

Atelier n°2 - BEGAAR | 15 Avril 2025



**LE PROJET**

**ReSTart**

*Réglementation*



**01**

**Contexte réglementaire et solutions de décarbonation**

**02**

**Le CO<sub>2</sub> 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

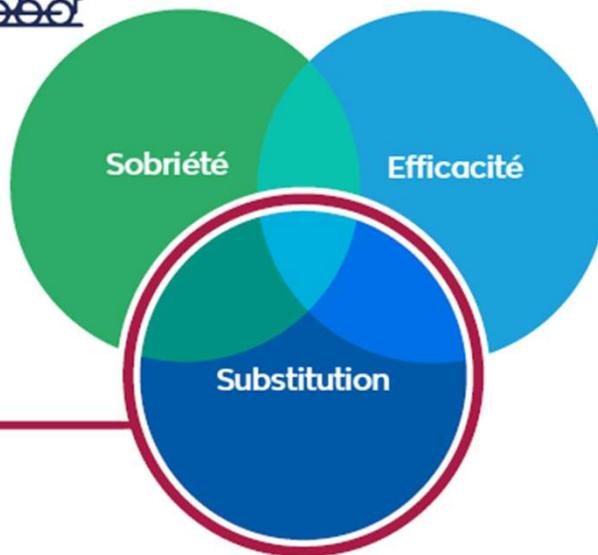
## ReFuelEU Aviation (2023)

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

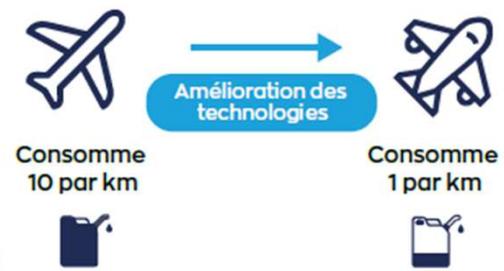


# Les 3 piliers de la décarbonation

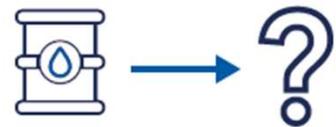
1 Réduire les consommations énergétiques non essentielles



2 Réduire les pertes énergétiques



3 Utiliser de nouvelles sources d'énergie moins carbonées

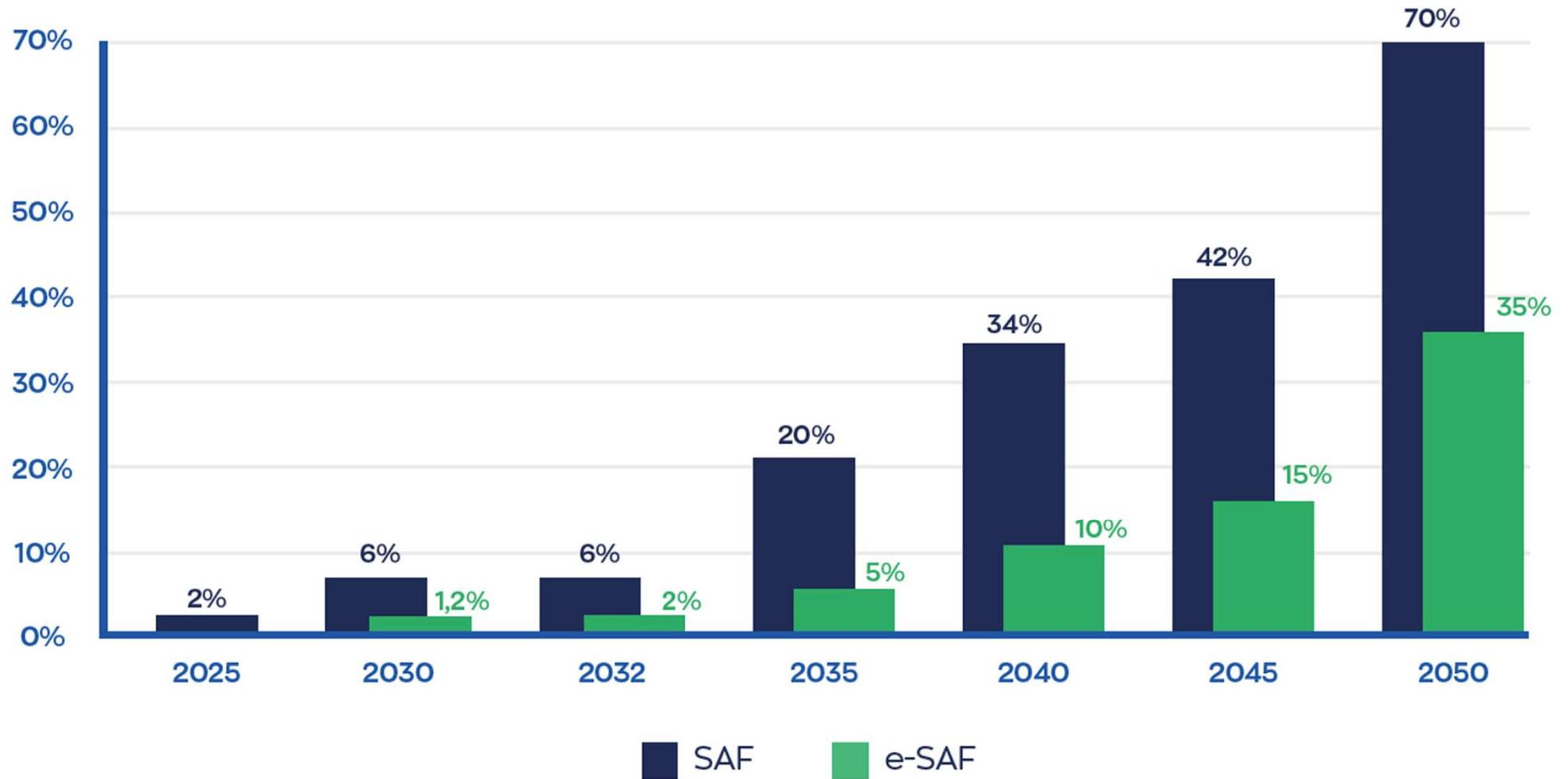


# Les solutions de substitution

<b>Méthode actuelle</b> Combustibles fossiles	<b>Biocarburants</b> Carburants à partir de biomasse	<b>Avion électrique</b> Electrification directe décarbonée des usages	<b>Avion à hydrogène</b>	<b>Carburants de synthèse</b> (e-carburants ou e-SAF)
<p><b>Kérosène</b></p>  <ul style="list-style-type: none"><li>⚠️ <b>Émissions de CO<sub>2</sub></b></li><li>⚠️ <b>Dépendance énergétique de la France à des importations</b></li></ul>	<p><b>Biomasse durable</b></p>  <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Pas d'émission de CO<sub>2</sub> fossile</li><li>✓ Production domestique possible</li><li>⚠️ <b>Consommation de biomasse, avec des enjeux de gestion durable</b></li></ul>	<p><b>Énergies renouvelables et nucléaire</b></p>  <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Pas d'émission de CO<sub>2</sub> fossile</li><li>✓ Production domestique possible</li><li>✓ Pas de consommation additionnelle de biomasse</li><li>⚠️ <b>Inadaptée à l'aviation longue distance en raison de la taille des batteries requises</b></li></ul>	<p><b>À partir d'hydrogène</b></p>  <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Pas d'émission de CO<sub>2</sub> fossile</li><li>✓ Production domestique possible</li><li>✓ Pas de consommation additionnelle de biomasse</li><li>⚠️ <b>Technologies pas prêtes avant l'horizon 2050</b></li><li>⚠️ <b>Infrastructures inexistantes</b></li></ul>	<p><b>À partir d'hydrogène électrolytique décarboné, seul ou combiné avec du CO<sub>2</sub> biogénique</b></p>  <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Pas d'émission de CO<sub>2</sub> fossile</li><li>✓ Production domestique possible</li><li>✓ Pas de consommation additionnelle de biomasse</li><li>✓ Adapté aux infrastructures et motorisations actuelles</li></ul>

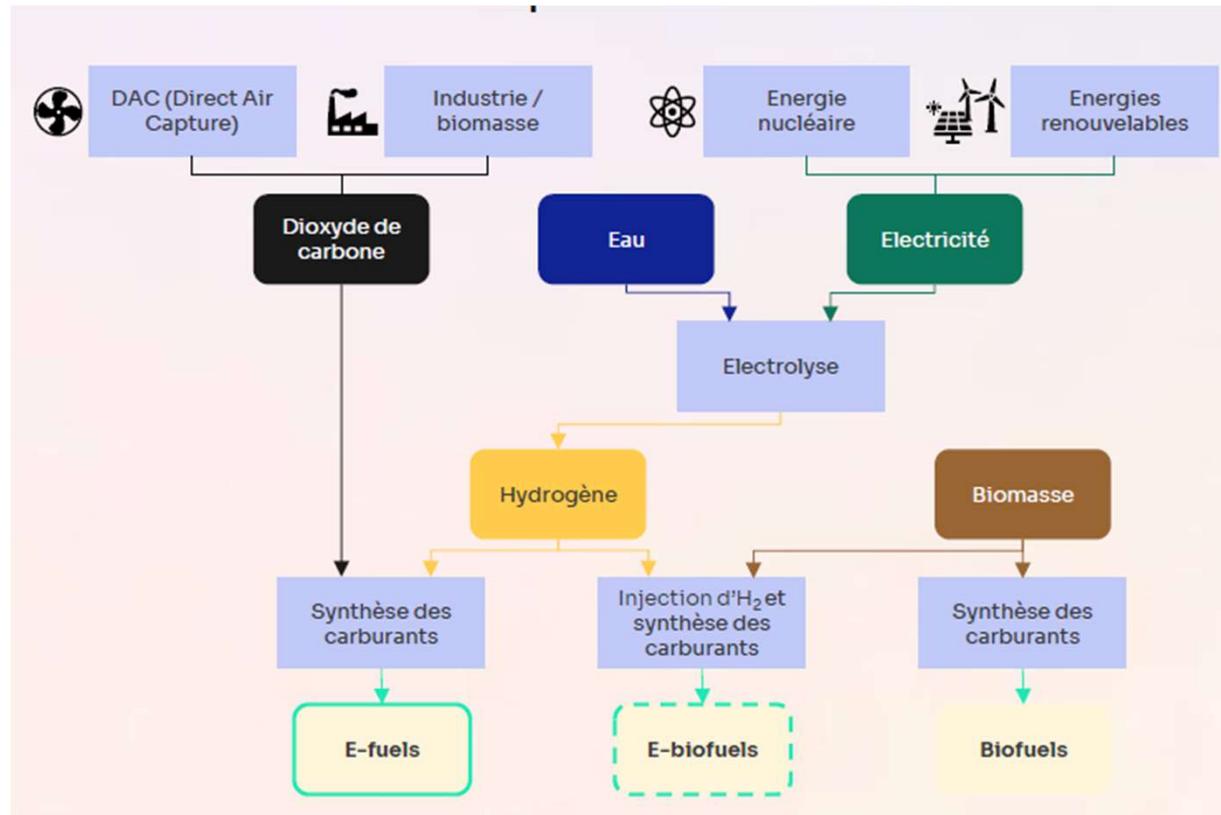


# ReFUEL EU Aviation



# 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> employé soit biogénique** ou capturé directement dans l'air

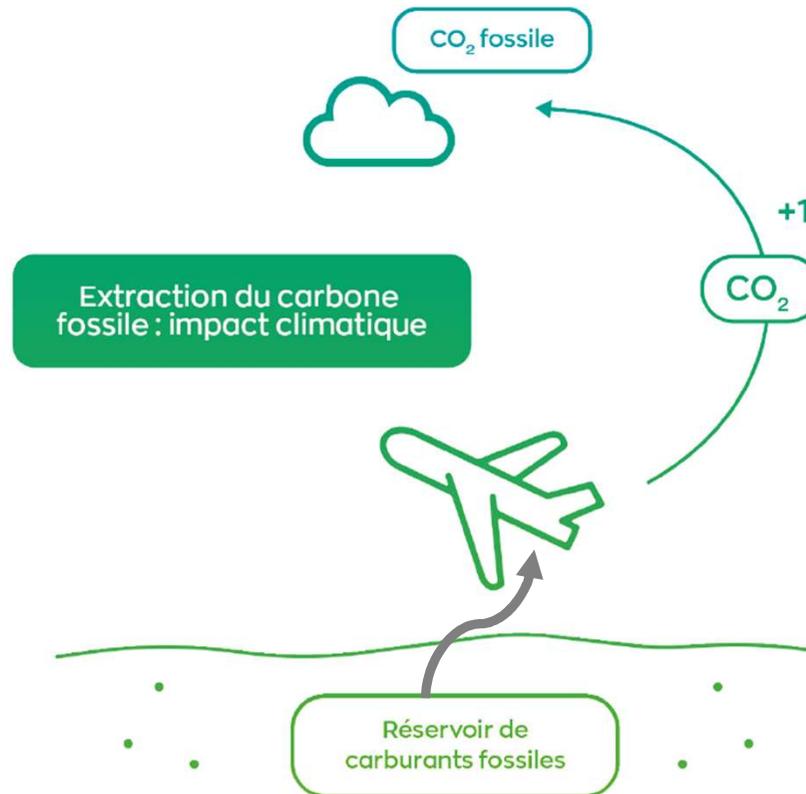


# Le CO<sub>2</sub> biogénique

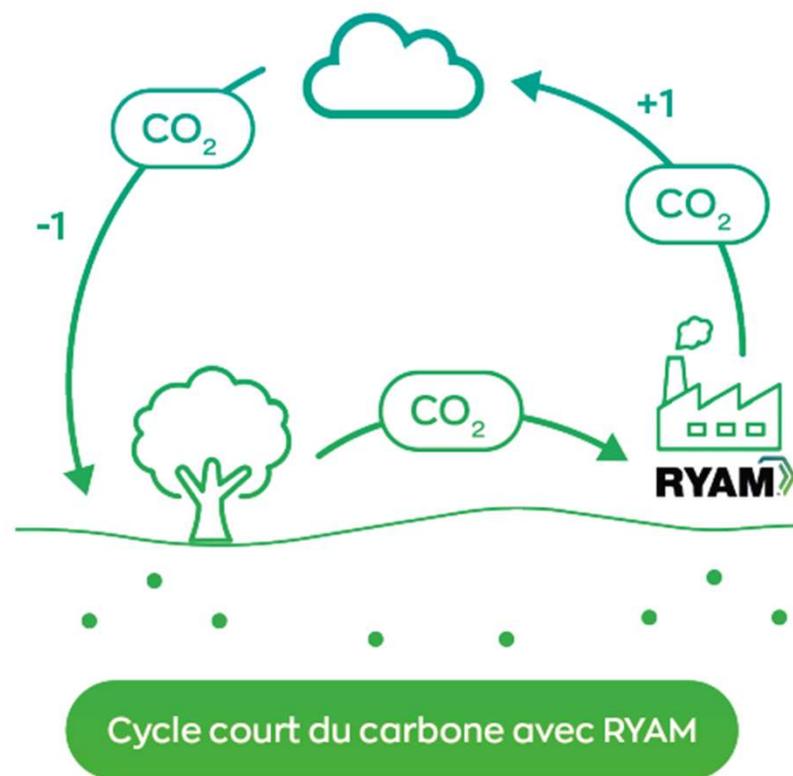
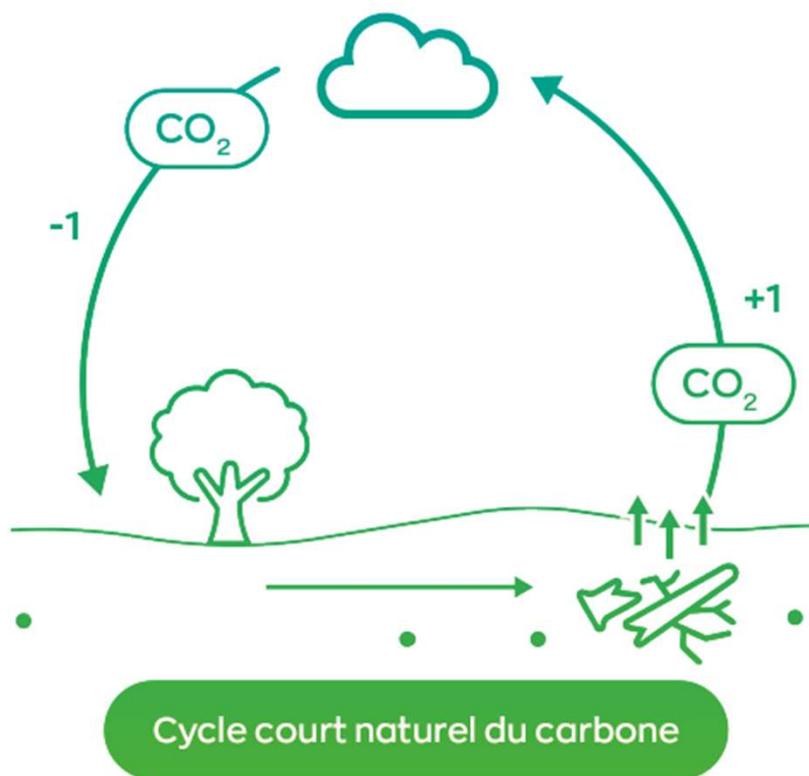




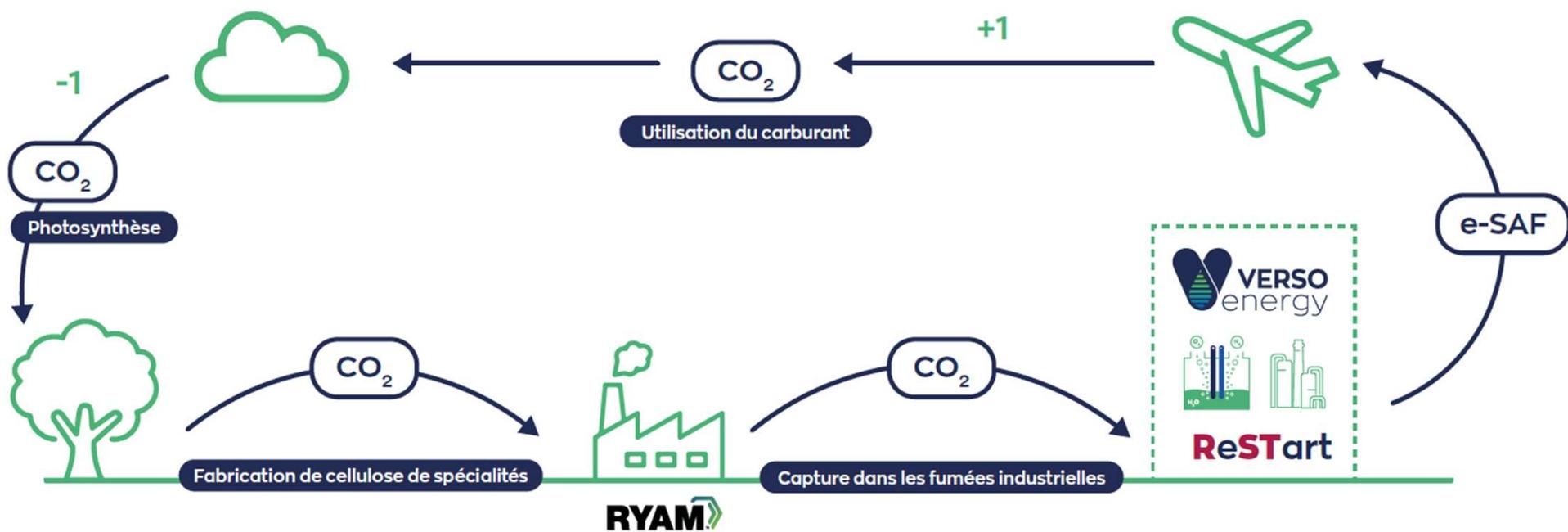
# Le CO<sub>2</sub> fossile



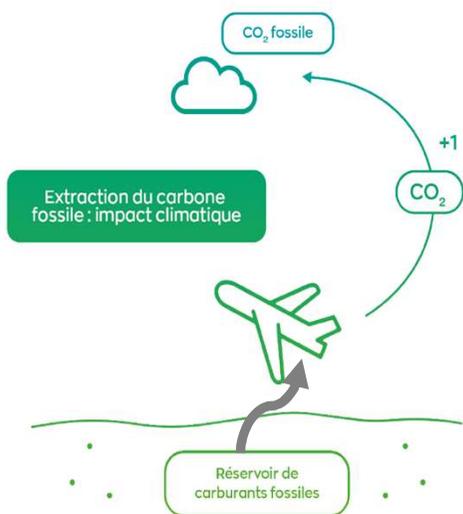
# Le cycle du CO<sub>2</sub> biogénique



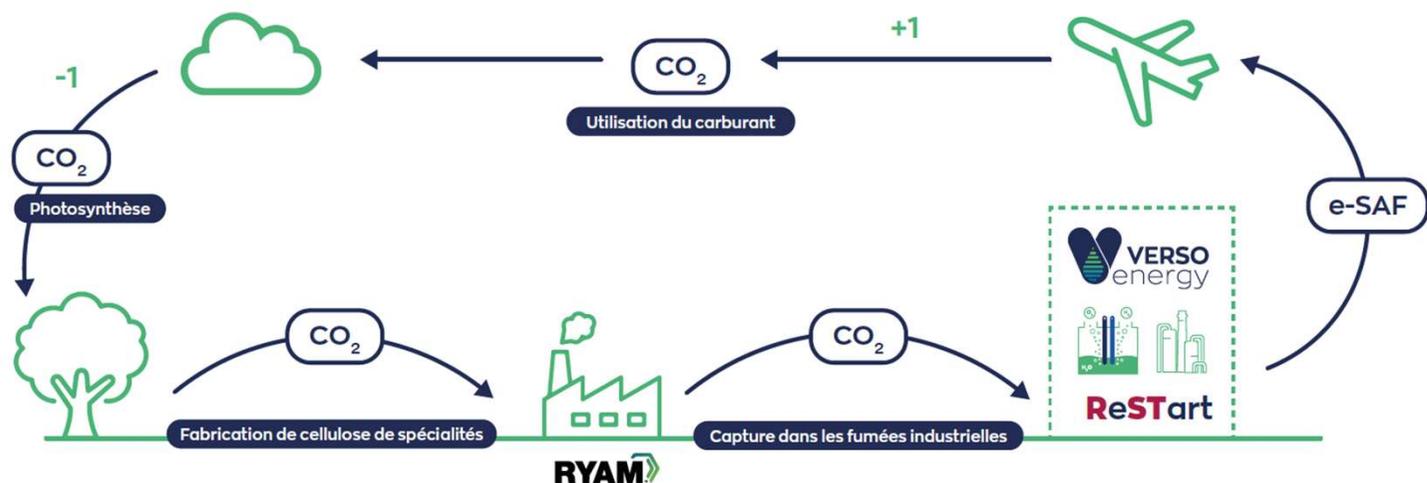
# Le cycle vertueux du projet



# Le cycle vertueux du projet



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



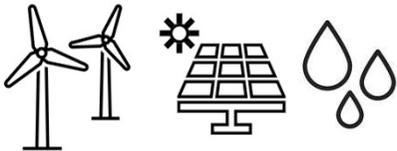
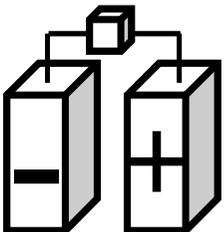
**DEMAIN**  
**Valorisation du CO2 biogénique :**  
 Neutre en carbone  
 Evitement de 225ktan CO2 fossile



# 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><b>Electrolyse de l'eau</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Base d'eau</li> <li>• Injection courant électrique</li> <li>• Séparation des gaz</li> </ul>	<p><b>Vaporeformage + Capture</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Injection Gaz naturel</li> <li>• Action vapeur d'eau surchauffée</li> <li>• Extraction molécule H<sub>2</sub></li> <li>• Capture du CO<sub>2</sub></li> </ul> 	<p><b>Vaporeformage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Injection Gaz naturel</li> <li>• Action vapeur d'eau surchauffée</li> <li>• Extraction molécule H<sub>2</sub></li> </ul> 	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ø émission de CO<sub>2</sub></li> <li>✓ Ø utilisation ressource fossile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ø émission de CO<sub>2</sub></li> <li>× Usage uranium</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Capture CO<sub>2</sub></li> <li>× Usage gaz naturel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>× Émission CO<sub>2</sub></li> <li>× Usage gaz naturel</li> </ul>



# Règles pour la production d'hydrogène renouvelable (RFNBO)

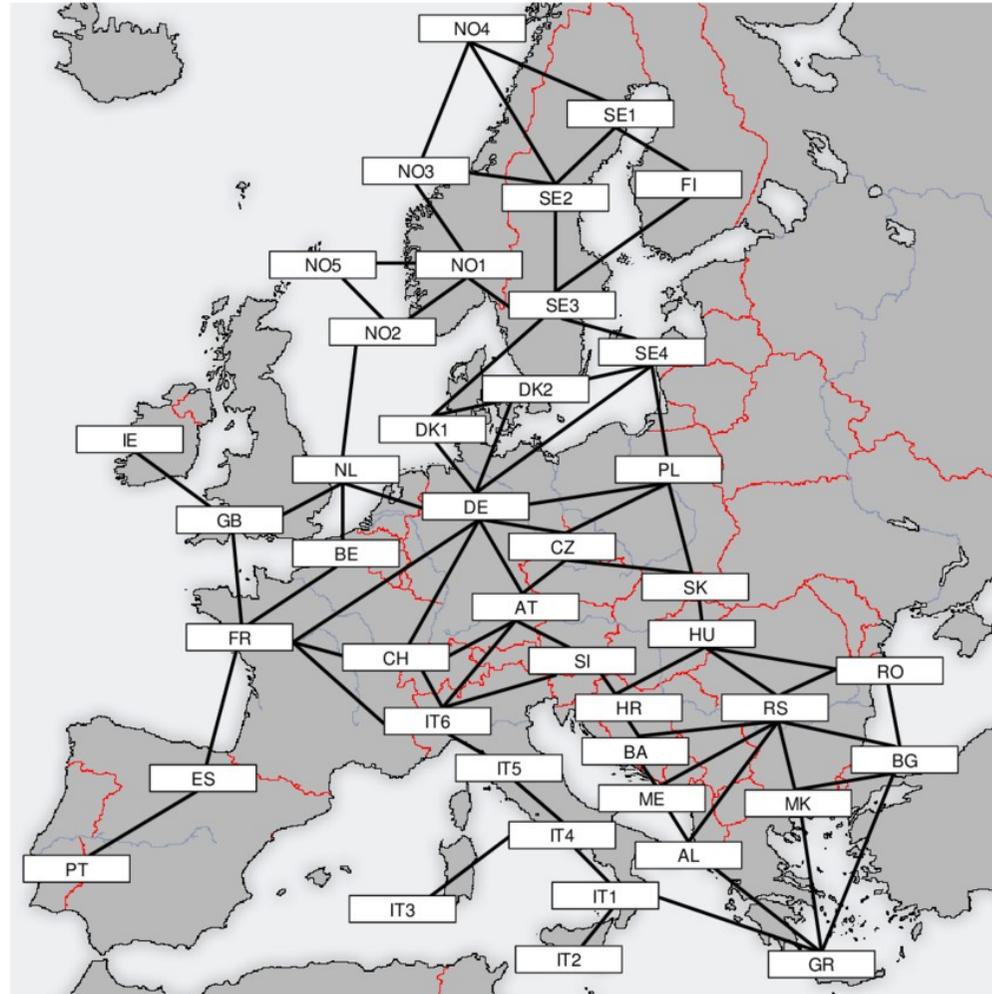
Les règles de production d'hydrogène renouvelable sont définies dans la directive Européenne RED II qui réglemente les RFNBO (Renewable Fuel From Non Biological Origin).

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 kgCO<sub>2</sub>eq/kgH<sub>2</sub>. 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 « binding zone » que l'électricité utilisée
- *Exemption règle additionalité grâce au mix FR*



# L'approvisionnement électrique – Corrélation géographique

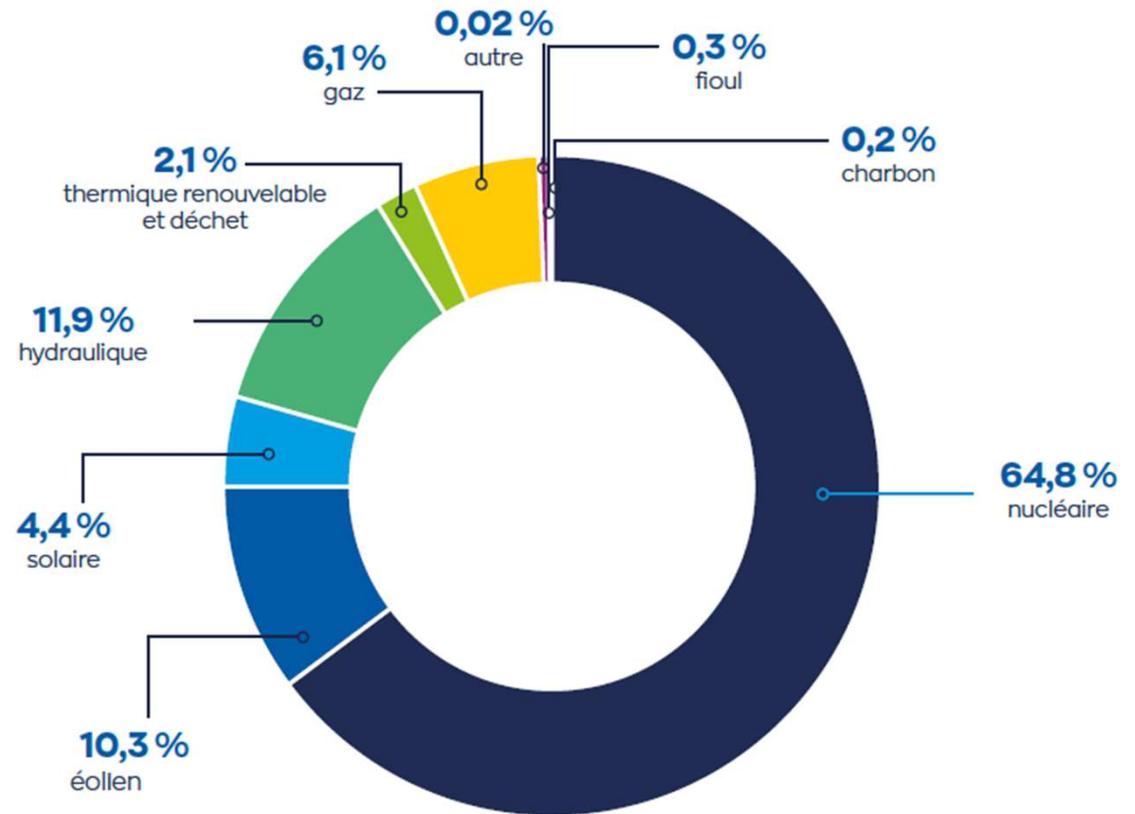




# L'approvisionnement électrique – Source d'énergie décarbonée

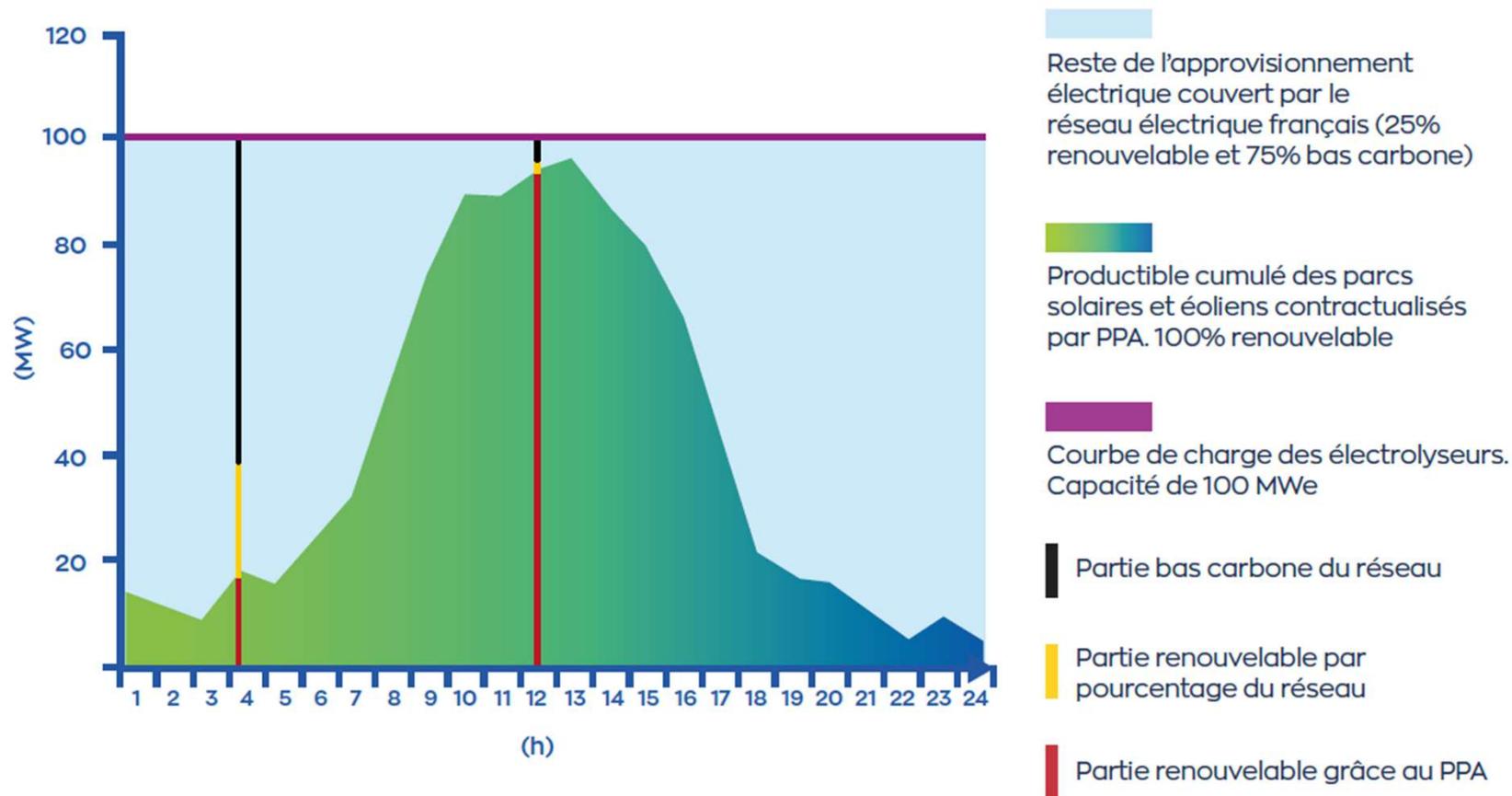
## Le mix électrique français

- 92% de la production d'électricité est décarbonée.
- Le facteur d'émission moyen est ainsi de 32 gCO<sub>2</sub>eq/kWh, inférieur au seuil européen de RED (64,8 g CO<sub>2</sub>eq/kWh)



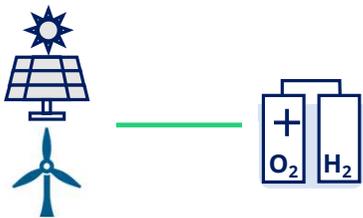
Mix énergétique français en 2023

# 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'H<sub>2</sub> ne peut être produit que selon **quatre méthodes non cumulatives** sauf exception (cf slide suivante) afin d'être qualifié de RFNBO

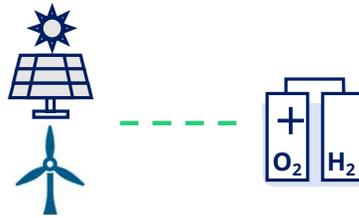


## Connexion directe à un actif EnR

**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



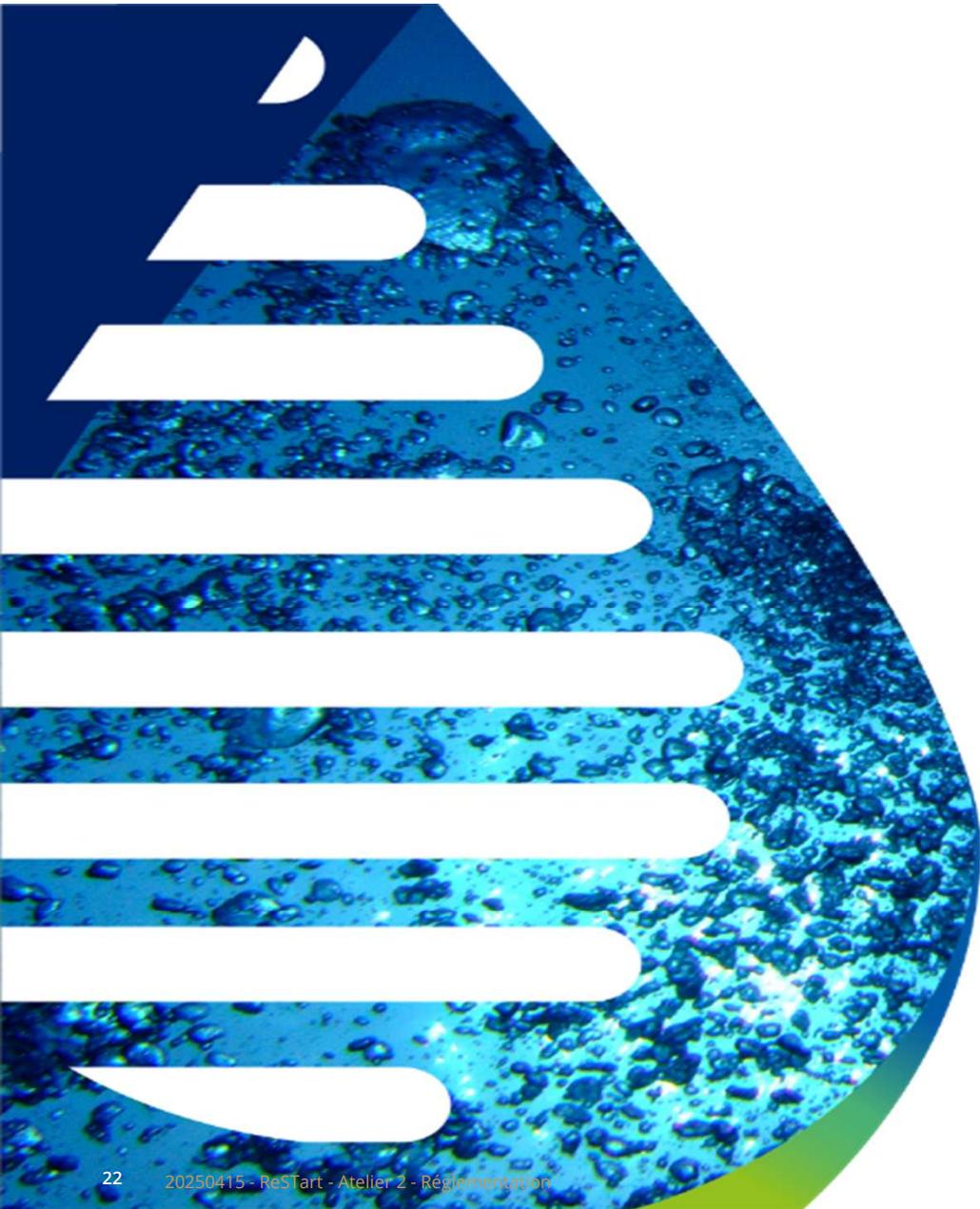
## Connexion directe de l'électrolyseur à un réseau électrique décarboné

**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 H<sub>2</sub> < 3,38 kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub>





## Echange

---



**MERCI**

Retrouvez-nous sur : <https://verso.energy/>



49 bis avenue Franklin D. Roosevelt  
75008 PARIS

