geography, 2024, "Breaking barriers: An assessment of the feasibility of long-haul electric flights" par Athina Sismanidou, Joan Tarradellas, Pere Suau-Sanchez, Kevin O'Connor

Les solutions avec du carbone biogénique : les carburants

Qu'est-ce qu'un carburant et quel est son lien avec le carbone ?

Le mot « carburant » dérive de « carbure », se référant aux molécules carbonées. Un carburant est un composé d'hydrogène et de carbone qui peut être consommé pour produire de l'énergie thermique. Il est possible de produire du carburant en combinant du carbone et de l'hydrogène.

Les biocarburants

Les plantes contiennent du carbone et de l'hydrogène, substances essentielles à la production de biocarburants. Il est donc possible d'extraire ces éléments des plantes pour produire du carburant. Comme expliqué dans la section 4.1., le CO₂ biogénique émis par la combustion du biocarburant provient du CO₂ assimilé depuis l'atmosphère par les plantes utilisées dans sa fabrication. Ainsi, le CO₂ initialement

présent dans l'atmosphère y retourne après utilisation du carburant, par exemple lors du vol d'un avion. Par conséquent, le bilan total des émissions de CO₂ biogénique est neutre.

Il faut noter que la plante est entièrement convertie en carburant au cours de ce processus.

La consommation de biomasse pour faire du carburant permet donc de faire voler des avions avec un bilan neutre en carbone.

Toutefois la biomasse est déjà utilisée de nombreuses façons et un doute subsiste sur la possibilité d'avoir assez de biomasse pour les usages actuels et les utilisations en tant que carburants.

Les bio-carburants ne sont donc pas la solution envisagée pour le projet Ep'HyNE

La solution proposée par Ep'HyNE : les e-carburants

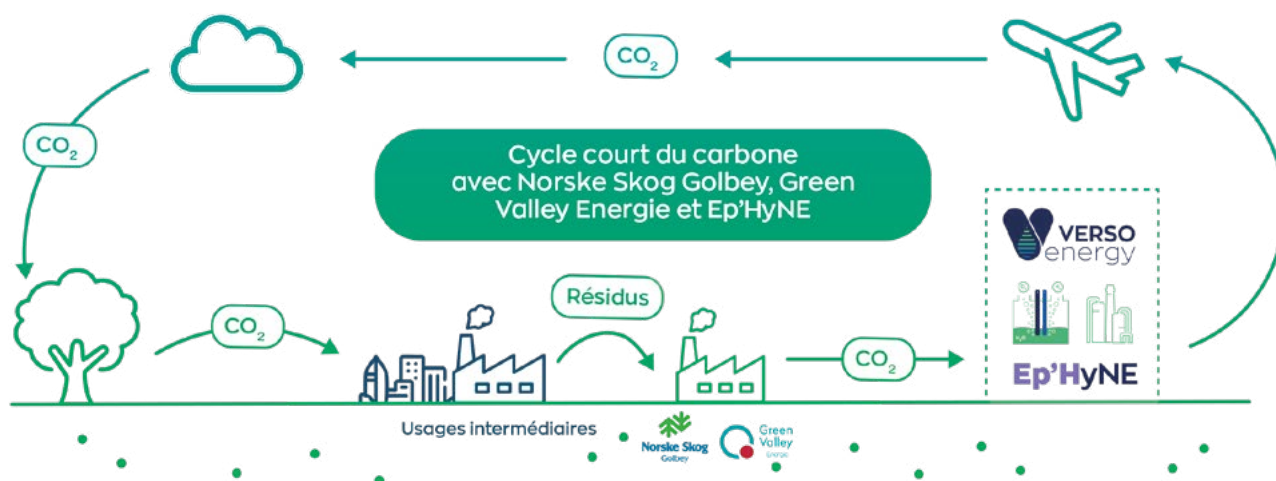
Pour fabriquer du carburant, du carbone et de l'hydrogène sont nécessaires. Lorsque la biomasse est brûlée (comme du bois ou des plantes), elle libère du CO_2 dans l'air. Capturer ce CO_2 , permet de récupérer le carbone qu'il contient et le combiner avec de l'hydrogène (H_2) pour créer un carburant synthétique. **Cela signifie que les usages de la biomasse ne changent pas tout en réutilisant le CO_2 émis pour produire des e-carburants.**

Ces e-carburants, comme les biocarburants, rejettent ensuite du CO_2 biogénique, c'est-à-dire du CO_2 qui avait été absorbé par les plantes pendant leur croissance et qui a un bilan neutre sur le climat.

Pourquoi ne pas utiliser du e-carburant pour les autres moyens de transport comme les voitures ?

La production de e-carburant nécessite une grande quantité d'électricité, et son rendement énergétique est inférieur à celui des autres solutions comme l'électrification, l'hydrogène ou les biocarburants. Cela signifie qu'il y a plus de pertes d'énergie durant la production. Par conséquent, pour les moyens de transport tels que les automobiles qui peuvent s'électrifier directement, l'électrification est préférée aux e-carburants. Cependant, il est important de noter que cette électrification et le passage à l'hydrogène ne sont pas encore possibles pour les avions, ce qui rend les e-carburants pertinents pour ce secteur.

Les e-carburants sont particulièrement pertinents pour l'aviation et le transport maritime.



Le principe des e-carburants dans le cycle du carbone biogénique