

Atelier thématique – Etagnac | 15 mai 2025



LE PROJET

LiCHEN

Réglementation



01

Contexte réglementaire et solutions de décarbonation

02

Le CO₂ biogénique

03

L'hydrogène renouvelable et bas carbone



Contexte réglementaire et solutions de décarbonation





Le contexte réglementaire

2015

L'Accord de Paris (COP 21 2015)

A donné un cadre international à l'atténuation du dérèglement climatique :

- Limiter les gaz à effet de serre dans une bande, de **40 % à 70 %** d'ici 2050 en rapport par rapport aux niveaux de 1990 ;
- Maintenir le réchauffement planétaire sous les +2°C;
- Lutter contre les effets du changement climatique.

2019

Pacte vert (Green Deal - 2019)

l'Union Européenne a établi une feuille de route pour atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050.

2021

Paquet législatif Fit for 55 (2021)

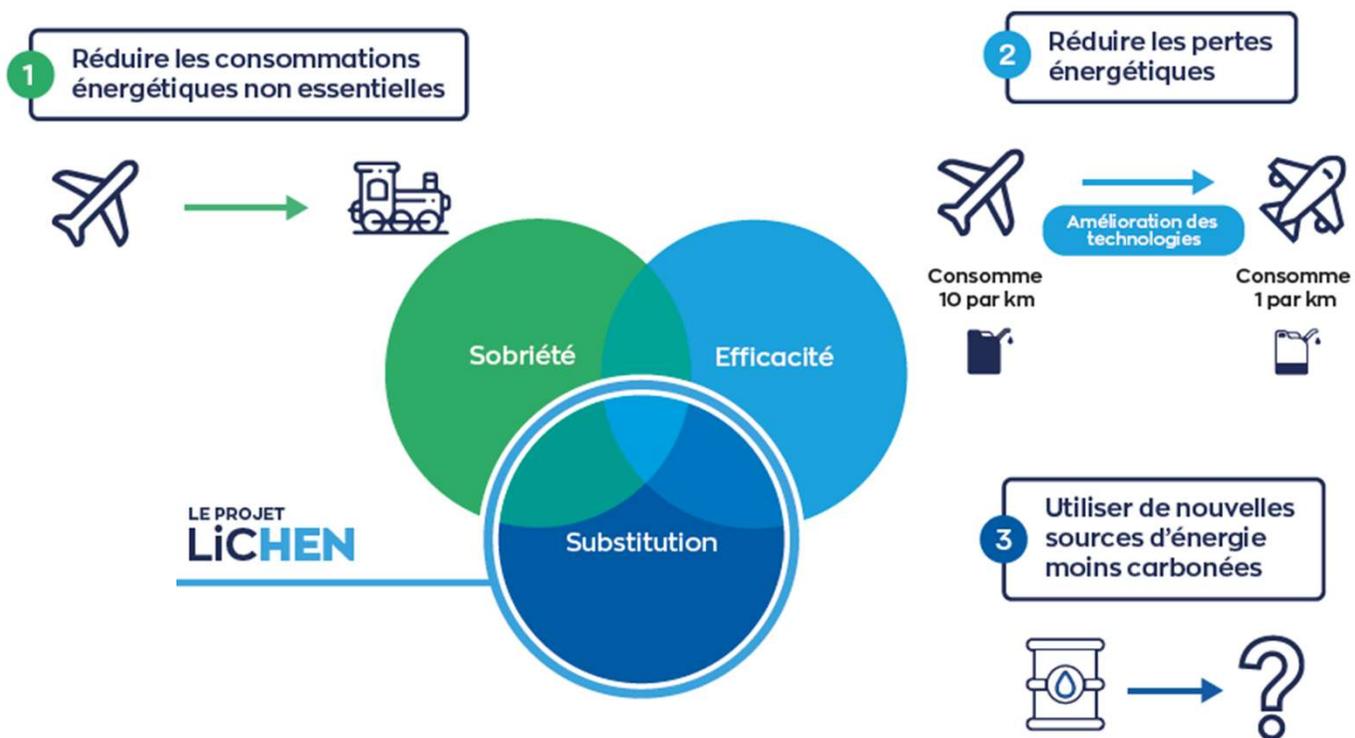
Ce paquet vise une réduction des émissions nettes d'au moins -55 % d'ici à 2030 par rapport aux niveaux enregistrés en 1990.

2023

ReFuelEU Aviation (2023)

Le règlement entraînera une réduction substantielle des émissions de CO2 de plus de 60 % d'ici à 2050, par rapport aux niveaux de 1990.

Les 3 piliers de la décarbonation

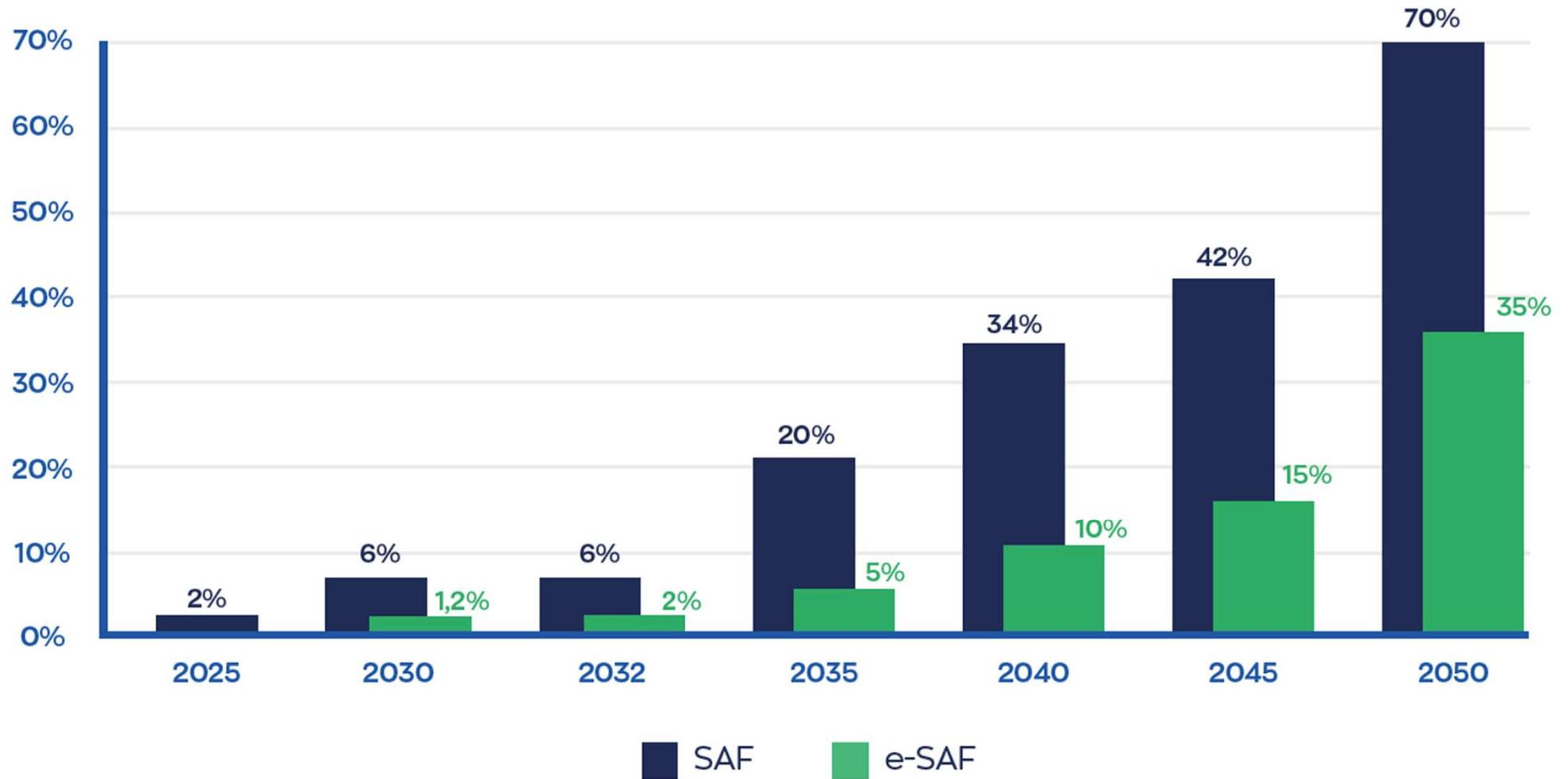


Les solutions de substitution

Méthode actuelle Combustibles fossiles	Biocarburants Carburants à partir de biomasse	Avion électrique Electrification directe décarbonée des usages	Avion à hydrogène	Carburants de synthèse (e-carburants ou e-SAF)
<p>Kérosène</p>  <ul style="list-style-type: none">⚠️ Émissions de CO₂⚠️ Dépendance énergétique de la France à des importations	<p>Biomasse durable</p>  <ul style="list-style-type: none">✓ Pas d'émission de CO₂ fossile✓ Production domestique possible⚠️ Consommation de biomasse, avec des enjeux de gestion durable	<p>Énergies renouvelables et nucléaire</p>  <ul style="list-style-type: none">✓ Pas d'émission de CO₂ fossile✓ Production domestique possible✓ Pas de consommation additionnelle de biomasse⚠️ Inadaptée à l'aviation longue distance en raison de la taille des batteries requises	<p>À partir d'hydrogène</p>  <ul style="list-style-type: none">✓ Pas d'émission de CO₂ fossile✓ Production domestique possible✓ Pas de consommation additionnelle de biomasse⚠️ Technologies pas prêtes avant l'horizon 2050⚠️ Infrastructures inexistantes	<p>À partir d'hydrogène électrolytique décarboné, seul ou combiné avec du CO₂ biogénique</p>  <ul style="list-style-type: none">✓ Pas d'émission de CO₂ fossile✓ Production domestique possible✓ Pas de consommation additionnelle de biomasse✓ Adapté aux infrastructures et motorisations actuelles

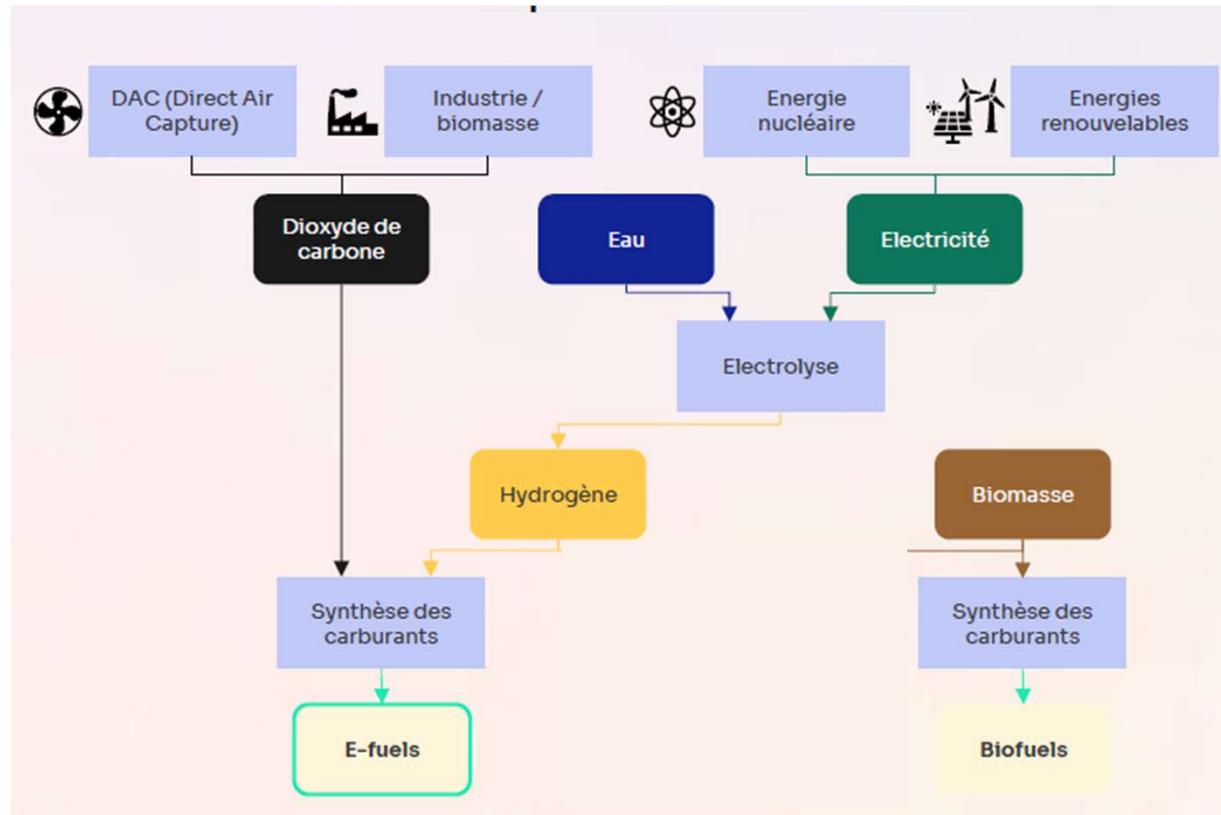


ReFUEL EU Aviation



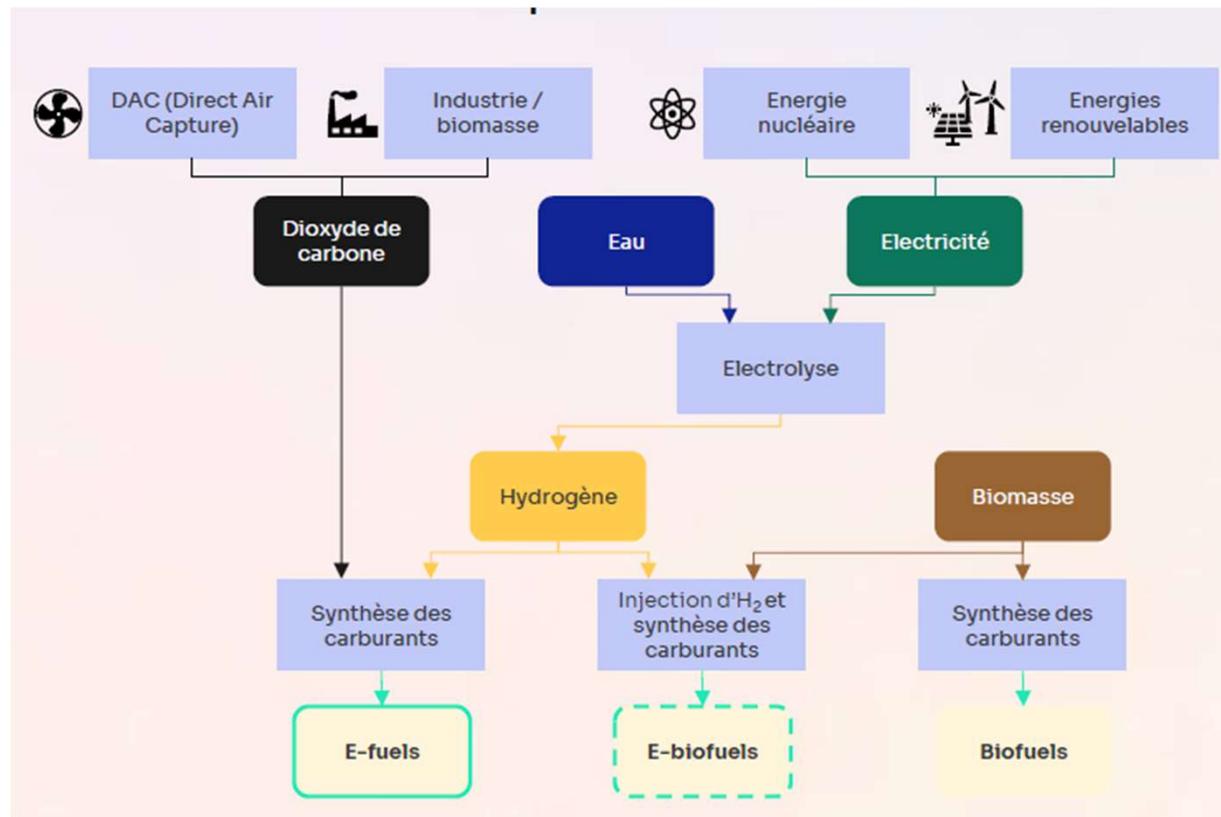
Qu'est ce qu'un SAF ?

SAF = Sustainable Aviation Fuel
CAD = Carburant d'Aviation Durable



Qu'est ce qu'un SAF ?

SAF = Sustainable Aviation Fuel
CAD = Carburant d'Aviation Durable





SAF : les deux grandes familles

Les biocarburants ou bio-SAF produits à partir de biomasse

- La **matière organique** (copeaux de bois, déchets ménagers ou agricoles) **est convertie en bio-carburant** par des procédés chimiques (gazéification, hydrogénation...).
- La matière organique (biomasse) doit être « durable » : la biomasse employée provient elle-même de **sources durables**, son utilisation n'entre pas en concurrence avec les usages alimentaires ou encore l'usage de sols qui impliquerait de la déforestation.

Les carburants de synthèse ou e-SAF produits à partir de CO₂ biogénique et d'hydrogène décarboné

- **L'hydrogène employé doit être décarboné**, c'est-à-dire que sa production permette d'éviter plus de 70 % des émissions de gaz à effet de serre par rapport à de l'hydrogène produit à partir de ressources fossiles, et respecte les critères).
- **Et à partir de 2041, le CO₂ employé soit biogénique** ou capturé directement dans l'air

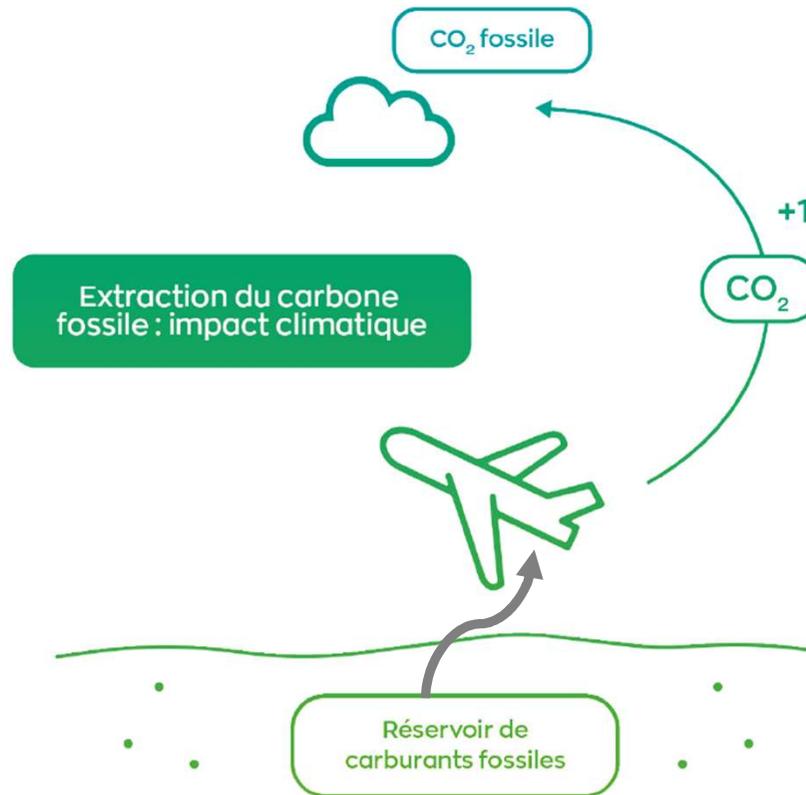


Le CO₂ biogénique

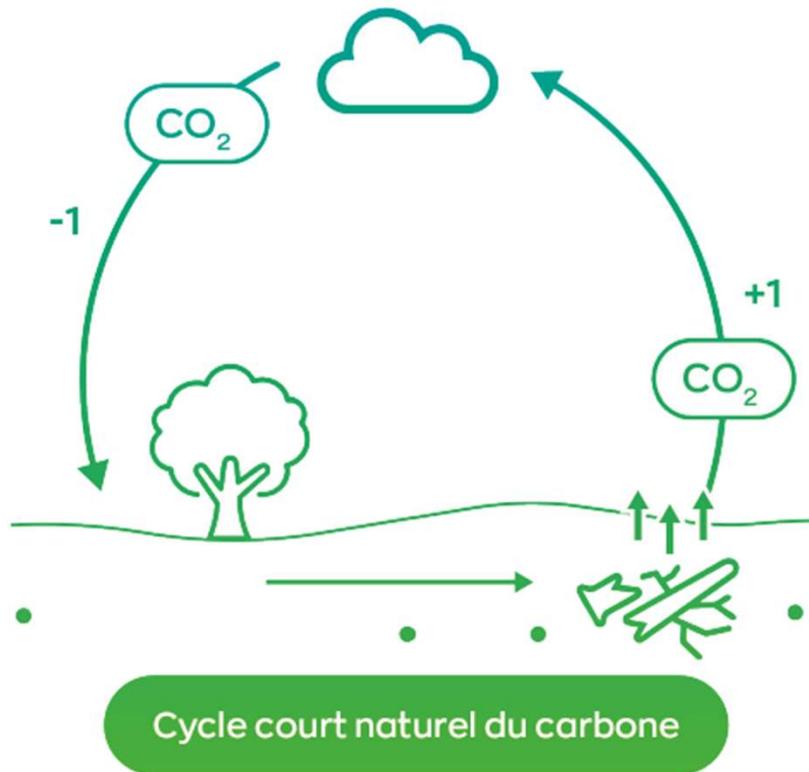




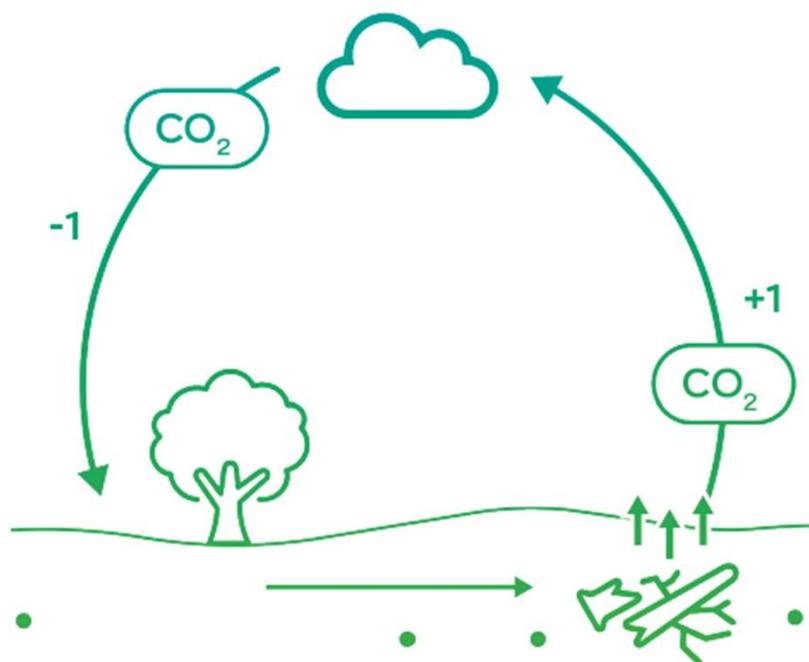
Le CO₂ fossile



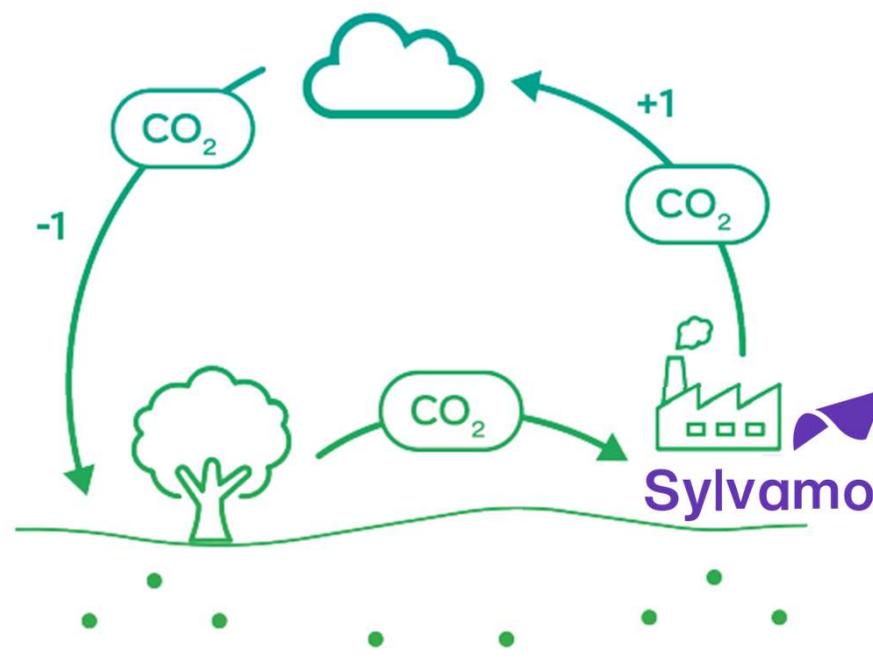
Le cycle du CO₂ biogénique



Le cycle du CO₂ biogénique

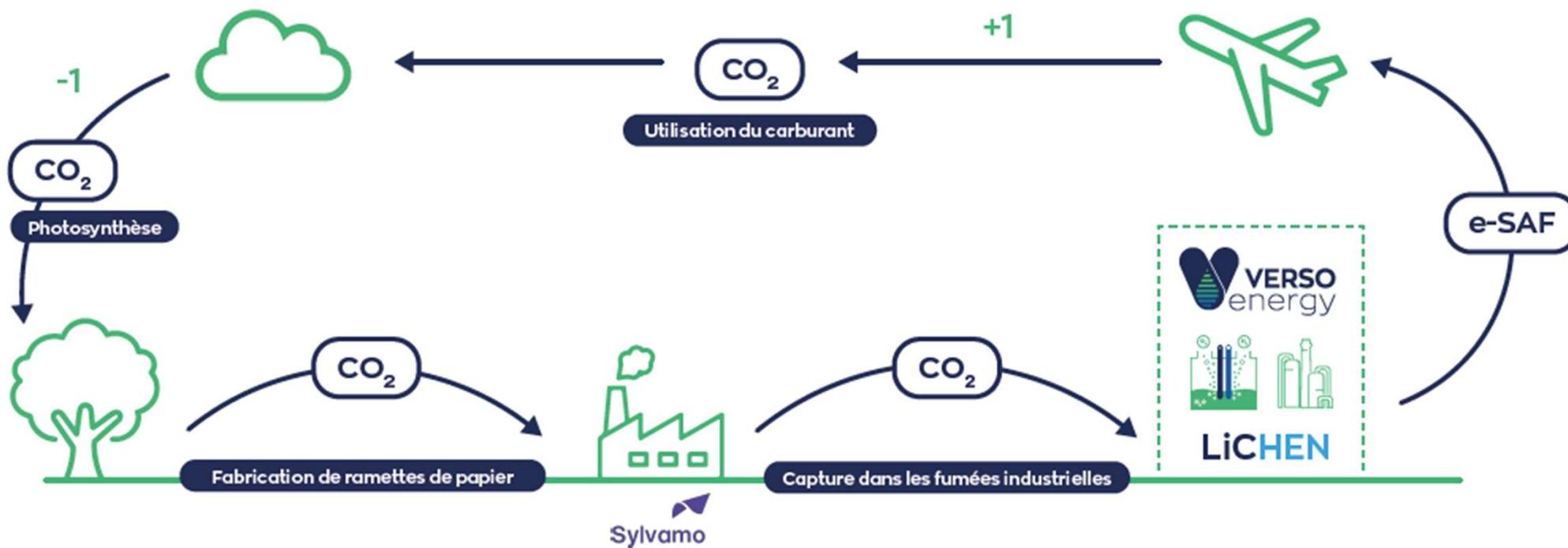


Cycle court naturel du carbone

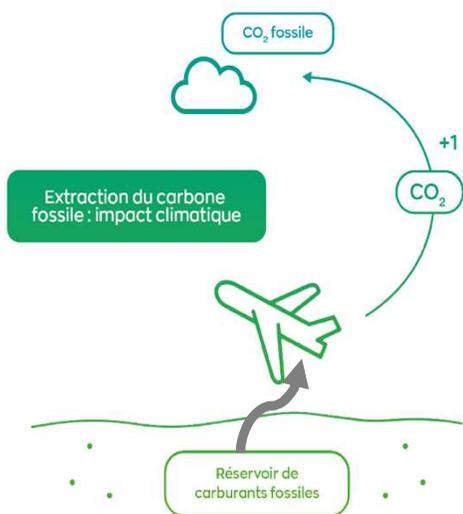


Cycle court du carbone avec Sylvamo

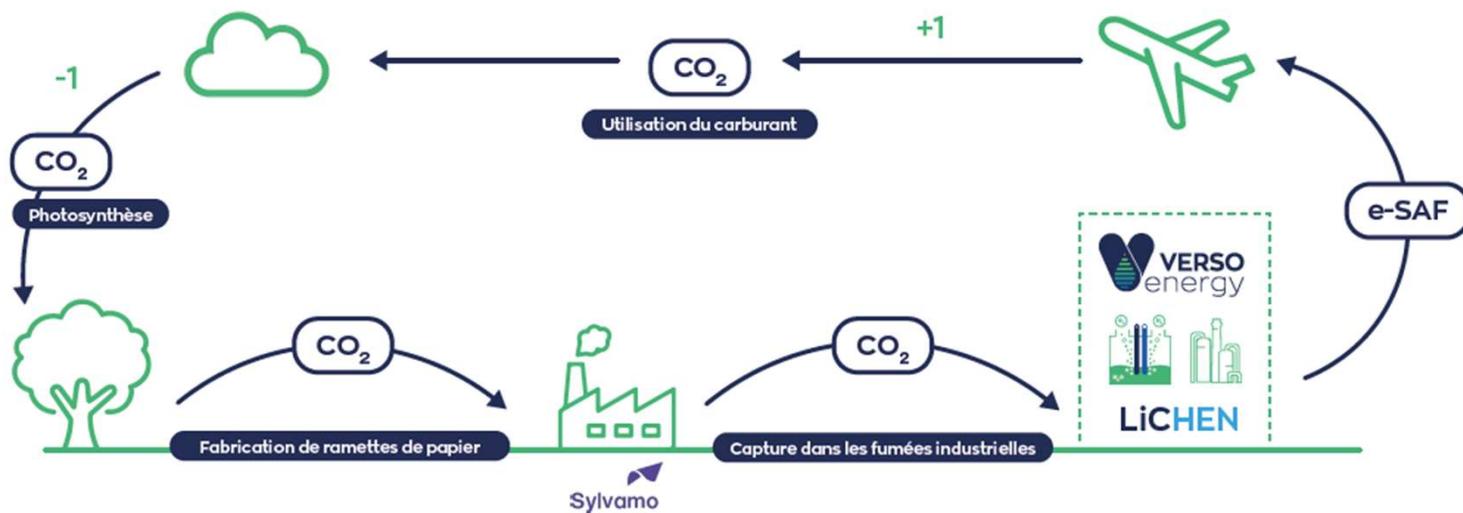
Le cycle vertueux du projet



Le cycle vertueux du projet



AUJOURD'HUI
Émissions de CO₂ fossile :
Augmentation du CO₂ dans l'atmosphère
Augmentation du réchauffement climatique



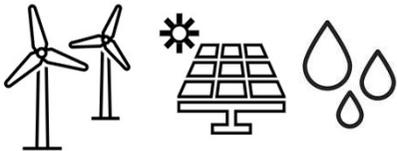
DEMAIN
Valorisation du CO₂ biogénique :
Neutre en carbone
Évitement de 370ktan CO₂ fossile



L'hydrogène renouvelable et bas-carbone



Les différents types d'hydrogène selon leur production

Type d'hydrogène	Hydrogène Renouvelable	Hydrogène Bas-Carbone	Hydrogène Carboné	
Ressources	<p>Eolien PV Eau</p> 	<p>Réseau Électrique 80% nucléaire</p> 	<p>Gaz naturel</p> 	<p>Gaz naturel</p> 
Technologies	 <p>Electrolyse de l'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Base d'eau • Injection courant électrique • Séparation des gaz 	<p>Vaporeformage + Capture</p> <ul style="list-style-type: none"> • Injection Gaz naturel • Action vapeur d'eau surchauffée • Extraction molécule H₂ • Capture du CO₂ 	<p>Vaporeformage</p> <ul style="list-style-type: none"> • Injection Gaz naturel • Action vapeur d'eau surchauffée • Extraction molécule H₂ 	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ø émission de CO₂ ✓ Ø utilisation ressource fossile 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ø émission de CO₂ × Usage uranium 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Capture CO₂ × Usage gaz naturel 	<ul style="list-style-type: none"> × Émission CO₂ × Usage gaz naturel



Règles pour la production d'hydrogène renouvelable (RFNBO)

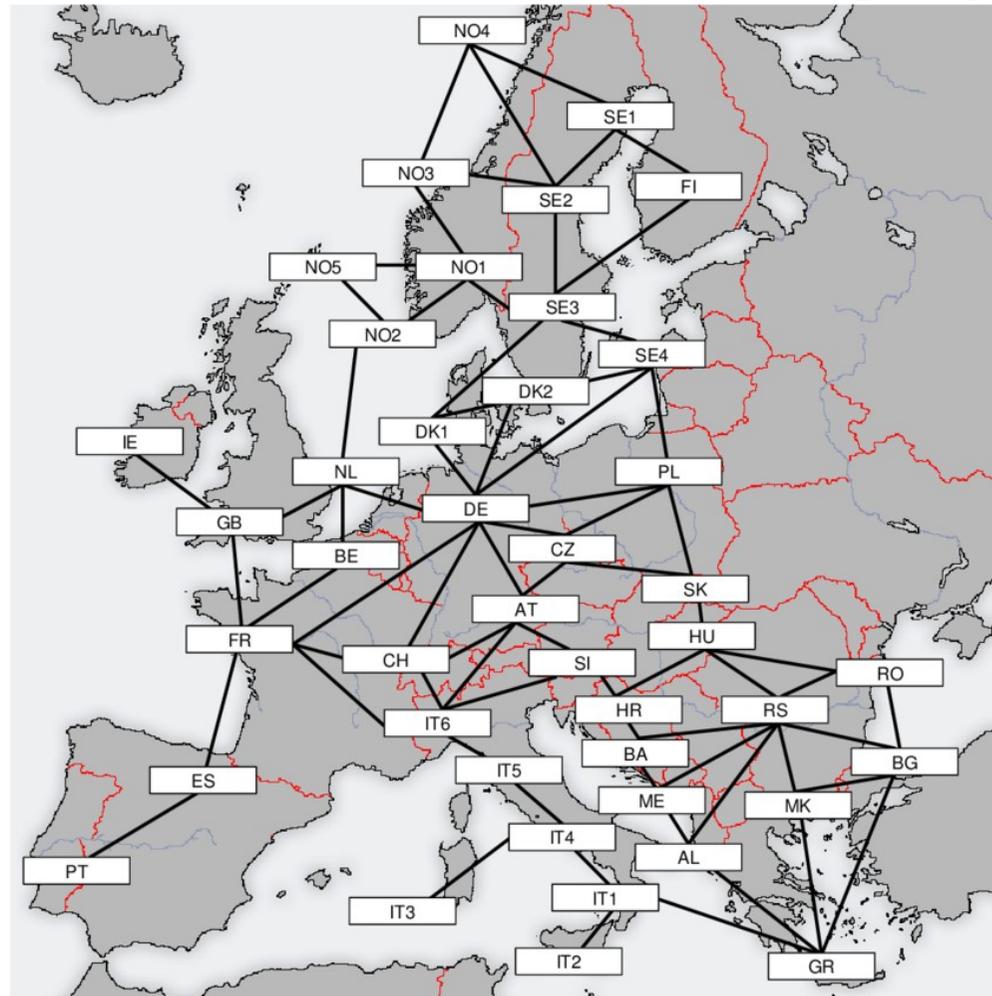
Les règles de production d'hydrogène renouvelable sont définies dans la directive Européenne RED II qui réglemente les **RFNBO (Renewable Fuel From Non Biological Origin)**.

Un hydrogène est renouvelable (RFNBO) si sa production respecte les conditions suivantes :

- La production des molécules doit être assurée grâce à **une source d'énergie renouvelable**.
- **- 70% des émissions de gaz à effet de serre par rapport à leur équivalent fossile**, tout au long de leur cycle de vie selon une méthode de calcul fournie par RED II.
 - Un hydrogène est bas-carbone si son cycle de vie émet moins de 3,38 kgCO₂eq/kgH₂. L'utilisation de la fraction renouvelable du mix électrique FR pour produire de l'hydrogène permet d'atteindre cet objectif.
- **Corrélation temporelle** entre la production de la molécule et sa source d'énergie décarbonée (pas mensuel puis horaire à partir de 2030)
- **Corrélation géographique** : l'hydrogène doit être produit dans la même « bidding zone » que l'électricité utilisée
- *Exemption règle additionnalité grâce au mix FR*



L'approvisionnement électrique – Corrélation géographique

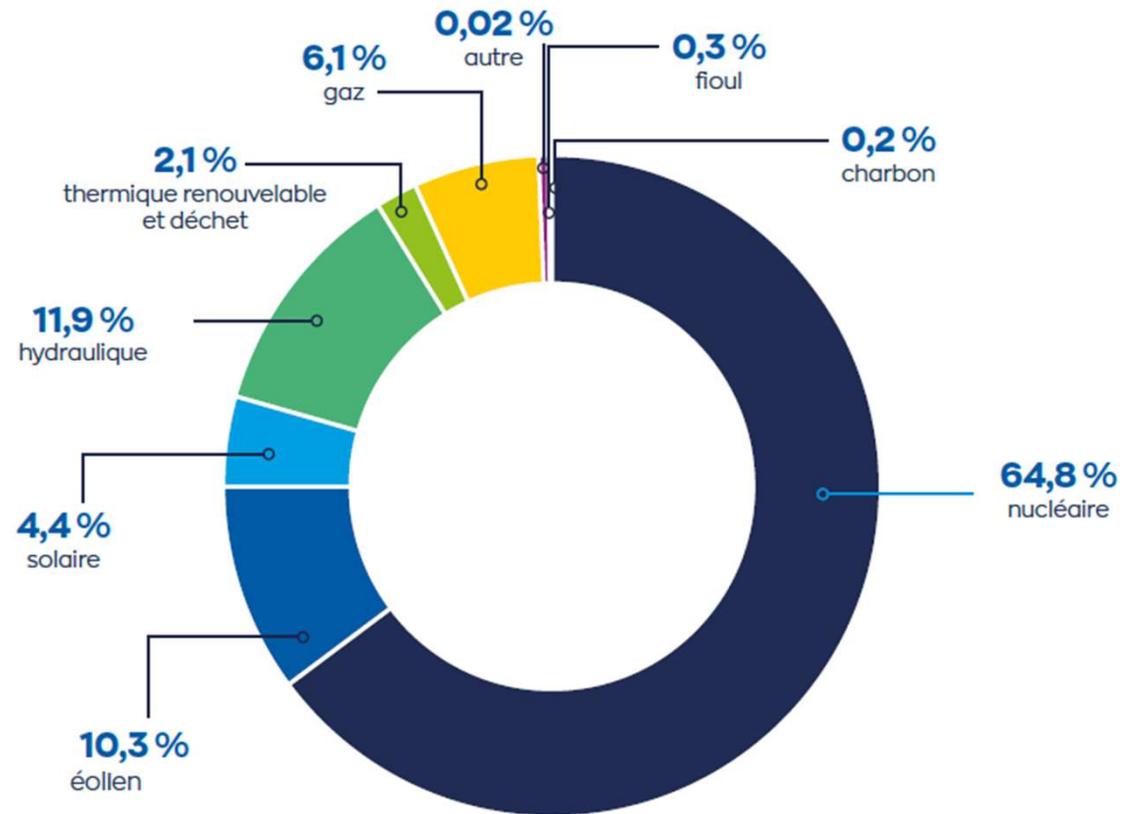




L'approvisionnement électrique – Source d'énergie décarbonée

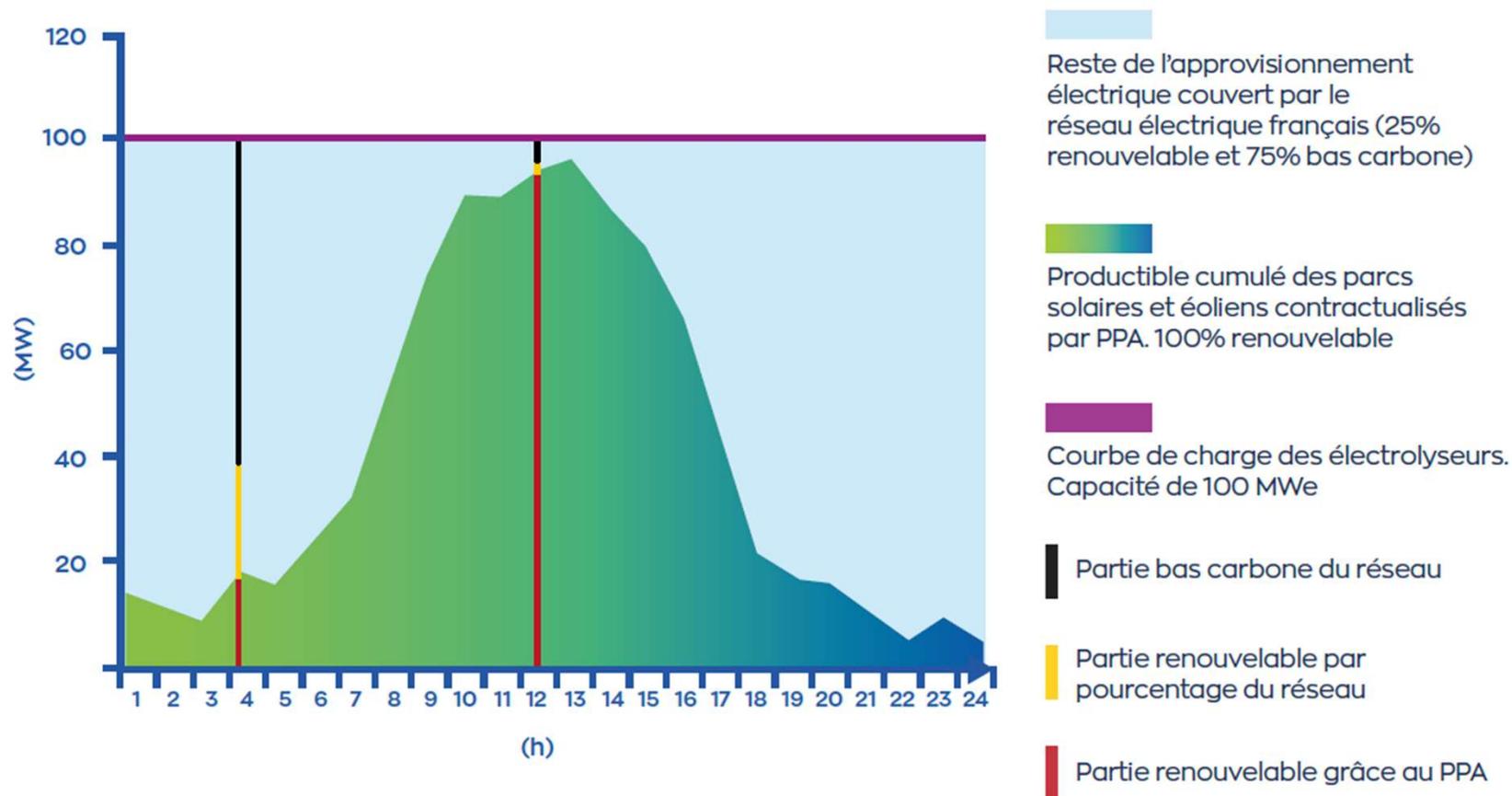
Le mix électrique français

- 92% de la production d'électricité est décarbonée.
- Le facteur d'émission moyen est ainsi de 32 gCO₂eq/kWh, inférieur au seuil européen de RED (64,8 g CO₂eq/kWh)



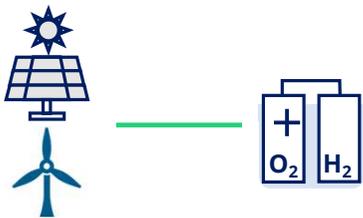
Mix énergétique français en 2023

L'approvisionnement électrique – corrélation temporelle



Règles pour la production d'hydrogène renouvelable (RFNBO)

En plus d'un critère de réduction des émissions de GES, l'H₂ ne peut être produit que selon **quatre méthodes non cumulatives** sauf exception (cf slide suivante) afin d'être qualifié de RFNBO

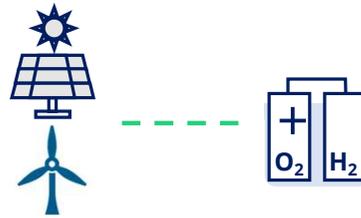


Connexion directe à un actif EnR

100% de la production = RFNBO

Condition :

- *Additionnalité* : Electrolyseur mis en service au plus tard 36 mois après la MeS des EnRs



Connexion à des actifs EnR via un ou plusieurs PPAs

100% de la production issue de l'électricité PPA = RFNBO

Condition(s) :

- *Corrélation temporelle* : pas mensuel puis horaire (2030)
- *Corrélation géographique* : même zone de marché
- *Additionnalité* : Electrolyseur mis en service au plus tard 36 mois après la mes des EnRs
- *Absence d'aide d'états* : pour les actif EnR en PPA

20250515 - LiCHEN - Atelier 2 - Réglementation



Connexion directe de l'électrolyseur à un réseau électrique décarboné

Part ENR du mix électrique dans la part d'électricité issue du réseau en N-2 = RFNBO

Condition :

- Contenu carbone moyen du mix en N-2 permet de produire un H₂ < 3,38 kgCO₂/kgH₂

