

---

**AÉRONAUTIQUE  
& HYDROGÈNE**  
Une nécessaire transition



## Les intervenants

- **Laurent BIZIEAU**, Pilote Ecosystème Propulsion & Energie Embarquée - **Aerospace Valley**
- **Alexis PRADILLE**, VP Sales, **Delair**
- **Florian PASQUIET**, Ingénieur Développement - **Blue Spirit Aero**
- **Julien LAMBERT**, Responsable Infrastructures Nouvelles Energies - **Airbus**
- **Guillaume DE LA GRANDRIVE**, responsable des activité H2 Occitanie **Engie Solutions**
- **Romain DEWEZ**, Chef de projet Hydrogène, **ADEME**

**Présentation : Benjamin FEVRE**, chargé de mission hydrogène, **Agence AD'OCC**



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



# **Scénarios de transition écologique du secteur aérien Focus énergétique et production d'e-kérozène**

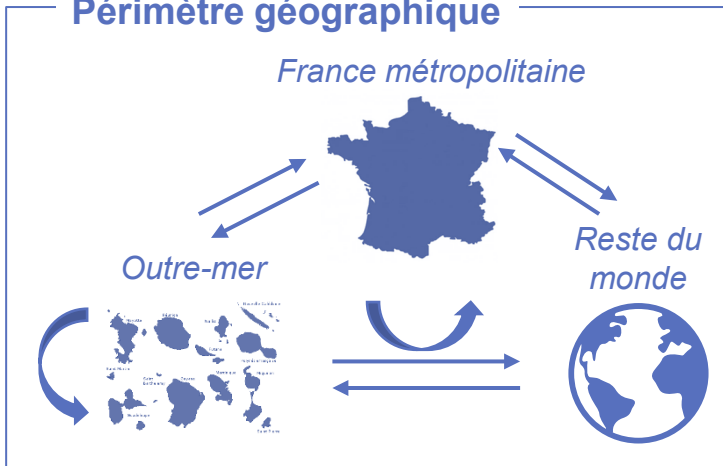
Journées hydrogène dans les territoires 2023 – Pau



Etude pilotée par un comité ADEME/DGAC/DGEC/conseil, avec consultation de nombreux acteurs (CITEPA, IDDRI, ISAE Supaero, ONERA) et parties prenantes (constructeurs, aéroports, compagnies aériennes, ...)

**Objectif :** Elaborer trois scénarios contrastés de transition écologique du secteur aérien sur la période 2020-2050, représentant trois stratégies potentielles pour la filière

## Périmètre géographique



## Emissions considérées quantitativement :

- Production et distribution de l'énergie consommée par les avions;
- Utilisation des Groupes Auxiliaires de Puissance (APU);
- Phases *Landing and Take Off* (LTO) et phases de croisière.

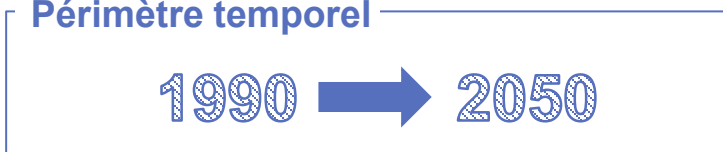
## Leviers mobilisés



## Vols comptabilisés



## Périmètre temporel



## S0

« Scénario de référence »

### Scénario A « Rupture technologique »

Des investissements importants sont réalisés dans l'aéronautique et la production de CAD, afin de conserver un niveau de trafic élevé et de permettre au secteur de développer son activité.

### Scénario B « Modération du trafic »

Des mesures de modération du trafic et les CAD sont mobilisés pour minimiser les émissions cumulées entre 2020 et 2050 et réduire nettement les émissions d'ici 2030.

### Scénario C « Tous leviers »

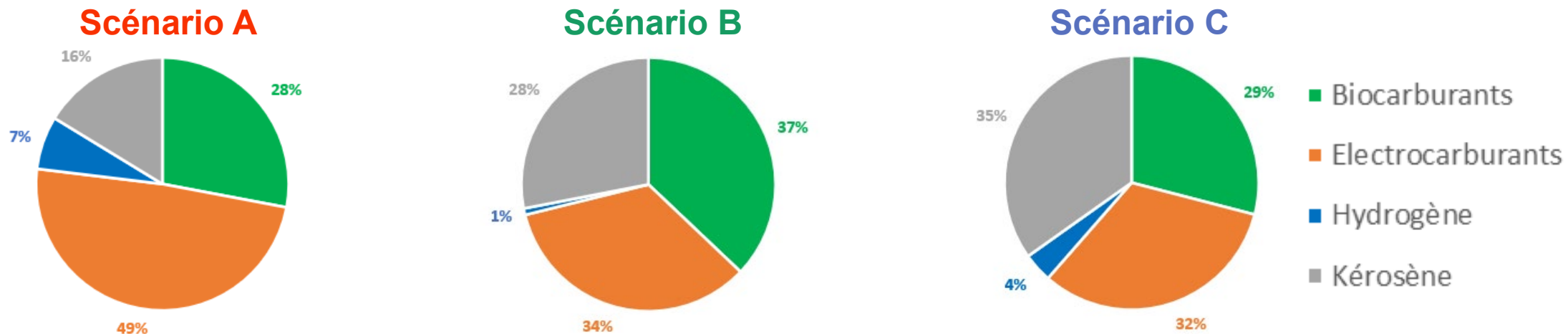
Actionner tous les leviers disponibles afin de réduire le recours à des technologies de rupture non-matures aujourd'hui et d'augmenter l'acceptabilité des mesures de modération du trafic.



## Hypothèses sur le développement de l'hydrogène comme carburant :

- Seuls les commuturs (moins de 500 km - 0,3% du trafic), les vols régionaux (moins de 1000 km - 1,0% du trafic) ainsi que les vols court-courriers (moins de 2000 km - 8,1% du trafic) peuvent embarquer de l'hydrogène ;
- Les premiers avions à propulsion hydrogène apparaissent en 2035 (**scénario A**) ou 2040 (**scénario C**) ;
- Ces avions ne représentent 100% des nouveaux avions court-courriers qu'à partir de 2050 ;
- Entre 4% (**scénario B**) et 5% des flottes (**scénario A**) sont renouvelées chaque année.

## Composition des mix énergétiques en 2050 (en tep) – avec effets prix – vols au départ de la France



La consommation directe d'hydrogène comme carburant reste mineure dans l'ensemble des scénarios.

La consommation d'e-kérosène, produit à partir d'hydrogène et de CO<sub>2</sub>, représente entre un tiers et la moitié des mix énergétiques.

# Production d'e-kérozène pour l'aérien

## Exercice quantitatif « énergie-ressource »

# Quels besoins en électricité et CO<sub>2</sub> biogénique à horizon 2050 ?

- Contexte : Récente adoption au niveau européen de cibles minimales de décarbonation des carburants dans le secteur aérien (*ReFuel EU aviation*) avec l'incorporation de 70% de carburants durables (SAF) à 2050
- Hypothèse : L'hydrogène à destination de l'aérien est entièrement dédié à la production de e-kérosène
- Périmètre : Production domestique d'e-kérosène, sans recours aux importations
- 4 scénarios modélisés à 2050, croisant :
  - Hypothèses de demande en e-kérosène à horizon 2050 : basse et haute
  - Hypothèses techniques des procédés (rendements, sélectivité, etc.) : deux variantes conservatrice et optimiste

4 scénarios modélisés	Demande basse	Demande haute
Hypothèses procédés : Optimistes	Bas optimiste	Haut optimiste
Hypothèses procédés : Conservatrices	Bas conservateur	Haut conservateur



# Hypothèses de demande et de rendement

## Estimation de la demande en e-kérosène à horizon 2050

Demande actuelle : la consommation énergétique du trafic aérien en France en 2019 s'élevait à **56,4 TWh** (dont 20,9 TWh pour les vols domestiques et 50% des soutes internationales)

Demande prospective 2050 pour l'aérien :

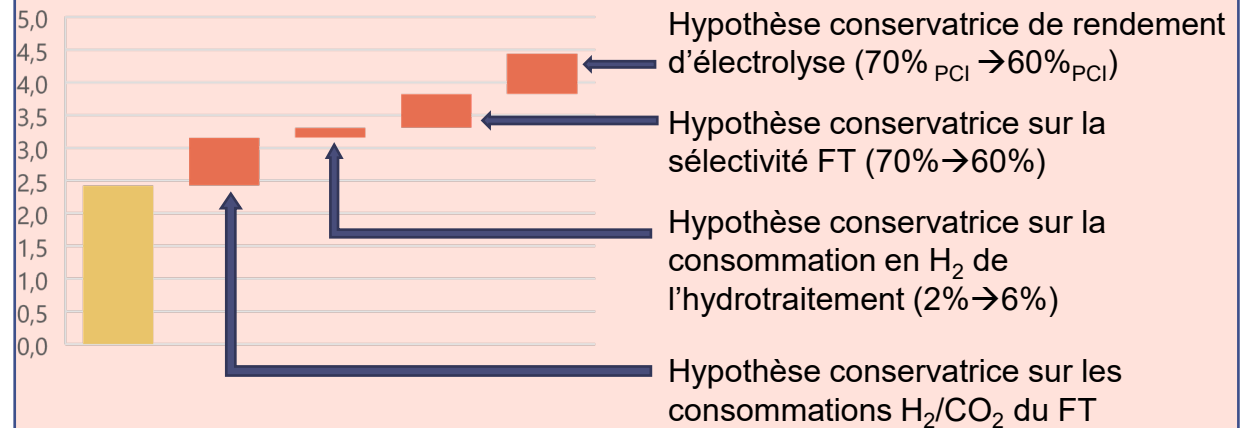
	Scénario « demande basse »	Scénario « demande haute »
<b>Référence</b>	S2 Transition(s) 2050	SA I-Care & ADEME
<b>Demande énergétique à 2050</b>	29,3 TWh	69,8 TWh
<b>Part d'e-kérosène</b>	35% Minimum d'incorporation de e-carburants imposé par la réglementation « ReFuel EU aviation »*	
<b>Demande énergétique d'e-kérosène</b>	<b>10,3 TWh</b>	<b>24,4 TWh</b>

\*sur un minimum total d'incorporation de 70% de carburants durables (SAF), intégrant à la fois e-carburants et biocarburants

## Hypothèses de consommation énergétique de la chaîne de production d'e-kérosène par Fischer-Tropsch

	Hypothèses optimistes	Hypothèses conservatrices
<b>Consommation d'H2 (TWhH2/TWhkéro)</b>	1,7	2,7
<b>Consommation d'électricité (TWhé/TWhkéro)</b>	2,4 ( $\eta = 42\%$ )	4,4 ( $\eta = 23\%$ )

Consommation électrique (en TWh<sub>é</sub>) par TWh de kerosène

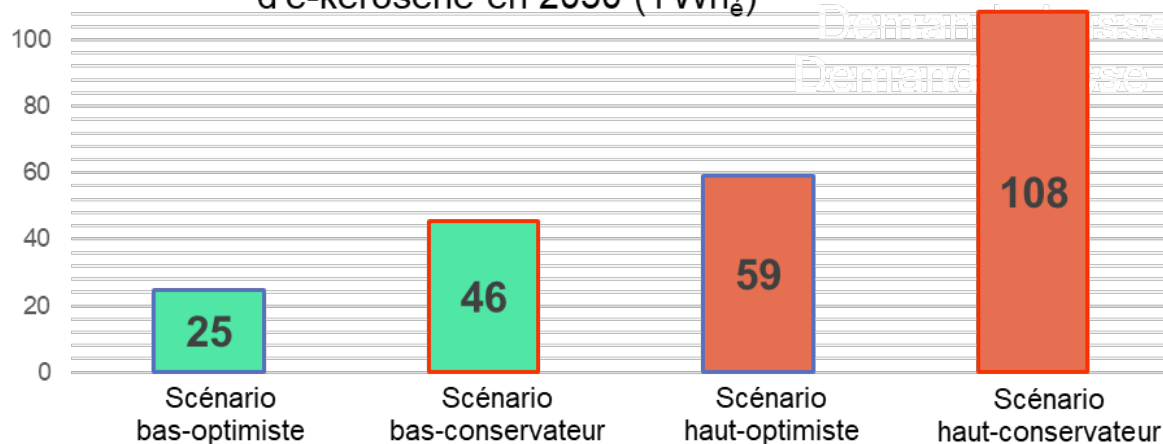






# Besoins en électricité et en CO<sub>2</sub> biogénique pour la production d'e-kérosène à horizon 2050

Consommation électrique pour la synthèse d'e-kérosène en 2050 (TWh<sub>e</sub>)



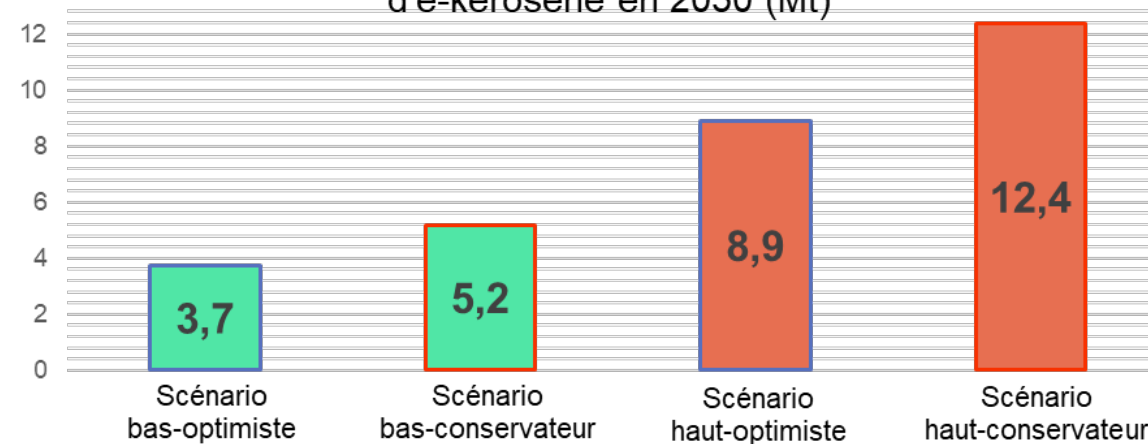
**Nouveaux besoins d'électricité** estimés de **25 à 108 TWh<sub>e</sub>/an**

Le scénario le plus énergivore correspond à 8 réacteurs EPR

Comparaison à la production électrique totale envisagée en 2050 :

- 4,7% à 20,5% de la production du S2 Transition(s) 2050 - ADEME
- 3,6% à 15,7% de la production du N02 - RTE

Consommation de CO<sub>2</sub> biogénique pour la synthèse d'e-kérosène en 2050 (Mt)



**Besoins en CO<sub>2</sub> biogénique** estimés de **3,7 à 12,4 MtCO<sub>2</sub>/an**

N.B. : Le CO<sub>2</sub> fossile n'est pas éligible à la REDIII post-2041

Comparaison aux gisements CO<sub>2</sub> biogéniques « disponibles » :

- 11-16MtCO<sub>2</sub>b en 2050 captable sur les grands émetteurs (>200ktCO<sub>2</sub>/an)
- 32MtCO<sub>2</sub>b en 2050 captable en cas de réseau CO<sub>2</sub> sur la France (émetteurs >30ktCO<sub>2</sub>/an)



# Conclusions

**Les scénarios de demande basse (mobilisant des leviers de sobriété des usages) pourraient permettre d'atteindre les cibles de décarbonation européennes sur l'aérien, tout en mobilisant de façon raisonnable les ressources en électricité/CO<sub>2b</sub>.**

**Condition 1 : Prioriser les usages afin d'éviter une cannibalisation des gisements (d'électricité et CO<sub>2</sub> biogénique) par un rapide déploiement d'unités de production d'e-kérosène qui nuirait à la décarbonation des autres secteurs, rendant ainsi impossible un bouclage énergétique et climatique à horizon 2050.**

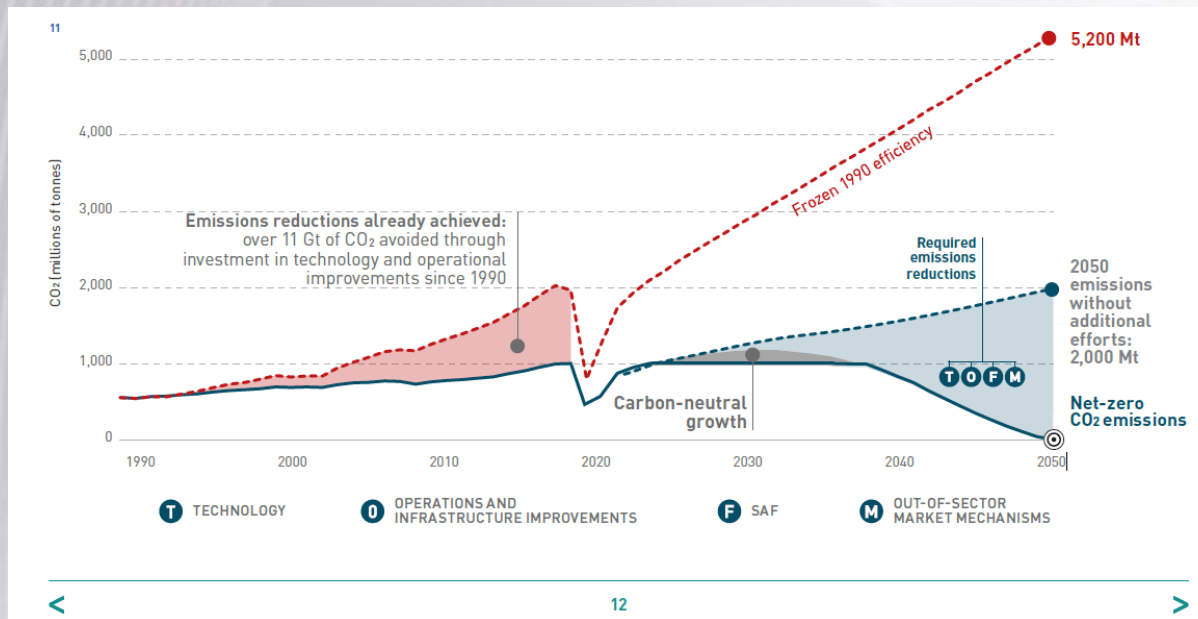
- ⇒ **De nouveaux besoins d'électricité émergeront aussi pour la production d'e-carburants à destination de la mobilité maritime et routière : hydrogène, e-méthane, e-méthanol, ammoniac ...**
- ⇒ **L'usage e-carburant du gisement CO<sub>2</sub> biogénique est en concurrence avec son stockage de manière durable (BECCS) permettant notamment d'assurer le rebouclage global du système énergie/climat ce qui nécessite de s'inscrire dans un scénario de demande basse.**

**Condition 2 : Planifier la réduction de la demande, qui est le premier facteur de sensibilité**

*Attention : Bilan non GES non neutre à consolider → Analyses environnementales approfondies nécessaire.*

# La Décarbonation du Transport Aérien

## Une Trajectoire ambitieuse mais crédible



Source : ATAG – Sustainable Aviation Fuel – Ed.4 – April 2023

Renouvellement  
Des flottes



Technologies  
Ultrafrugalité



Technologies  
Hydrogène



Opérations  
Vertes



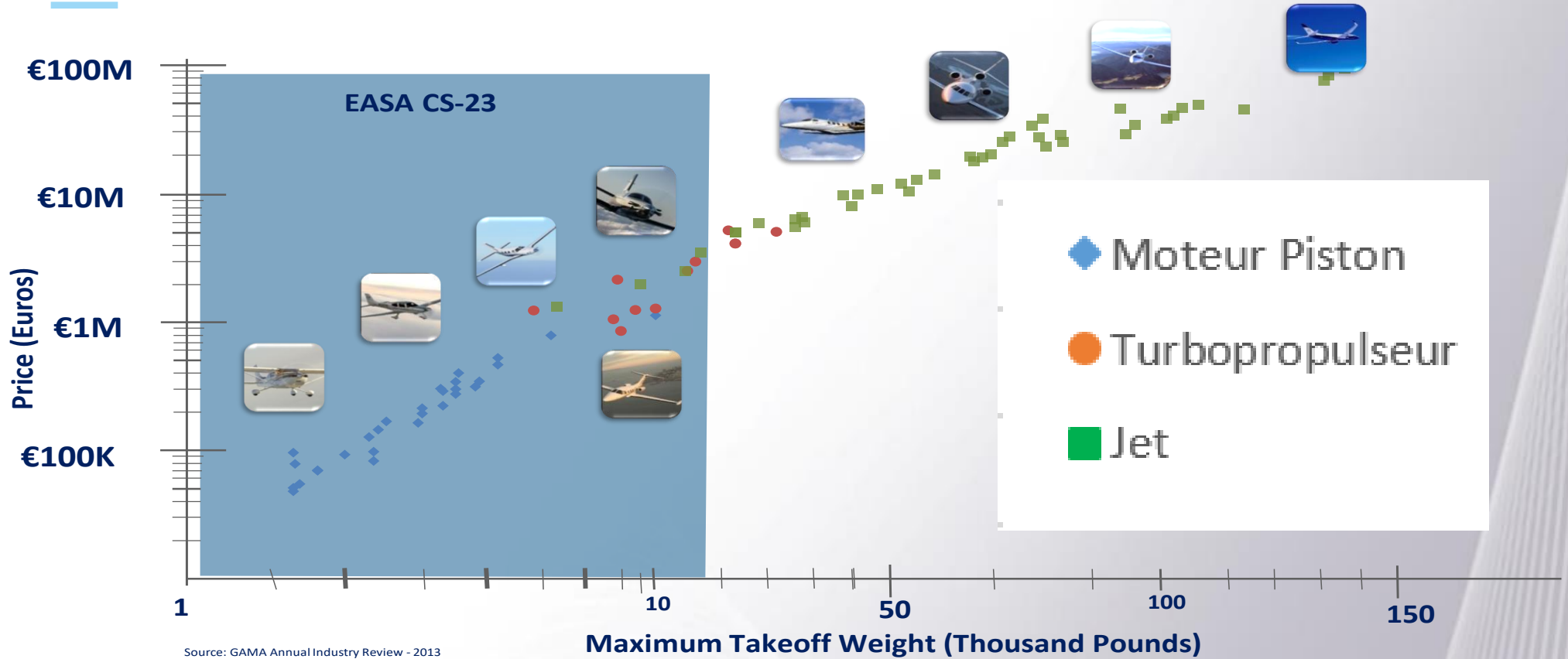
Carburants  
Aéronautiques  
Durables



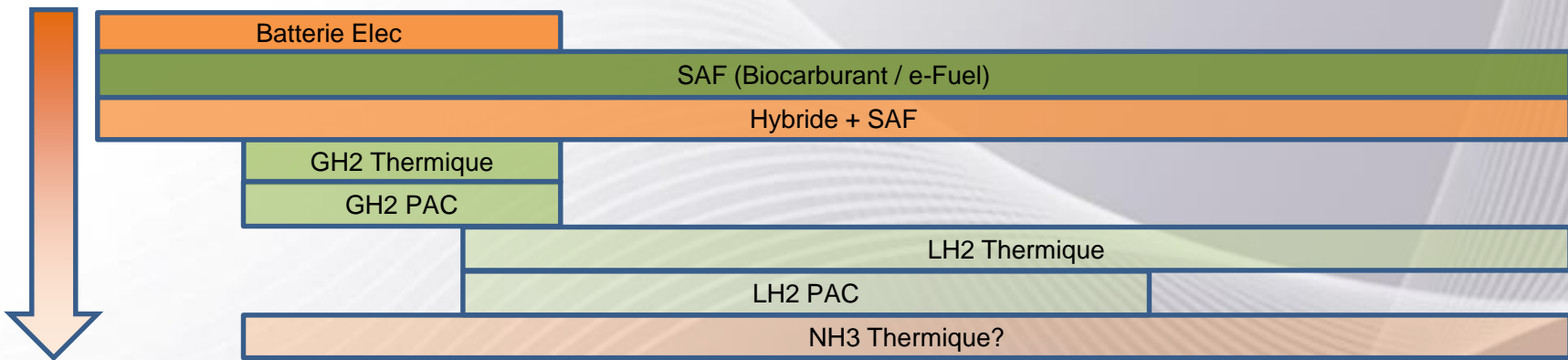
## Des conditions de succès :

- endogènes : filière aéro
- exogènes : énergie, biomasse

# Cartographie des architectures propulsives



2023



2050 +

## 4 Appels à Projets soutenus par les Régions Nouvelle Aquitaine & Occitanie depuis 2021

- 17 projets & consortia subventionnés
- 17 M€ de financements publics



**aerospace valley** **PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ**  
OCCITANIE ET NOUVELLE-AQUITAINE

## Challenge MAELE 2023

Avec le support de la Région Nouvelle-Aquitaine,  
la Région Occitanie et France 2030 Régionalisé

**La Région Occitanie**  
Pyrénées - Méditerranée

**RÉGION Nouvelle-Aquitaine**

**maele** | Mobilité Aérienne Légère Environnementalement responsable

**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**  
Liberté  
Égalité  
Fraternité

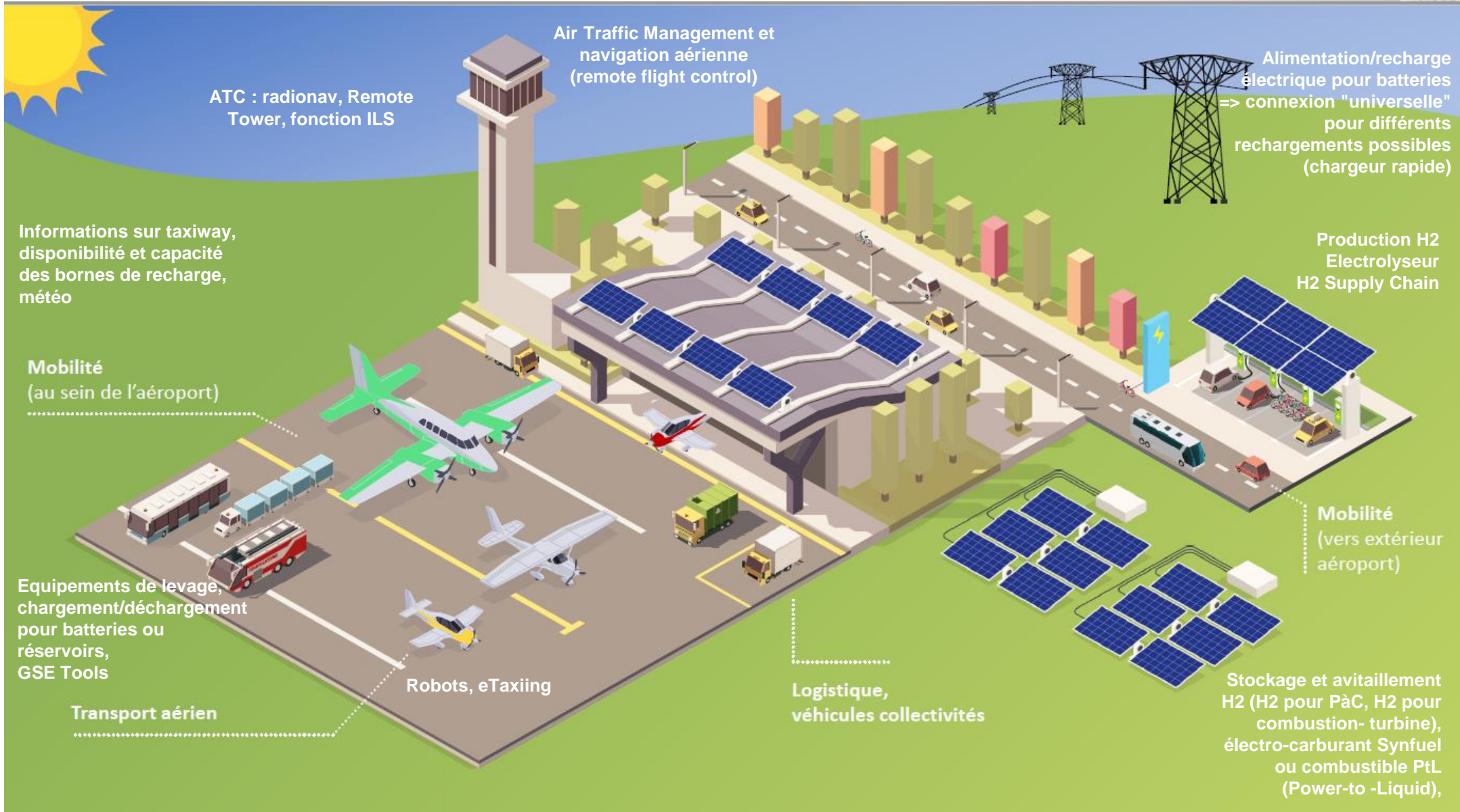
**FRANCE 2030**

by **aerospace valley**

## Thématiques abordées :

- Propulsion électrique à batteries
- Technologies d'hybridation
- Technologies hydrogène
  - Hydrogène embarqué
  - Pile à Combustible
  - Chaîne propulsive électrique
  - Chaîne propulsive hydrogène
  - Avitaillement hydrogène
- Hélices silencieuses
- ATM

# Aéroports : hubs énergétiques?





***The European leader of unmanned observation  
vehicles for Industry and Defense***

Journées Hydrogène dans les Territoires - 14 juin 2023

# Delair en quelques mots

**12 ans** d'expérience dans la conception et la fabrication de **5** générations de drones professionnels.

Des milliers de drones Delair vendus et opérés à travers le monde



**74%** de l'activité export, dans plus **75 pays**



Plus de **70 employés**



**70 distributeurs**



≈ **7 M€ CA**  
**1.5M€ EBIT**



**100 000 heures de vol** & des millions de km parcourus



Service après vente à l'étranger



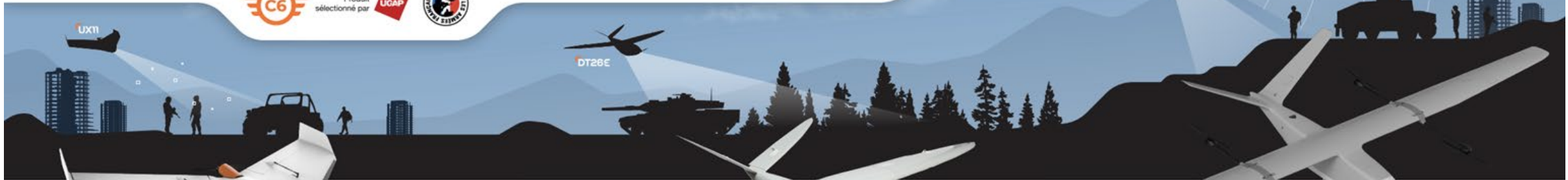
# Notre gamme de drone aériens



MULTI-MISSION, MULTI-PURPOSE,  
INTELLIGENCE, SURVEILLANCE,  
RECONNAISSANCE  
AND TARGET ACQUISITION



Produit  
sélectionné par



1,5h Endurance  
10km  
Maximum range communication

**UX11**

3h Endurance  
50km  
Maximum range communication

**DT26E**

7h Endurance  
100km  
Maximum range communication

**DT 46**

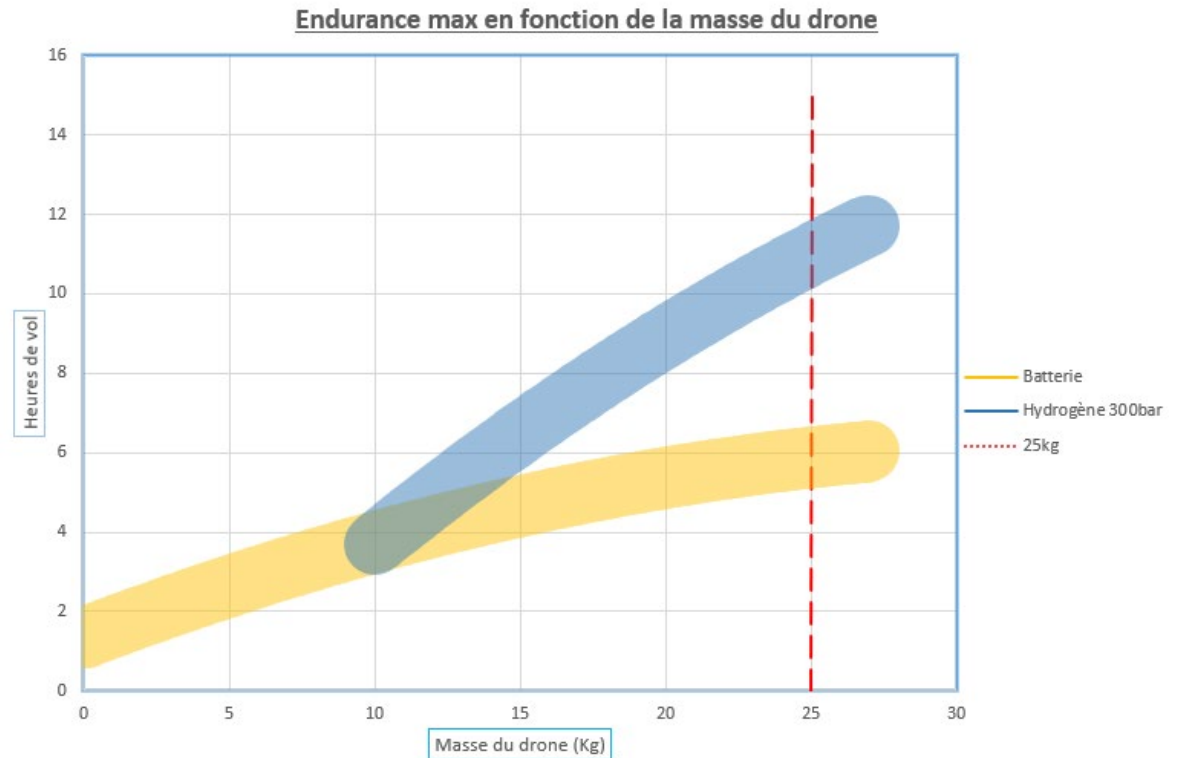
# Le drone à hydrogène - Rupture

L'hydrogène apporte une valeur en termes de **performances**, il n'est pas là pour "verdir le drone"

En enlevant la contrainte de mettre un pilote à bord du véhicule d'observation, on enlève 100kg de charge utile ce qui **divise la masse du véhicule par 40**

Un drone à voilure fixe consomme environ **3 fois moins** d'énergie qu'un drone à voilure tournante en palier

La densité d'énergie massique d'un système à hydrogène gazeux est environ **2 fois meilleure** que celle des batteries capables de délivrer les courants nécessaires au vol, et quasi équivalente à celle de l'essence



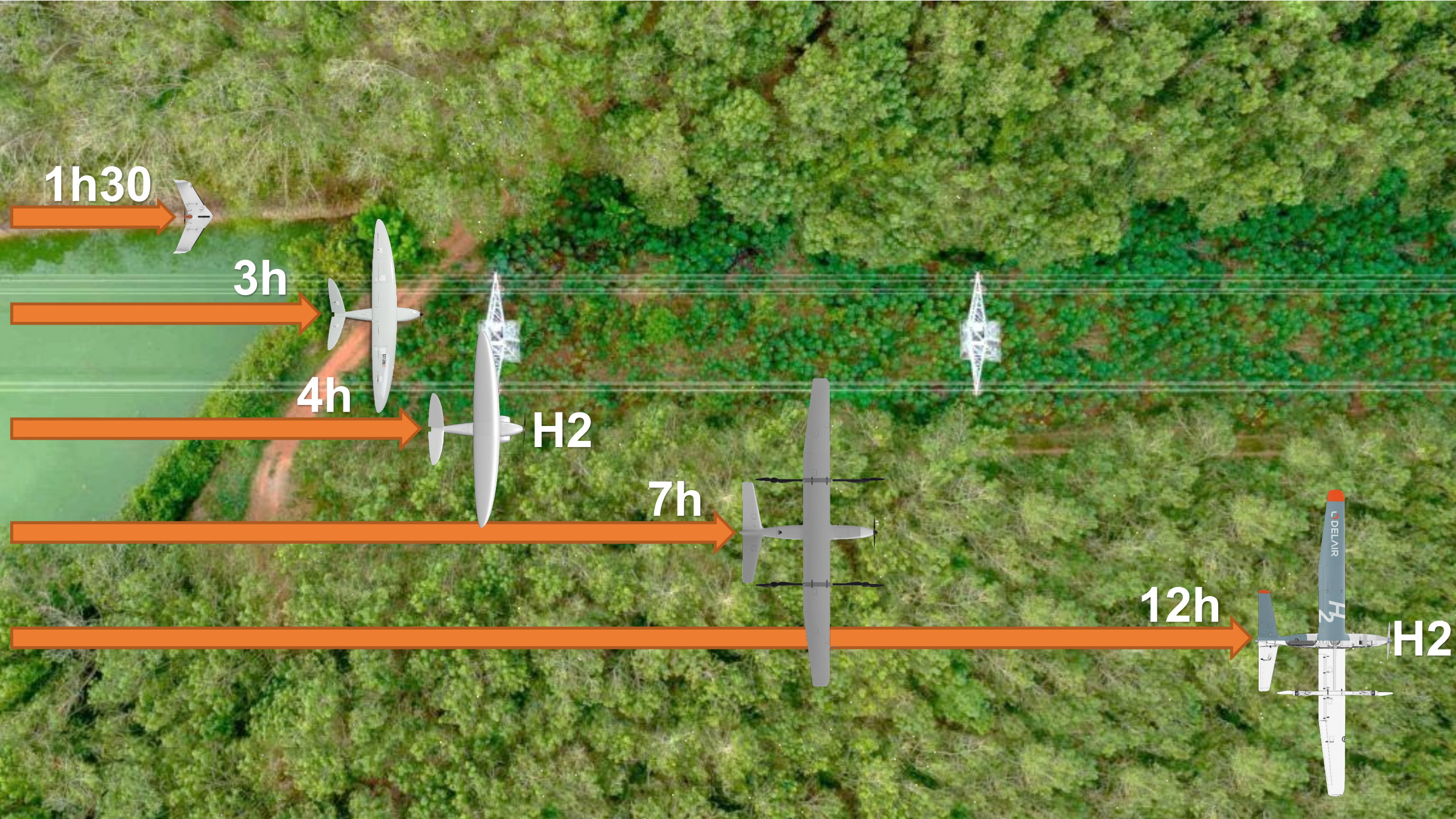
# Feuille de route H2

Feuille de route

- 1er vol Hydrone en 2020
- EIS drone de série 2024

Choix technologiques et enveloppe de vol





1h30

3h

4h

H2

7h

12h

H2



ÉCRIVAIN  
AUTHOR &  
ESCRITOR Y

ESPRIT PIONEER  
ENGAGEMENT  
AIDACE  
PARTAGE  
RESPONSABILITÉ  
OU DEVOIR

ÉCRIVAIN  
AUTHOR &  
ESCRITOR Y

L

COU  
SU

5X  
ET  
RU

LOGO

# Journées Hydrogène

DANS LES  
TERRITOIRES

10<sup>ème</sup> édition

PAU

2023

## Joignons nos énergies au-delà des frontières

Du 13 au 15 juin 2023 à PAU

## Au Palais Beaumont

## Aéronautique et hydrogène : Une nécessaire transition

Organisées par



## Le Dragonfly® de Blue Spirit Aero

Un design optimisé pour l'emploi des technologies hydrogène



- 4 passagers
- 700 km
- 250 km/h

- Groupes propulsifs électrique-hydrogène indépendants
- Architecture de Propulsion Electrique Distribuée
- Hydrogène gazeux haute pression





# L'Hydrogène conciliant performance et respect de l'environnement

## Exemple d'une journée d'utilisation intensive (formation)

	Hydrogène	Batterie	Thermique
Endurance	3h	1h	3h
Turn-around time	10min	1h	10min
Coût Energie	60€/HDV*	57€/HDV	90€/HDV
Plage horaire	[7h - 20h]	[7h - 20h]	[8h - 18h]

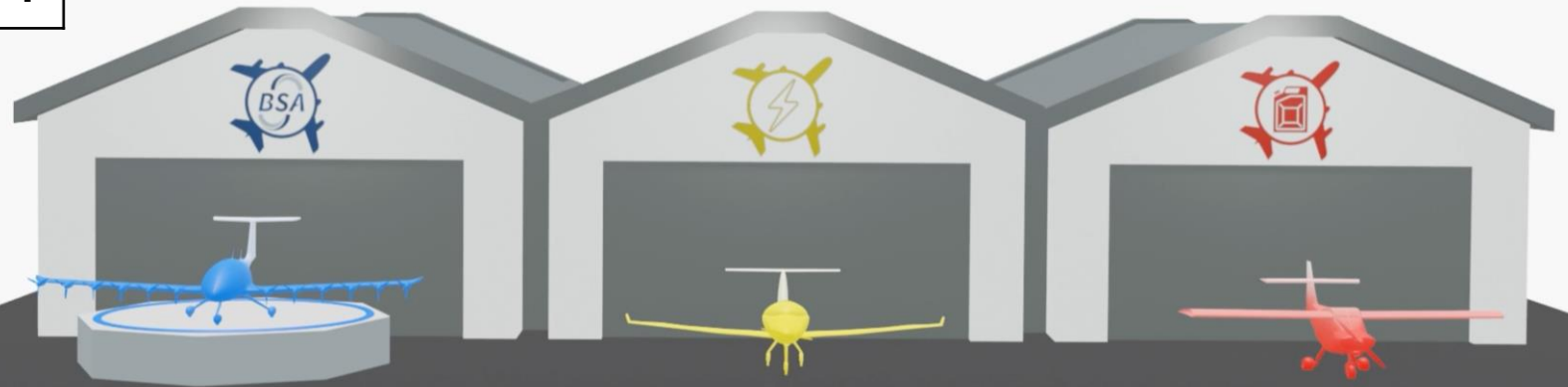
\* : Sur base 10€/kg

MAX FLIGHT TIMES :	12h	7h	9h
ENERGY COSTS :	720€	402€	810€
CO2 EMISSIONS :	0kg	0kg	802kg

Hydrogène

Batterie

Thermique

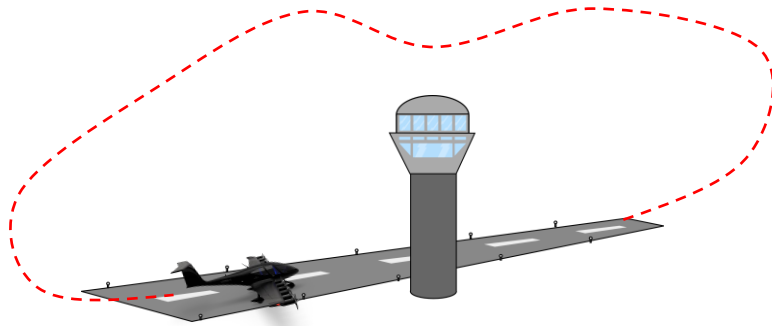




# Le marché des écoles de formation de pilote

## Un premier segment idéal pour l'aviation hydrogène

- Application captive sur un même terrain



- Faible quantité d'hydrogène par vol



- Recours à des solutions de stockage/remplissage déjà déployées

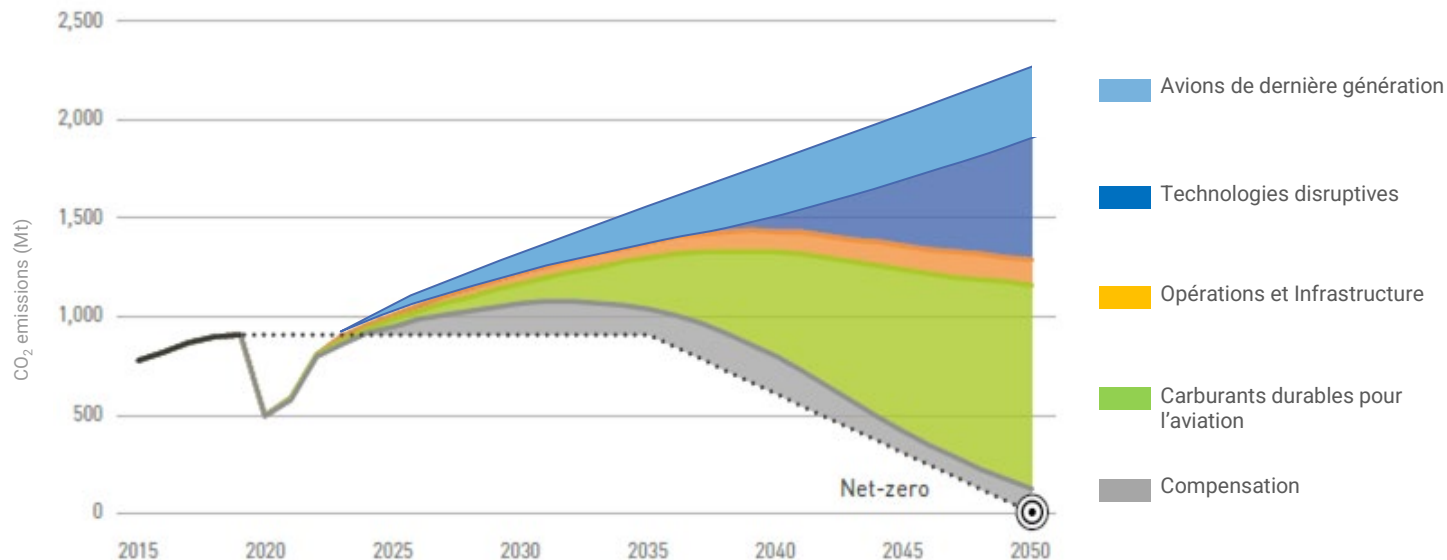


**Merci pour votre  
attention !**

**Journées  
Hydrogène**  
DANS LES  
**TERRITOIRES**  
10ème édition  
**PAU | 2023**

Organisées par





Source: ATAG waypoint 2050

# Le futur challenge de l'Aviation

Objectif zéro émission nette de CO<sub>2</sub> en 2050 (ATAG 2021)

Tous les leviers possibles doivent être actionnés pour y parvenir

**Airbus se positionne en pionnier de l'aviation commerciale décarbonée**

**H<sub>2</sub>**

### **SAF (Power-to-Liquid)**

CO<sub>2</sub> capturé + hydrogène décarboné  
→ carburants de synthèse (e-fuel)

Garantit un volume de production de  
SAF dans un contexte compétitif  
envers les sources de biomasse

### **Combustion d'hydrogène (turbines)**

Génère de la poussée en brûlant l'hydrogène  
dans les turbines à gaz modifiées

### **Piles à combustible (moteurs électriques)**

Convertit l'énergie stockée dans l'hydrogène  
en électricité pour alimenter les moteurs

électriques  
**ZEROe**

# Pourquoi l'hydrogène ?

Permet d'atteindre  
les objectifs de  
l'Aviation via les e-  
fuels, les piles à  
combustible ou la  
combustion directe

Représente une  
source d'énergie  
durable et flexible  
pour les appareils  
existants et à venir



## Turbopropulseurs

<100 passagers

1000+ NM

Stockage et distribution

en hydrogène liquide

2 moteurs hybrides

hydrogène



## Turboréacteurs

<200 passagers      2000+ NM

Stockage et distribution en hydrogène  
liquide

2 moteurs hybrides hydrogène



## A380 multimodal platform

to test and demonstrate all our hydrogen technologies



## Megawatt power class



## A fuel cell engine

located along the rear fuselage



## Cryogenic liquid hydrogen tank

stored in the fuselage



## Gaseous hydrogen distribution system





## A380 multimodal test platform

with its capacity to store large hydrogen tanks



## Hydrogen combustion engine

located along the rear fuselage



## 4 liquid hydrogen tanks

stored in a caudal position



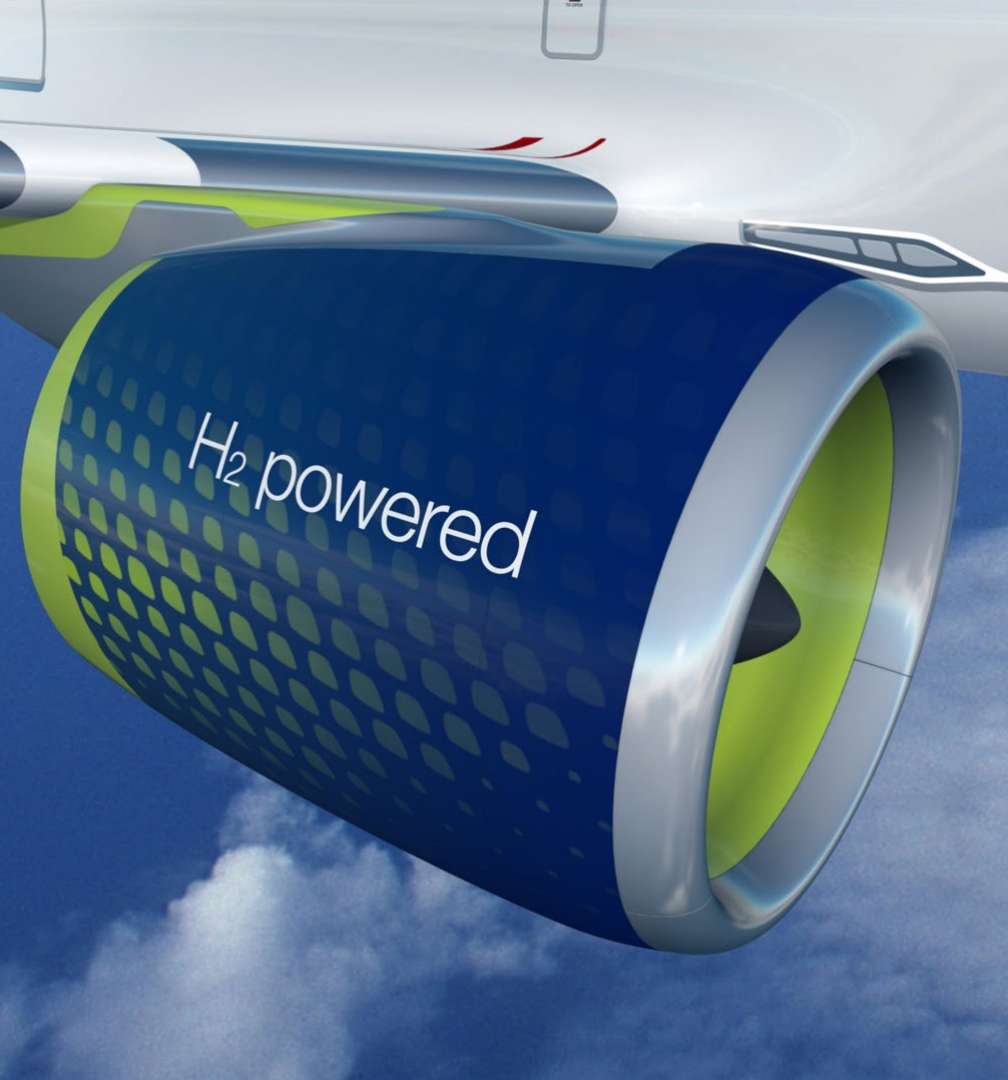
## Liquid hydrogen distribution system

# ZEROe

## Démonstrateur avitailleur LH2







Mise en service

**2035**

Sélection produit

**2027**

Lancement pré-programme

**2020**

Lancement projet

**2018**

## Merci

© Copyright Airbus 2023

This document and all information contained herein is the sole property of Airbus. No intellectual property rights are granted by the delivery of this document or the disclosure of its content. This document shall not be reproduced or disclosed to a third party without the expressed written consent of Airbus. This document and its content shall not be used for any purpose other than that for which it is supplied. Airbus, its logo and product names are registered trademarks.

Présentation Journée de l'hydrogène  
**Guillaume De La Grand'rive**  
Responsable activités H2 Occitanie

Passer à l'énergie verte



# L'hydrogène sur un aéroport : une réalité

## Station

- 1 unité de production : **Electrolyseur de 430kg/jour** produisant **140 tonnes d'H2/an** pour la mobilité et les industries avec de **l'électricité renouvelable**
- 2 stations de ravitaillement :
  - 1 station 350 bar côté Tarmac
  - 1 station 350 & 700 bar côté

## Usages

- Service de bus privés et publics
- Flottes « captives »
- Industries voisines
- GSE + logistique



# L'hydrogène sur un aéroport : une réalité

## Opérations

- Les acteurs autour de la station
  - Services de secours et plan ETARE
  - Services de Gendarmerie / Police
  - DREAL / DGAC
  - Usagers
  - « Les voisins »



## Résultats

- **5 bus** en fonctionnement depuis avril 2022
- **4T** d'hydrogène distribué

## Jalons

- **Validation** des acteurs institutionnels
- Acceptation sociale **des usagers**
- Acceptation sociale **du voisinage**

# L'hydrogène sur un aéroport : une réalité

## L'avenir proche

- Les drones / E-VTOL
- Les avions légers
- L'aviation commerciale

## Les enjeux

- Décarboner les **matériaux roulants** aéroportuaires
- Supply chain autour de l'**approvisionnement**
- Stratégie et moyens de **refuelling standardisée**
- Lever le frein de l'acceptation de la proximité du public au H2
- Stratégie de **liquéfaction** à établir

