

# POTENTIEL HYDROGÈNE DE L'ÎLE-DE-FRANCE

## QUELLES APPLICATIONS, QUELLES INFRASTRUCTURES SUR LES TERRITOIRES ?

Thomas HEMMERDINGER, chargé de projet transition énergétique, AREC ÎdF  
Lucas SITTLER, chargé d'étude hydrogène à l'AREC ÎDF

Mercredi 19 octobre 2022



 CLUB  
HYDROGÈNE  
d'Île-de-France

 L'INSTITUT  
PARIS  
RÉGION

 AREC  
AGENCE RÉGIONALE  
ÉNERGIE-CLIMAT

 L'INSTITUT  
PARIS  
RÉGION

# Consignes



Vous pouvez poser des questions aux intervenants dans la section Questions/Réponses



Les présentations seront diffusées sur le site de l'AREC



Le webinaire est enregistré pour une diffusion en replay

# Ordre du jour

## Introduction

- Yann Wehring, Vice-président de la Région Île-de-France, chargé de la transition écologique

## Potentiel hydrogène de l'Île-de-France, principaux résultats

- Lucas Sittler, chargé d'études hydrogène énergie, AREC ÎdF
- Thomas Hemmerdinger, chargé de projet transition énergétique, AREC ÎdF

## Table-ronde – Quelles perspectives de l'hydrogène en Île-de-France ?

- Cédric Léonard, conseiller études prospectives, RTE
- Nadjma Ahamada, responsable affaires publiques territoriales, délégation Val-de-Seine, GRTgaz
- Véronique Charbeaux, cheffe de projet énergie climat, référente hydrogène, Région Île-de-France
- Gilles Haon, délégué régionale, France Hydrogène, directeur de projets hydrogène, Engie

# Objectifs de l'étude

## Portée pédagogique



- **Etat des lieux de la filière hydrogène**
- **Compréhension des besoins et des limites**
- **Présentations d'acteurs et de projets**
- **Diffusion de messages clefs**

## Portée prospective et d'appui aux projets



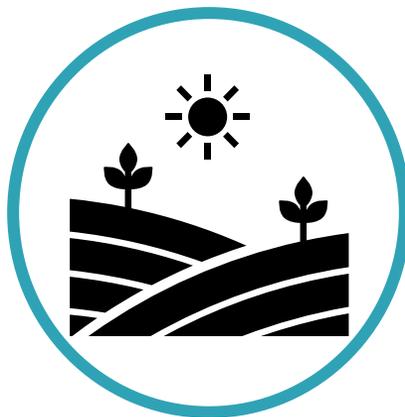
- **Projections chiffrées**
- **Productions de typologies d'écosystèmes territoriaux**
- **Analyse cartographique**
- **Identification de territoires à haut potentiel d'implantation**

# Pourquoi utilise-t-on l'hydrogène aujourd'hui ?

Besoin en H<sub>2</sub>  
Hydrogène-matière



Désulfuration



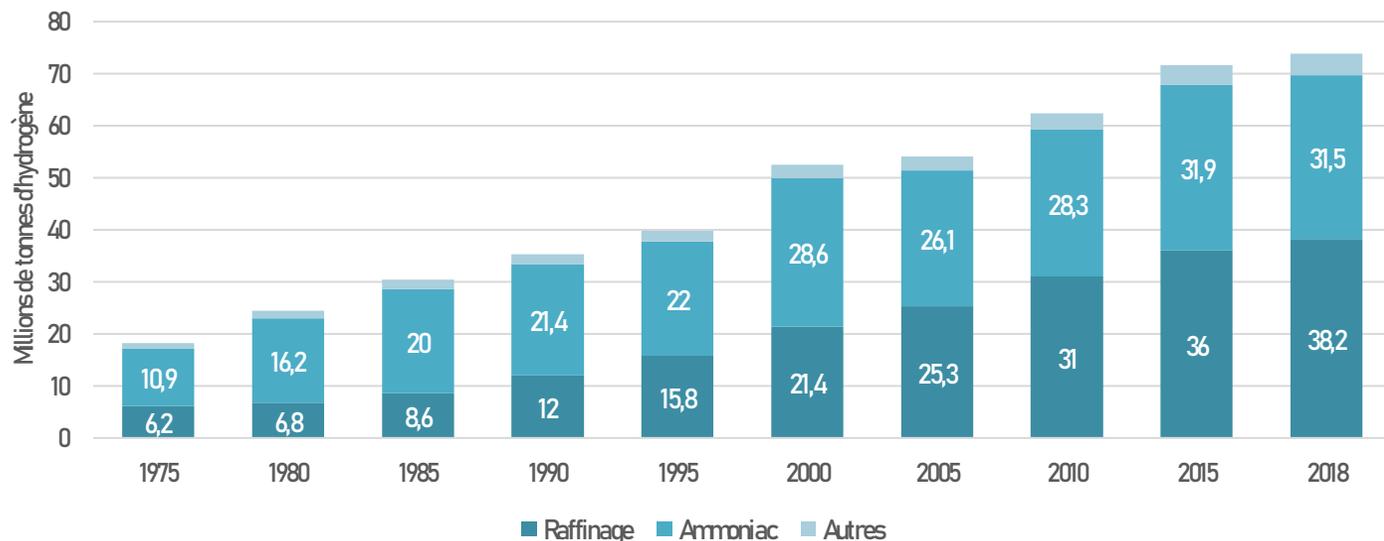
Production  
d'ammoniac



Réactif chimique,  
production de Méthanol

# L'hydrogène, des besoins en augmentation

Evolution de la demande mondiale d'hydrogène entre 1975 et 2018  
(en Mt)

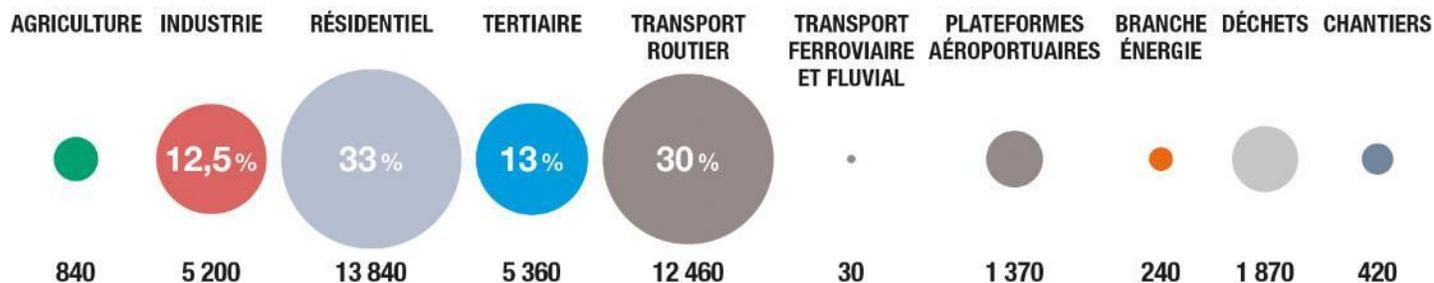


- **Hydrogène-matière** est le principal débouché des usages
- La **mobilité** = un **usage anecdotique** pour le moment (très inférieur à 1%)
- Le **territoire francilien** accueille un des **grands sites producteurs et consommateurs** d'H<sub>2</sub> : **Grandpuits (77)**

Si l'hydrogène est déjà omniprésent, pourquoi en parler maintenant ?

# Un potentiel pour réduire les émissions de GES de l'industrie et des transports

## ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE (SCOPES 1+2) PAR AN EN 2017 EN KTEQCO<sub>2</sub>



© L'INSTITUT PARIS REGION, Arec 2020

Source : Airparif pour le ROSE, inventaire 2017

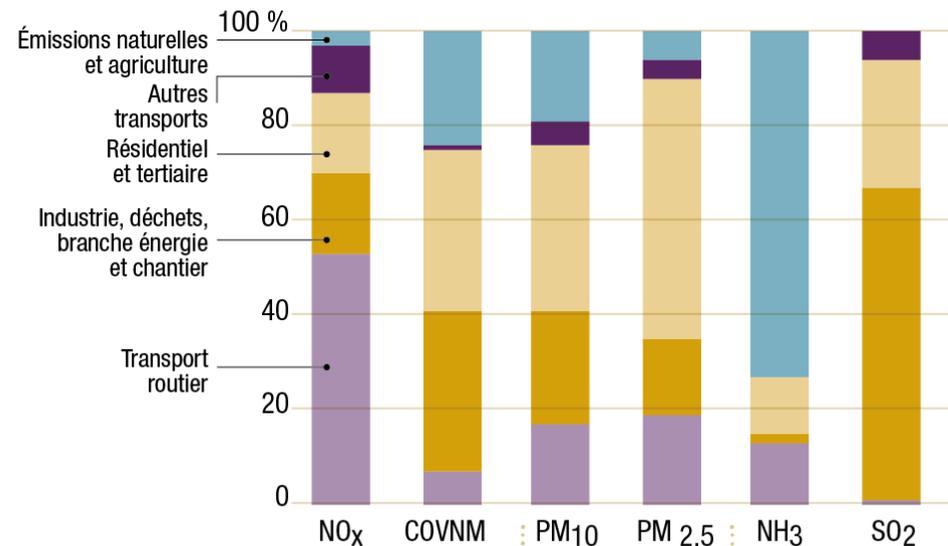


- **Mobilité hydrogène :**
  - faible bruit
  - zéro émissions de **GES** à l'usage
  - faibles polluants atmosphériques

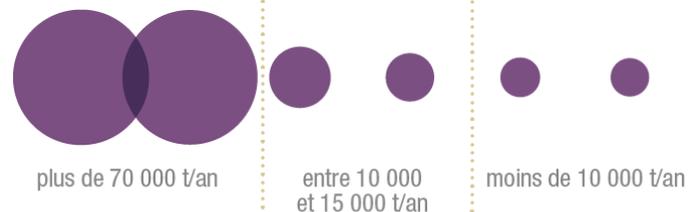
# Un potentiel pour lutter contre les polluants atmosphériques du transport routier

## Les principaux secteurs émetteurs de polluants

Contributions aux émissions de polluants (en %)



Total d'émissions par polluants en tonnes par an



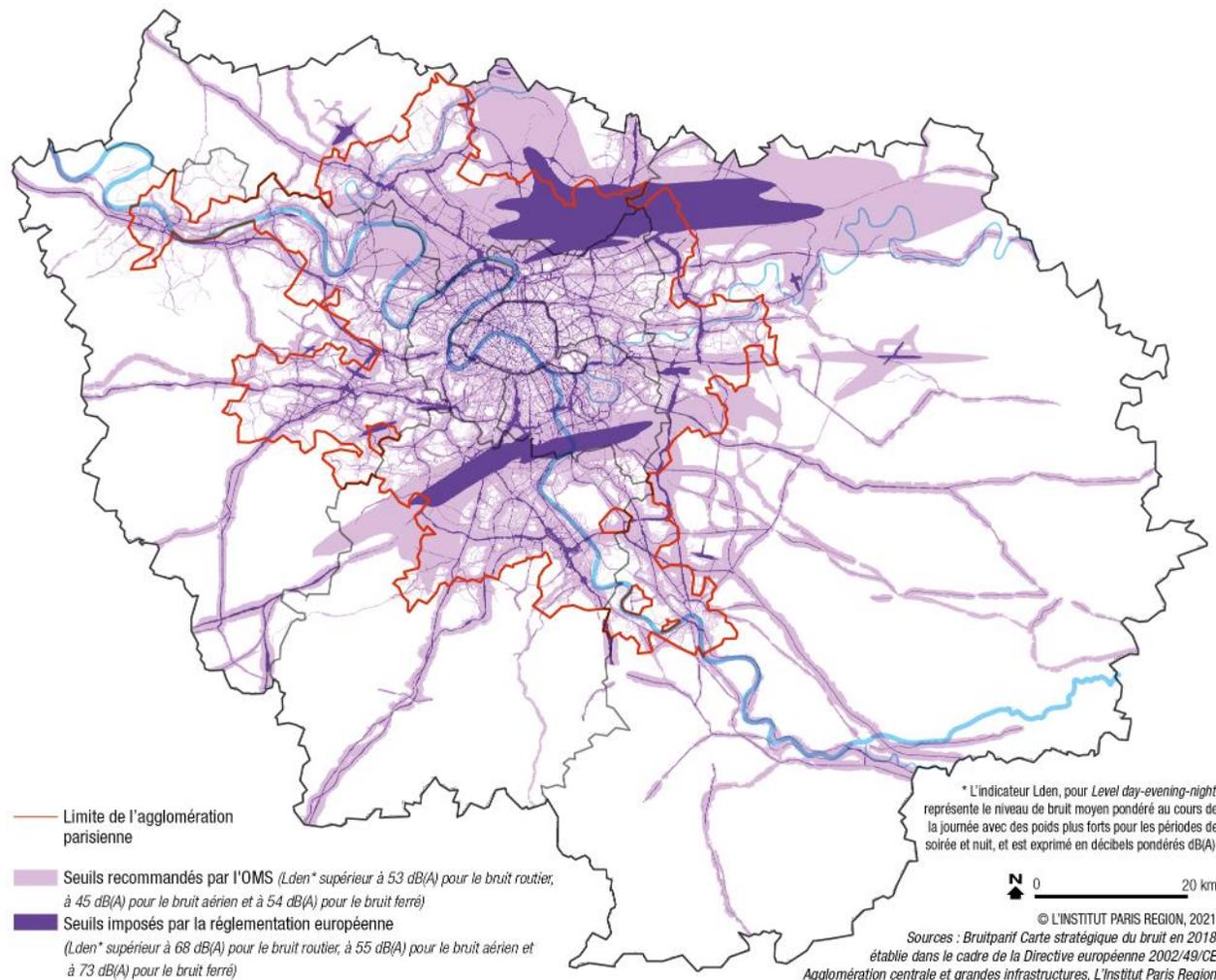
© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021 / Sources : Airparif, L'Institut Paris Region

🌐 **Mobilité hydrogène :**

- **Pas de NOx**
- **Faibles particules** (freinage, pneus, route)

# Un potentiel pour lutter contre les émissions de GES

Zones de dépassement des seuils de niveau sonore en 2018

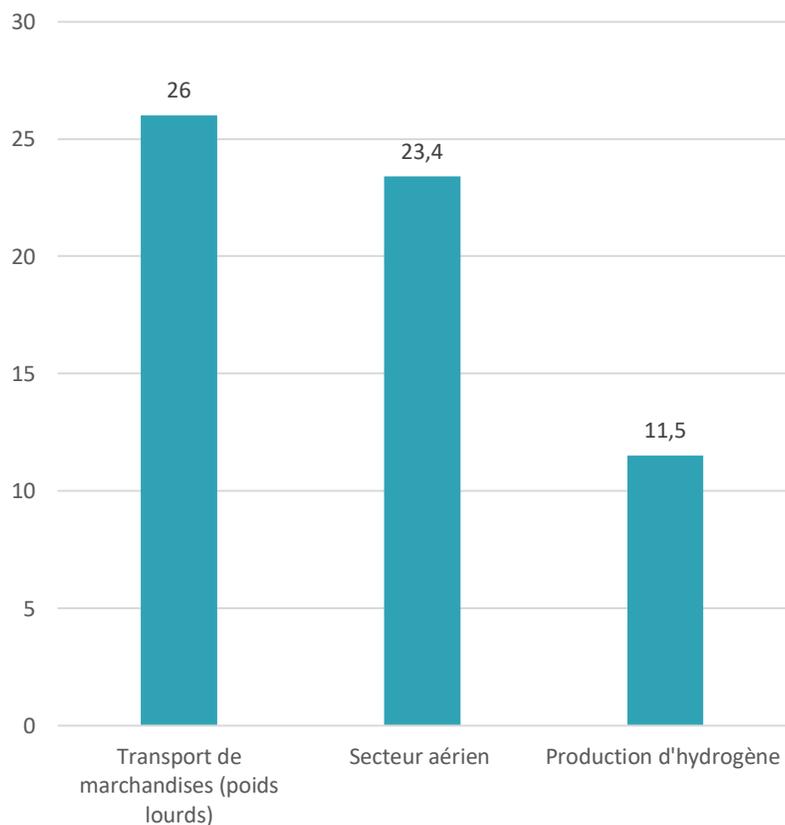


- 🌐 **Mobilité hydrogène :**
  - **Faible bruit**
  - **Zéro émissions de GES à l'usage**
  - **Faibles polluants atmosphériques**

**H2,**  
**une solution miracle ?**

# L'hydrogène, une source de GES aujourd'hui

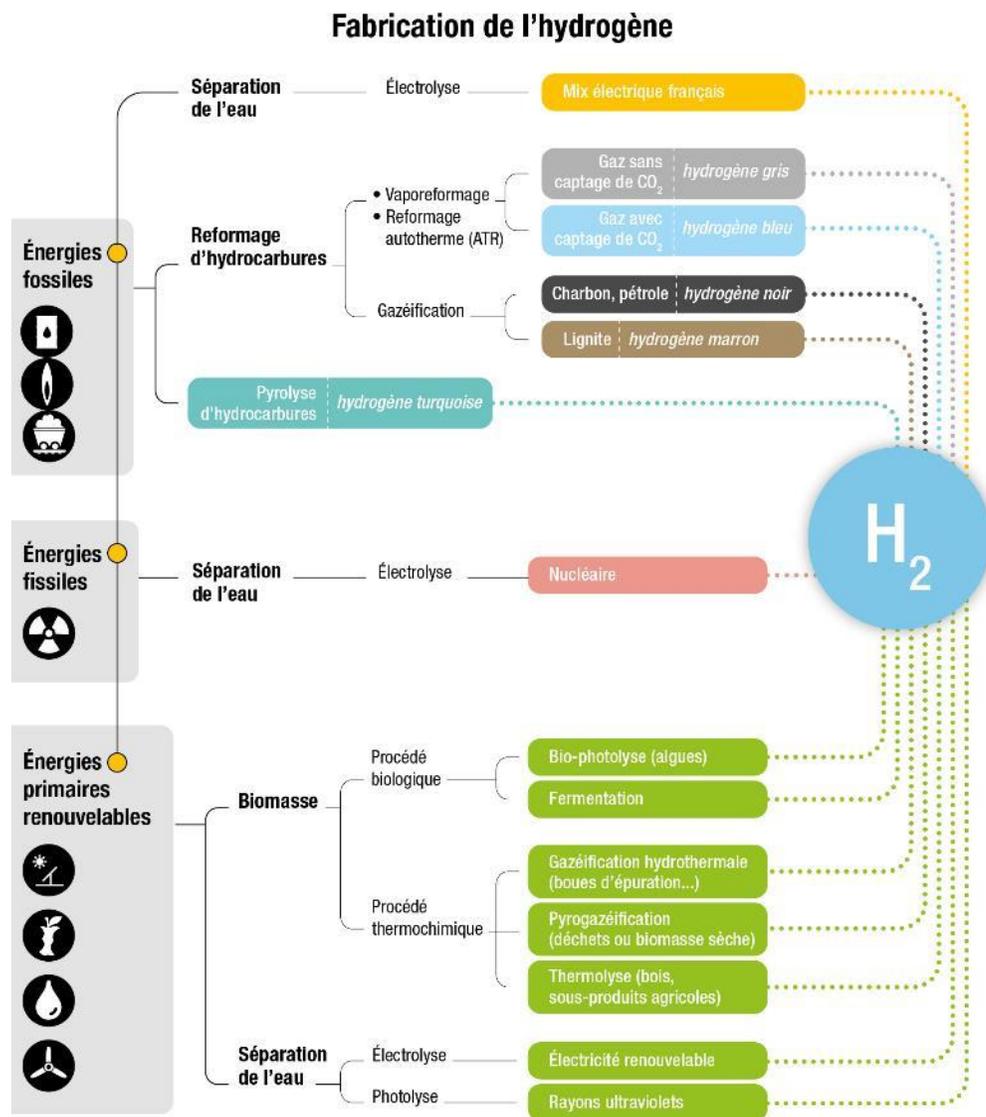
Emissions de GES en France en 2019 (en millions de tonnes)



- 96% H<sub>2</sub> provient des énergies fossiles (gaz naturel fossile en France)
- Equivalent à 3% des émissions GES annuelles de la France
- Les sites producteurs d'H<sub>2</sub> parmi les gros consommateurs de gaz naturel fossile
- Fuites d'H<sub>2</sub> lors du transport et de la compression avec un PRG indirecte (entre 11 et 14)

**Existe-t-il une production moins émettrice de CO<sub>2</sub> ?**

# Nomenclature et seuil réglementaire pour l'hydrogène

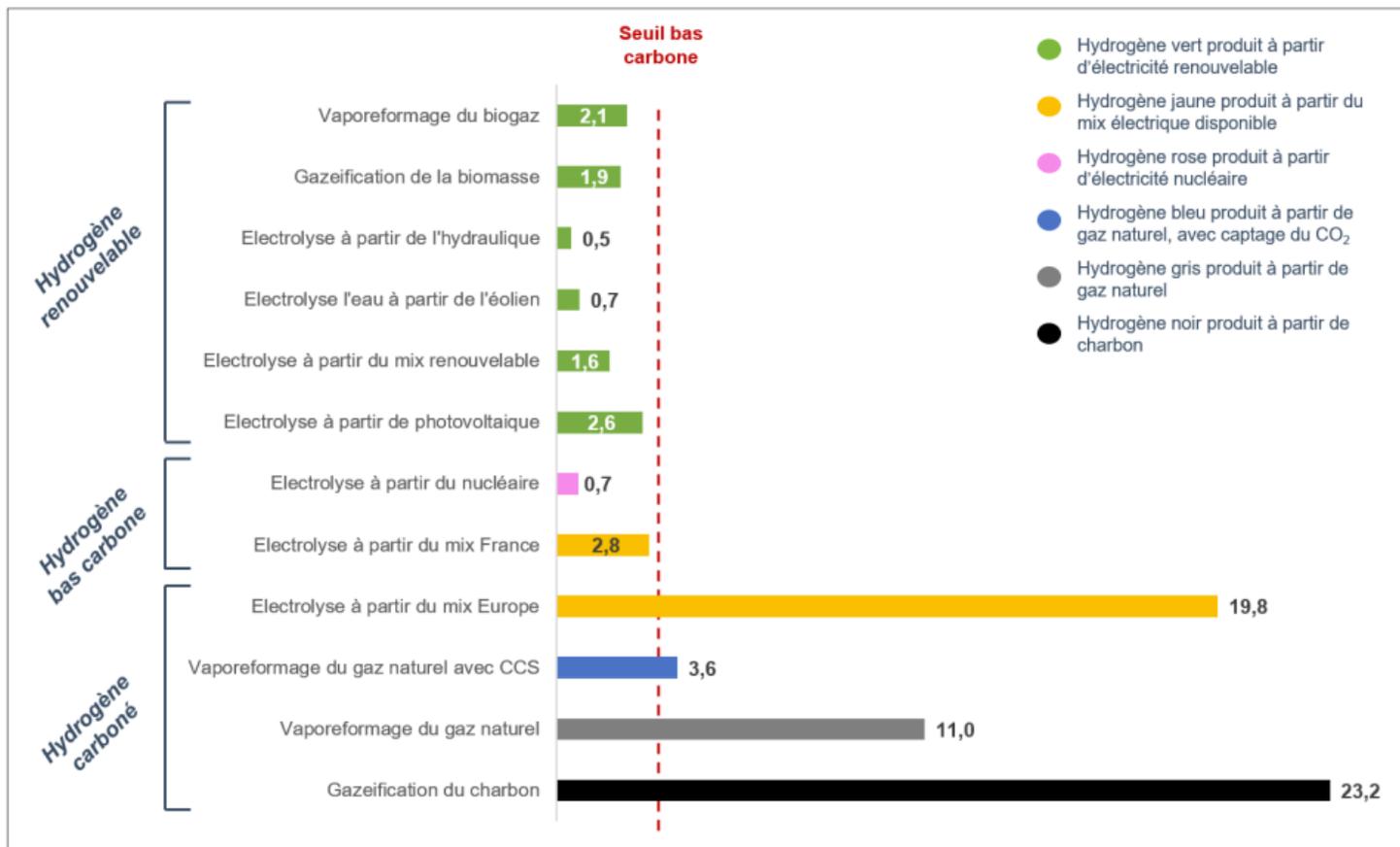


- La nomenclature par couleur est utilisée couramment.
- Un seuil d'émission a été fixé pour simplifier et qualifier en fonction des émissions de  $CO_2$  du process

**Quelles sont les limites ?**

# Nomenclature et seuil réglementaire pour l'hydrogène

Emissions de CO<sub>2</sub> par Tonne d'hydrogène produit (en tCO<sub>2</sub>/ tH<sub>2</sub>)



Sources : Base Carbone ADEME / PPE 2019 / JRC – Etude WTT 2021

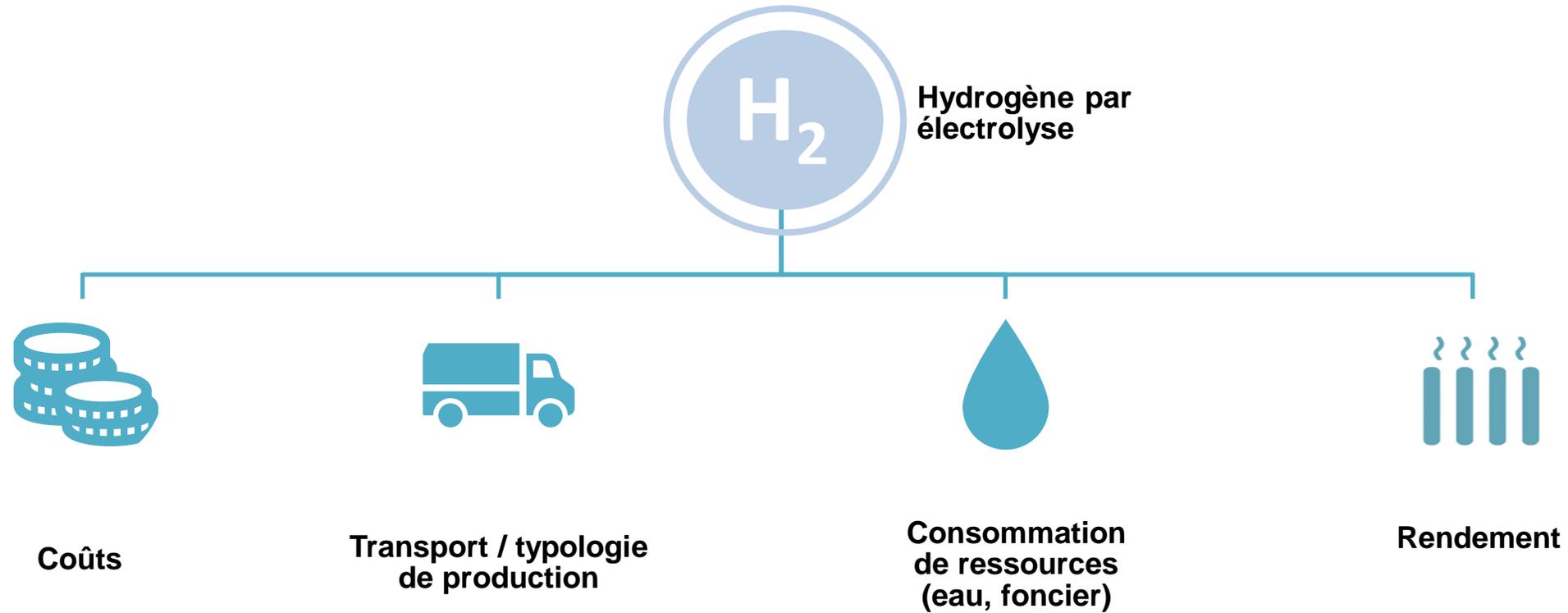
La nomenclature par couleur est utilisée couramment.

Un seuil d'émission a été fixé pour simplifier et qualifier en fonction des émissions de CO<sub>2</sub> du process

L'hydrogène est soumis à la taxonomie verte européenne

Quelles sont les limites ?

# Les limites de la production d'hydrogène par électrolyse



# Le coût de l'hydrogène

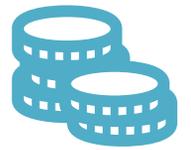


Plateforme industrielle (énergies, chimie) de Port-Jérôme sur Seine  
Au premier plan, dépôt pétrolier et raffinerie d'ExxonMobil  
Au second plan à droite, unité SMR d'Air Liquide (avec installation CCUS Cryocap™ – 100 000 T CO<sub>2</sub>/ an)

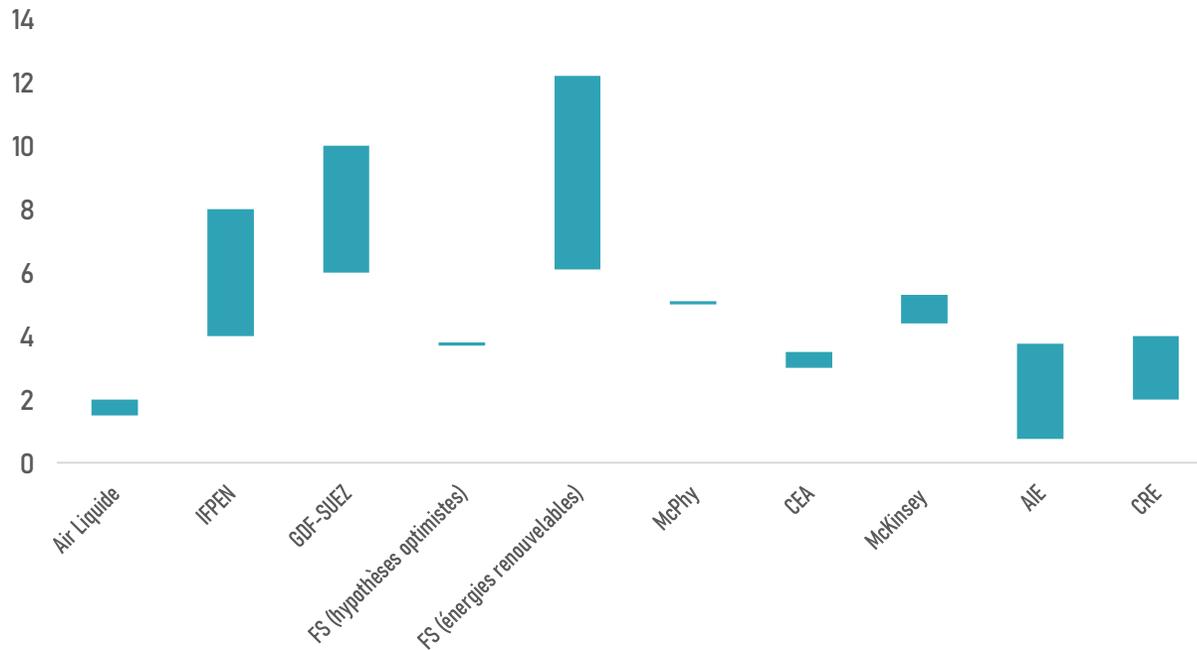
Coût de production de l'H<sub>2</sub> :

- Coût de production par **vaporeformage** 1,5- 2,5 € /kg H<sub>2</sub>, le plus économique (hors compression, conditionnement, transport, variable si captation du CO<sub>2</sub>, **prix du gaz naturel** et **prix du CO<sub>2</sub>**)

# L'hydrogène, une technologie mature aux progrès attendus



## Estimation du coût de production d'un kilogramme d'hydrogène par électrolyse alcaline (en euros) – FS : France Stratégie



## Coût de production de l'H<sub>2</sub> :

- Coût de production par vaporeformage 1,5- 2,5 € /kg H<sub>2</sub>, le plus économique (hors compression, conditionnement, transport, variable si captation du CO<sub>2</sub>, prix du gaz naturel et prix du CO<sub>2</sub>)

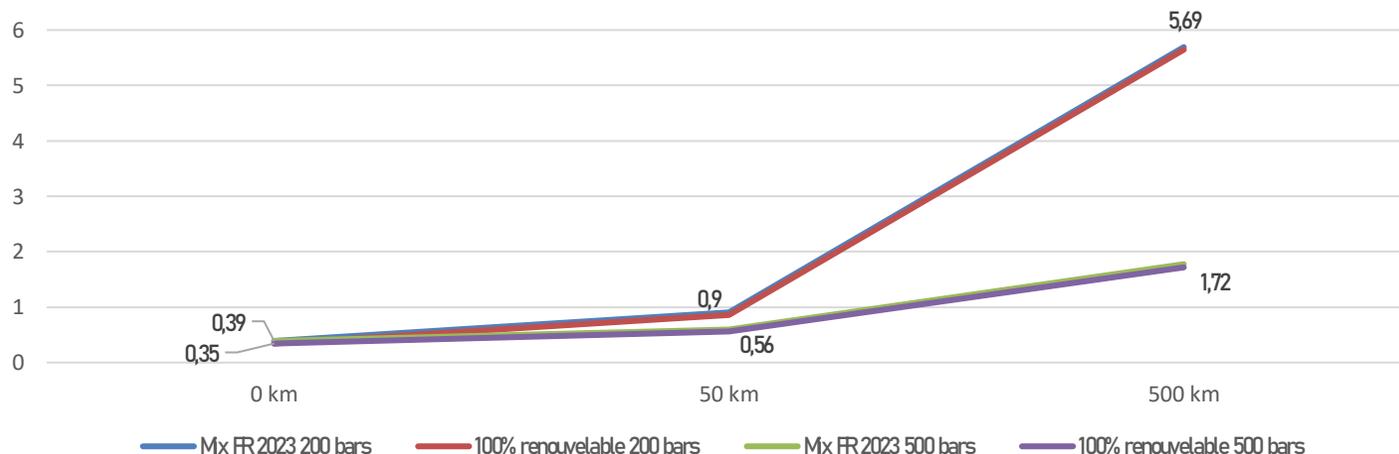
## Enjeu pour l'électrolyse :

- CAPEX** (électrolyseur) : enjeu de la massification et du rendement
- Coût de l'électricité** : 70% du coût total

# Le transport de l'hydrogène, un enjeu invisible



## Abaques transport de l'hydrogène à 200 ou 500 bar jusqu'à 500 km – Electrolyse PEM ou alcalin (en kg CO<sub>2</sub>, eq /kg H<sub>2</sub>)

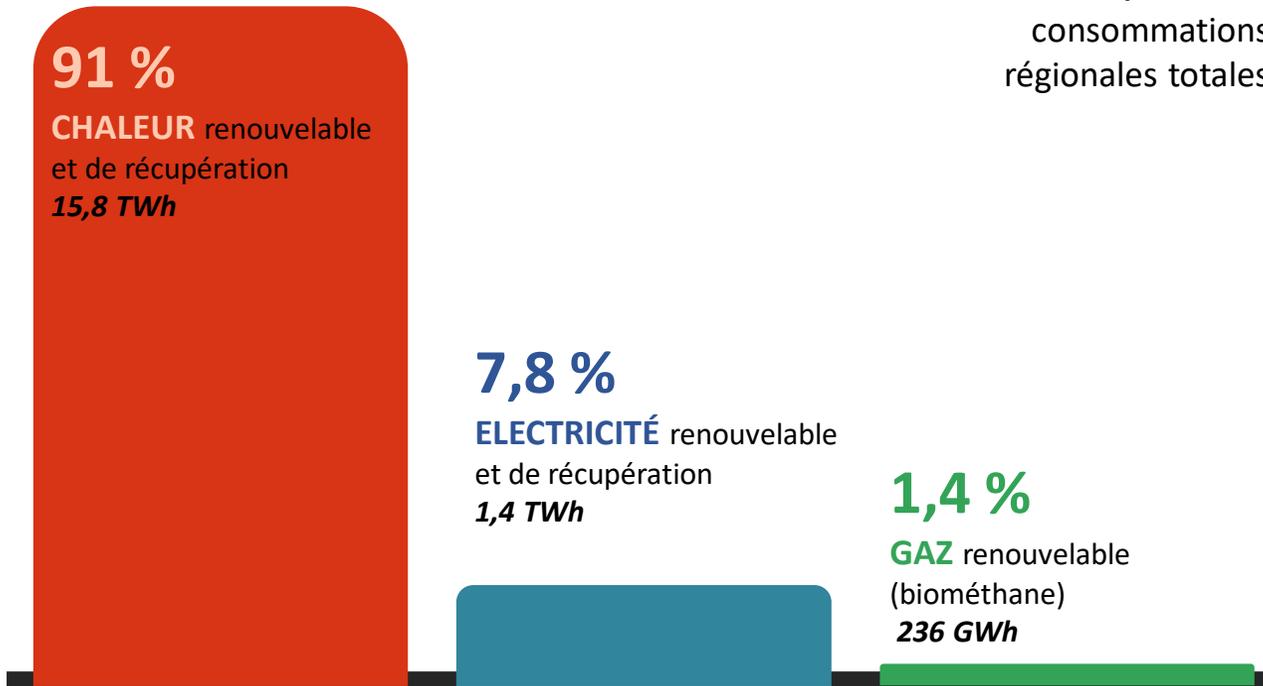


Le transport d'H<sub>2</sub>, aujourd'hui par *camion diesel*, est également un **élément déterminant** pour l'évaluation des gains / réductions de CO<sub>2</sub> par l'hydrogène.

Aujourd'hui **centralisée** sur des sites de production industriels, consommé massivement sur place ou envoyé par quelques hydrogénoducs ou camions, la spatialisation des futures unités de production sera déterminante.

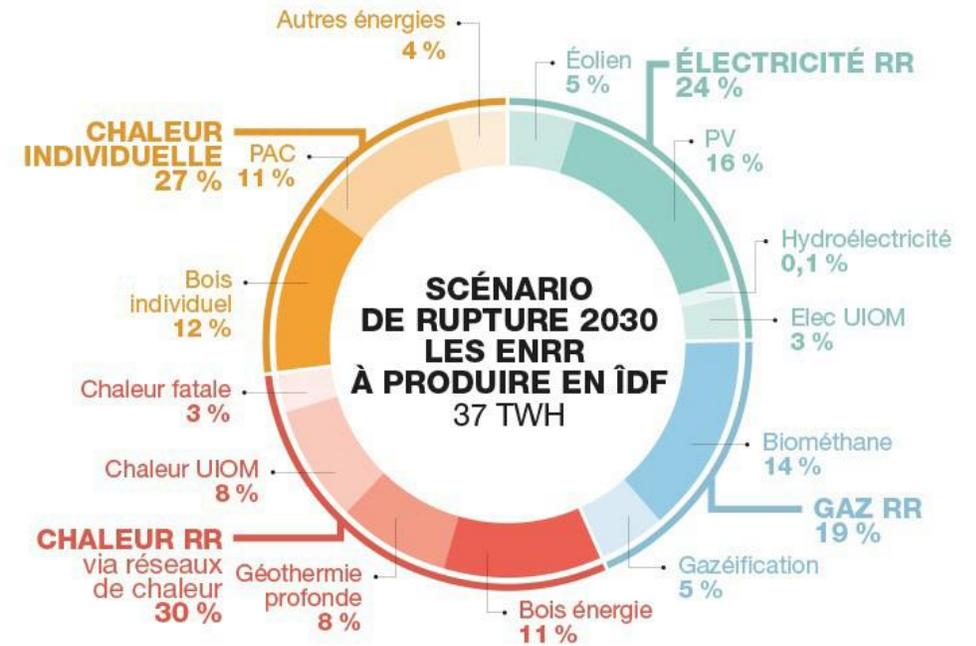
**Le choix centralisé / semi-centralisé / décentralisé reste à déterminer** en fonction des quantités souhaitées.

# EnRR en IDF, en 2020 et en 2030



Environ **17,4 TWh**  
**8,2 %** des consommations régionales totales

PRODUCTIONS D'ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DE RÉCUPÉRATION – ROSE 2020



Source : Service transition énergétique, qualité de l'air, bruit, climat de la Région Île-de-France.

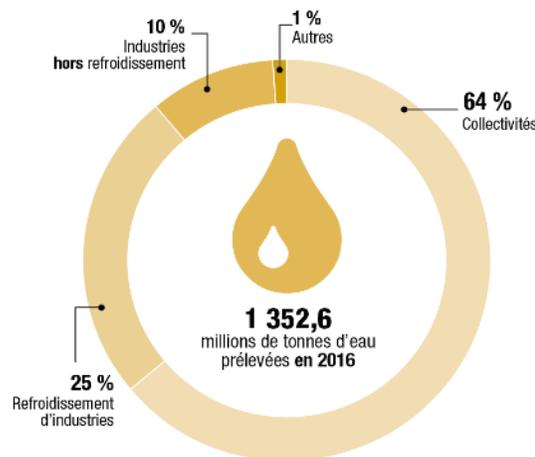
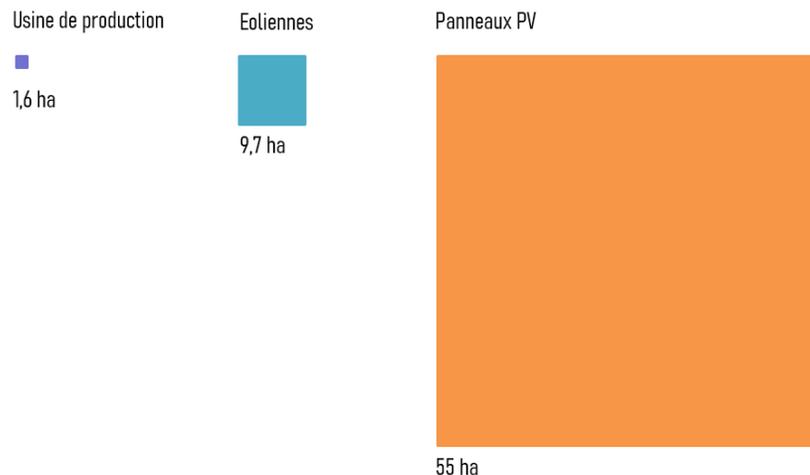
## Objectifs d'électricité renouvelable et de récupération en 2030 = 9,3 TWh

- 6 TWh de solaire PV (x60 / 2015)
- 1,2 TWh de récupération des UVE
- 2 TWh d'éolien (x13 / 2015)
- 0,1 TWh d'hydroélectricité

# L'impact territorial et environnemental de la filière hydrogène



## Comparaison du foncier nécessaire pour une production de 1250 tonnes d'hydrogène par an (soit un électrolyseur de 10 MW)



© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021 / Sources : AESN, L'Institut Paris Region

### Sol :

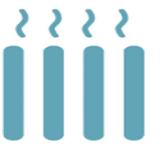
la **production** doit être anticipée en fonction des choix (centralisé, semi-centralisé, décentralisé).

La **distribution** (entre 800 et 8000 m<sup>2</sup> par station) doit réutiliser des infrastructures existantes ou des délaissés routiers, ou en dépôt

Les **EnRR nécessaires** pour l'hydrogène renouvelable seront déterminantes.

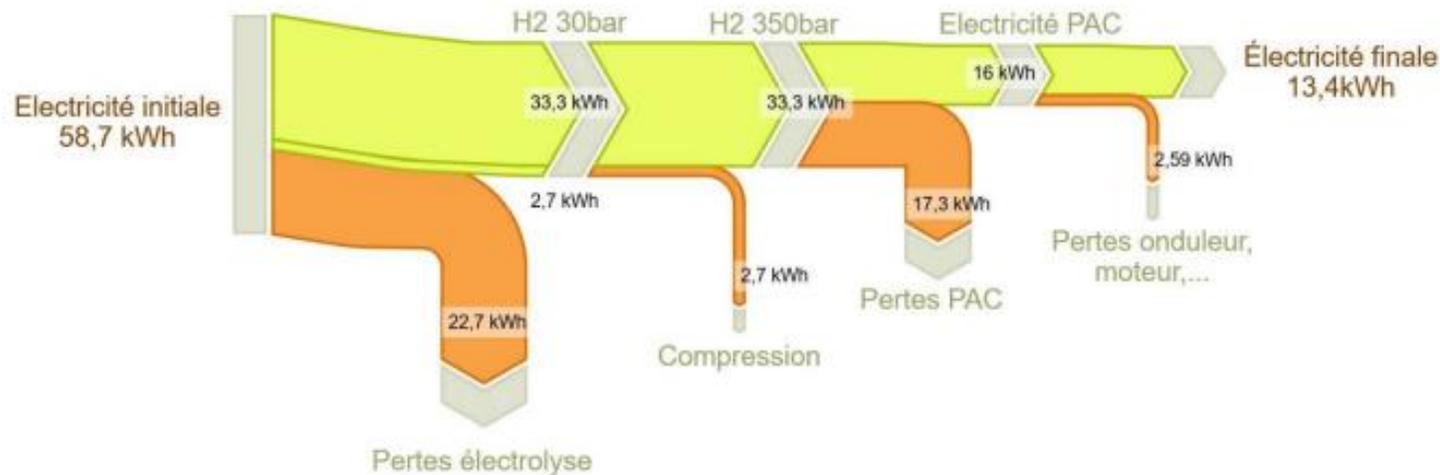
### Eau :

L'acceptabilité sociale est l'enjeu principale. Dans des cas extrêmes (étiage, sécheresse, concurrence d'usages...), des tensions pourraient apparaître.



# Le rendement de la chaîne H<sub>2</sub>

De l'énergie nécessaire pour produire un kg d'hydrogène à l'énergie électrique finale disponible



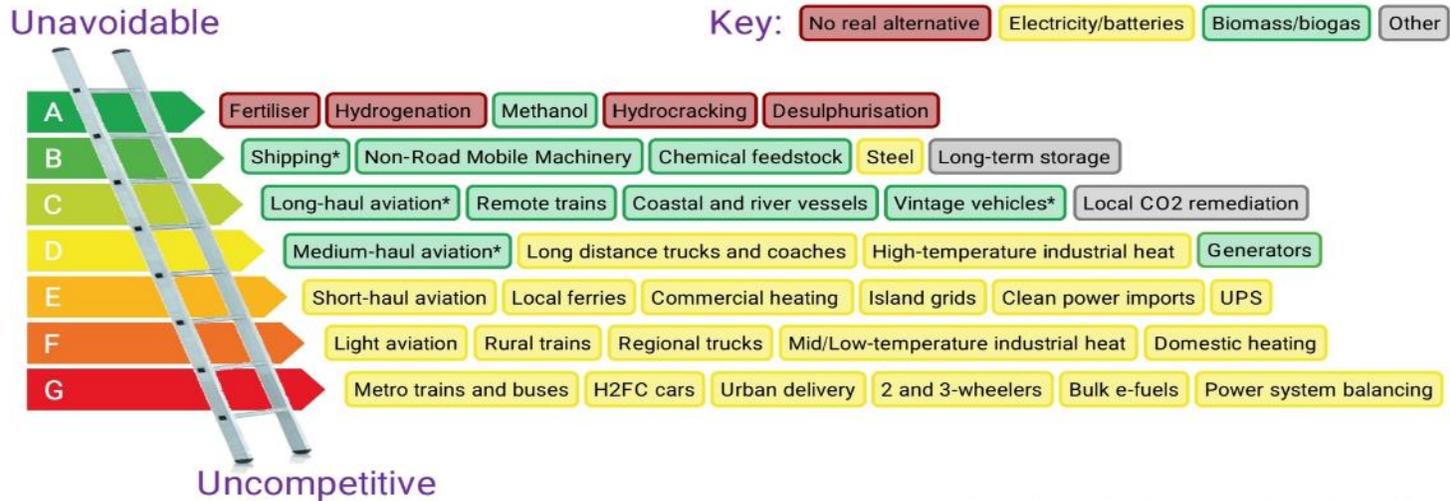
Source : Ademe

Limites principales :

- Conflit d'usage sur l'électricité (électrification directe, injection réseau...)
- Perte de 40 à 70 % de l'énergie nécessaire à la production d'hydrogène
- Amélioration attendue des rendements par l'électrolyse haute température
- Valorisation des pertes lors de l'électrolyse ou de la pile à combustible (ex. chaleur dans un habitacle de véhicule, réseau de chaleur, base vie BTP...)

# Une échelle pour décider ?

## Clean Hydrogen Ladder: Competing technologies Liebreich Associates



\* Most likely via ammonia or e-fuel rather than H2 gas or liquid

Source: Michael Liebreich/Liebreich Associates, *Clean Hydrogen Ladder*, Version 4.1, 2021. Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities. CC-BY 3.0

- Plusieurs hiérarchies existent
- L'H<sub>2</sub> est un **levier fort de réduction de l'empreinte carbone** des secteurs de la mobilité lourde et de l'industrie
- Les **cas d'usages vont déterminer la pertinence**, en particulier pour les mobilités (autonomie, infrastructures d'avitaillement, durée de recharge, charge utile, climat, relief...)
- Les **spécificités territoriales** (électrification des voies ferrées, réseaux de chaleur...) également.

# A partir de ces constats, quelles perspectives en Île-de-France ?

## Hypothèses pour un scénario tendanciel

Usages en hydrogène	2030	2050
Transformation de la flotte de véhicules particuliers	0,1 %	2,5 %
Transformation de la flotte de véhicules VUL	1 %	5 %
Transformation de la flotte de poids lourds	1 %	7 %
Transformation de la flotte de bateau-pousseurs	2 %	10 %
Transformation d'engins de manutention	1 %	5 %
Production de produits chimiques avec le CO <sub>2</sub> émis en Île-de-France	1 %	5 %
Production d'ammoniac bas-carbone	?	100 %

## Données franciliennes

- Mobilité en Île-de-France :
  - Nombre de camions ≈ 42 000
  - Nombre de VUL ≈ 665 000
  - Nombre de voitures ≈ 5 400 000
  - Nombre d'engins logistique ≈ 10 000
  - Nombre de bateaux-pousseurs sur la Seine (> 890 kV) ≈ 200
- Industrie en Île-de-France :
  - Consommation de méthanol > 50 000 tonnes/an
  - Production d'ammoniac ≈ 440 000 tonnes/an
  - Présence de 15 industries de verre et de sidérurgie (seconde transformation)
  - Lieux de stockage de l'hydrogène : 35

# A partir de ces constats, quelles perspectives en Île-de-France ?

## Hypothèses pour un scénario avec une forte diffusion de l'hydrogène

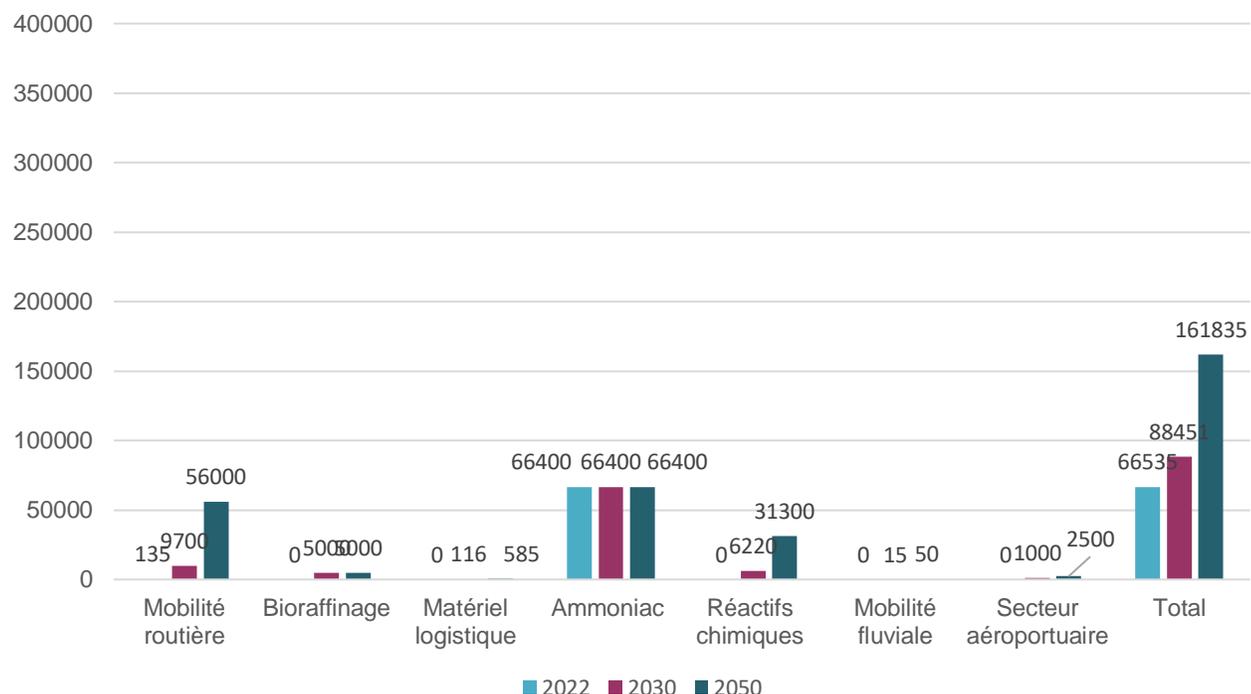
Usages en hydrogène	2030	2050
Transformation de la flotte de véhicules particuliers	2 %	10 %
Transformation de la flotte de véhicules VUL	2 %	25 %
Transformation de la flotte de poids lourds	5 %	28 %
Transformation de la flotte de bateau-pousseurs	5 %	40 %
Transformation d'engins de manutention	10 %	50 %
Production de produits chimiques avec le CO <sub>2</sub> émis en Île-de-France	5 %	25 %
Production d'ammoniac bas-carbone	?	100 %

## Données franciliennes

- Mobilité en Île-de-France :
  - Nombre de camions ≈ 42 000
  - Nombre de VUL ≈ 665 000
  - Nombre de voitures ≈ 5 400 000
  - Nombre d'engins logistique ≈ 10 000
  - Nombre de bateaux-pousseurs sur la Seine (> 890 kV) ≈ 200
- Industrie en Île-de-France :
  - Consommation de méthanol > 50 000 tonnes/an
  - Production d'ammoniac ≈ 440 000 tonnes/an
  - Présence de 15 industries de verre et de sidérurgie (seconde transformation)
  - Lieux de stockage de l'hydrogène : 35

# Scénario « tendanciel H2 »

Scénario tendanciel : Besoins totaux en H<sub>2</sub> en Île-de-France (en tonnes/an)



- Poursuite des consommations actuelles , modification de la production, diffusion légère dans les mobilités

- Chiffres clefs :

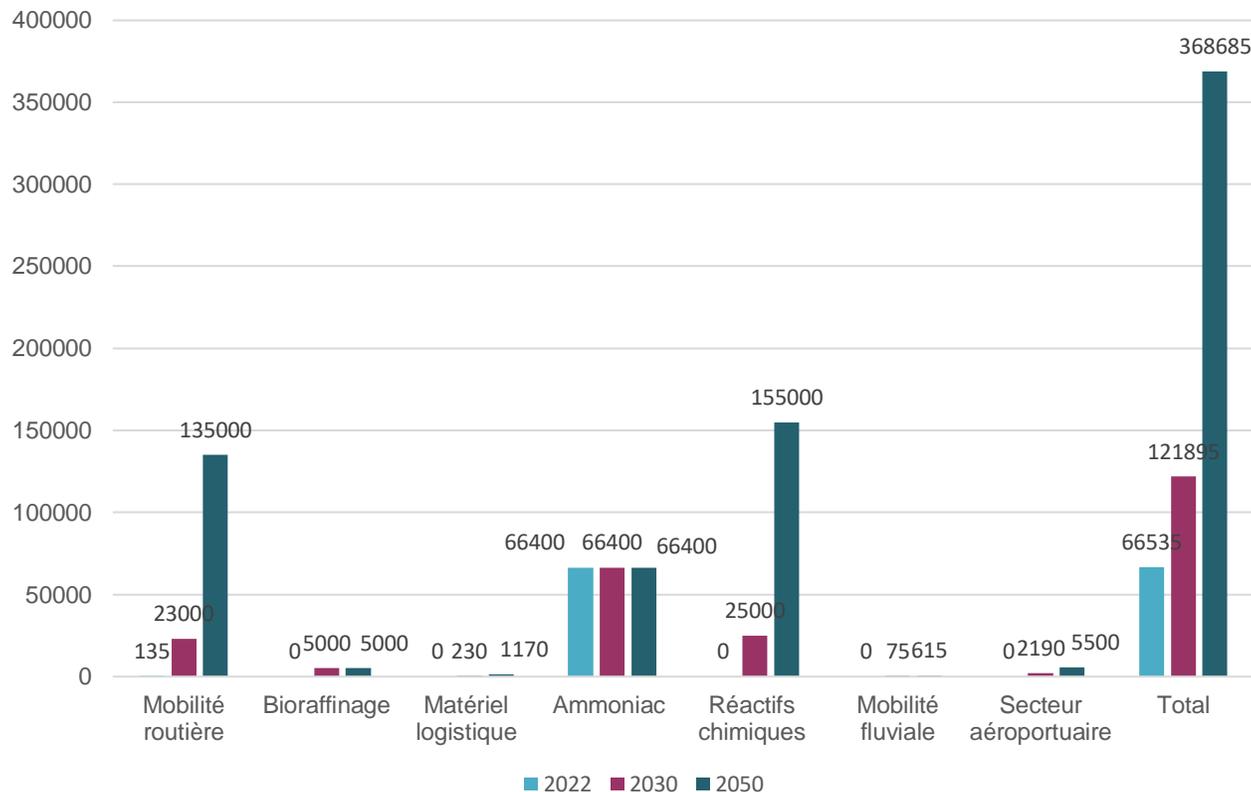
- 2030 : 4,9 TWh/an et 2050 : 8,9 TWh/an
- 2030 : 0,7 GW et 2050 : 1,3 GW
- 2030 : 1,8 millions m<sup>3</sup> (0,1% de l'eau utilisé) et 2050 : 3,38 millions de m<sup>3</sup> (0,24% de l'eau)

- Quels besoins en stations d'avitaillement et en foncier associés ?

- en 2030 il faudrait **20 stations** de 1t/jour soit 2 ha et **2 stations** de 4t/jour soit 1ha
- en 2050 il faudrait **115 stations** de 1t/jour soit 11,5 ha et **10 stations** de 4t/jour soit 2 ha

# Scénario « Forte diffusion de l'hydrogène »

## Scénario Forte diffusion de l'hydrogène : Besoins totaux en H<sub>2</sub> en Île-de-France (en tonnes/an)



- Poursuite des consommations actuelles, nouveaux usages industriels, large diffusion dans les mobilités et logistique, voire l'aviation

- Chiffres clefs :

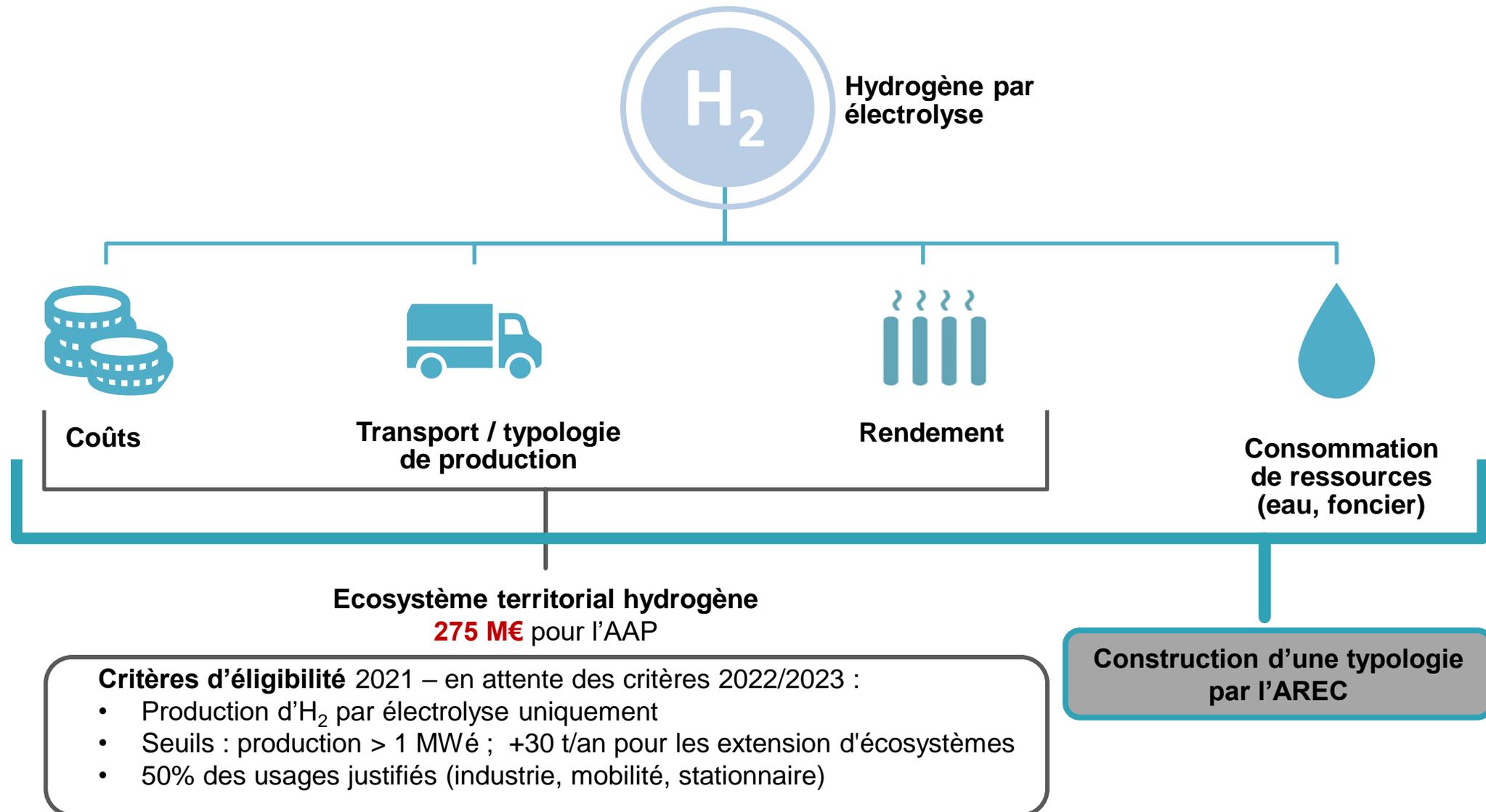
- 2030 : 6,7 TWh/an et 2050 : 20,3 TWh/an
- 2030 : 1 GW et 2050 : 3 GW
- 2030 : 2,44 millions de m<sup>3</sup> (0,2 % de l'eau utilisée en IDF) et 2050 : 7,4 millions de m<sup>3</sup> (0,5 %)

- Quels besoins en stations d'avitaillement et en foncier associés ?

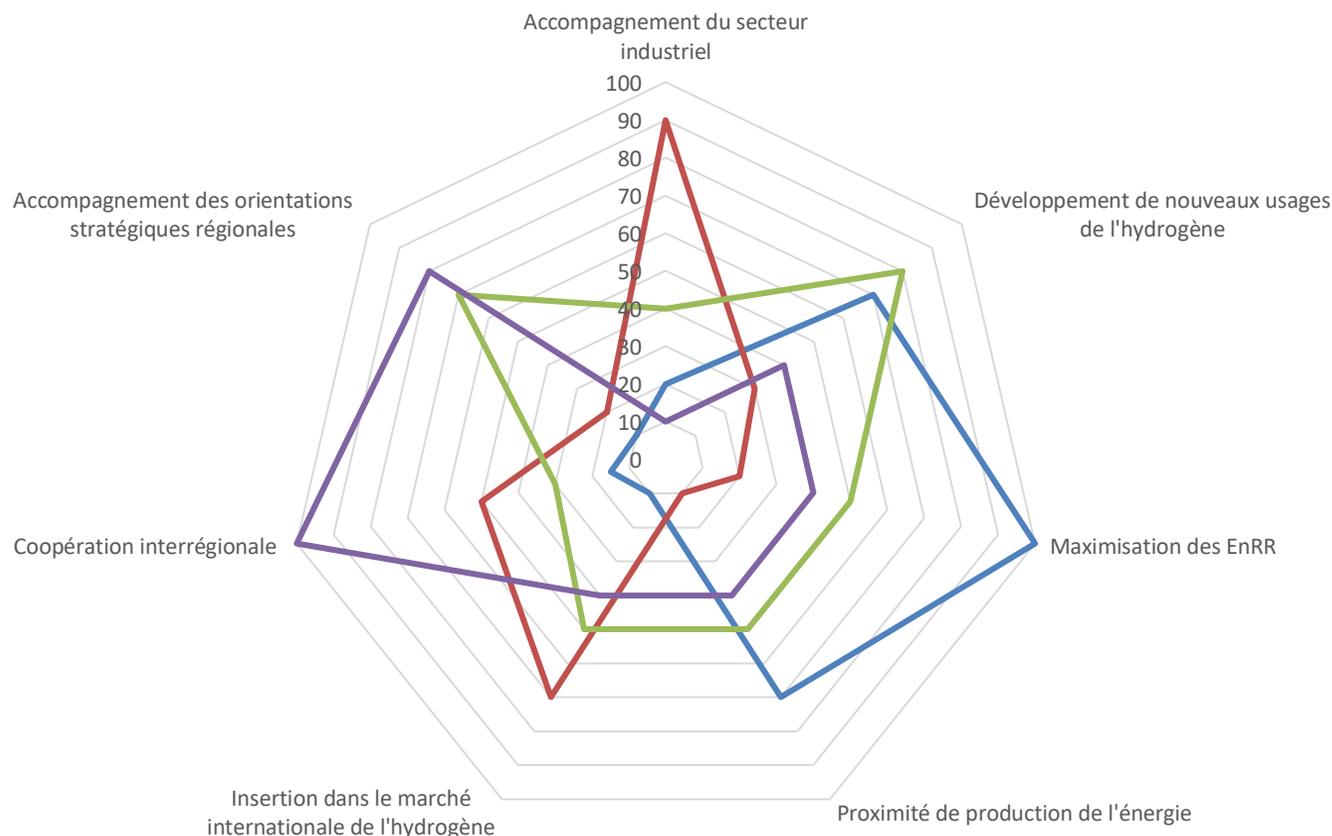
- en 2030 il faudrait **47 stations** de 1t/jour soit 4,7 ha et **4 stations** de 4t/jour soit 2 ha
- en 2050 il faudrait **280 stations** de 1t/jour soit 28 ha et **23 stations** de 4t/jour soit 11,5 ha

Si le secteur de l'aviation venait à utiliser de l'hydrogène. Les quantités pourraient atteindre **440 000 tonnes d'hydrogène par an** pour les aéroports d'Orly et de CDG (soit 24TWh/an).

# Les limites de la production d'hydrogène par électrolyse



# Typologie des écosystèmes territoriaux hydrogène



Ecosystème local et prudent

Ecosystème industriel et ambitieux

Ecosystème démonstrateur

Ecosystème de coopération et planification territoriale

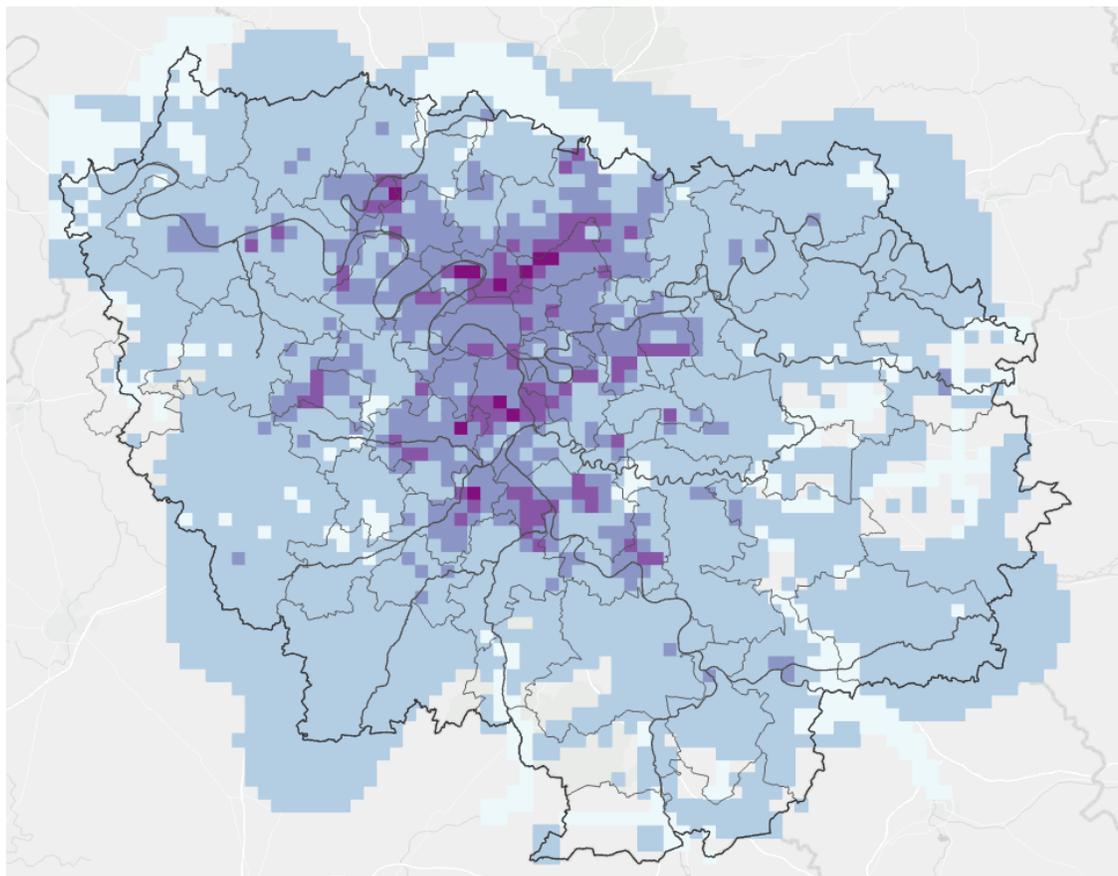
A partir d'un **benchmark des projets hydrogène français**

**Objectifs des typologies :**

- Se saisir d'un concept *techno* lié des dispositifs de soutien
- Comprendre et prioriser les usages et impacts territoriaux relatifs
- Anticiper les écueils et visualiser l'approche systémique

**Permet de spatialiser des potentiels écosystèmes à partir de ces critères**

# Une représentation des potentiels lieux d'implantation des écosystèmes territoriaux hydrogène



Ecosystème local et prudent

- Compilation et croisement des **39 bases de données géolocalisées**
- Pondération et priorisation des thèmes en fonction de la typologie des écosystèmes
- Thèmes priorisés
  - Production EnRR
  - Sites d'activités économiques et logistiques
  - Favorisation de l'intermodalité
  - Limitations des risques et contraintes environnementales

# Conclusions (1) – Intérêts et limites d'une filière hydrogène

- **Les usages et leur pertinence vont être déterminants** pour quantifier les besoins d'H<sub>2</sub> et les infrastructures associées.
- **0,8 à 1,4 M tonnes de CO<sub>2</sub> évitées** dans l'industrie et les transports à l'horizon 2030 (37,9 MT eq CO<sub>2</sub> en 2020),
- **La décarbonation de l'industrie et de la mobilité par l'hydrogène électrolytique** pour l'Île-de-France va nécessiter entre **9 à 44 TWh d'électricité renouvelable et bas-carbone** et de **1 à 6,5 GW d'électrolyse** installés en 2050.
- **Les EnRR électriques franciliennes ne pourront pas répondre à l'ensemble des besoins franciliens d'hydrogène renouvelable.** Si l'électrolyse se fait en région, le réseau sera sollicité via le mix électrique et avec des GO et des PPA renouvelable, préemptant des EnRR d'autres territoires.
- **En 2050, l'électrolyse pourrait consommer entre 0,24 et 0,5% du volume d'eau utilisé en région. L'eau n'apparaît pas comme un facteur limitant à priori** (rappel, le vaporeformage consomme également de l'eau). Des contraintes liées aux changement climatique et à la disponibilité de la ressource (sécheresse, étiage, conflits d'usages...) sont toutefois à prendre en compte.

## Conclusions (2) – Territoires ?

- Des **zones d'intérêt clairement identifiées**, pour la mobilité mais aussi pour l'industrie, répondant à d'autres **enjeux territoriaux** (qualité de l'air, bruit...). Des premiers projets d'écosystèmes se placent aujourd'hui sur ces zones (uniquement sur la mobilité lourde/intensive), mais d'autres restent à investir.
- Des **écosystèmes à pondérer en fonction des attentes** des territoires et des acteurs. Tout le monde ne pourra pas avoir son électrolyseur et sa station.
- Le **foncier pour la production** (1 à 6,5 GW), le **stockage** (surface, souterrain) et la **distribution d'hydrogène** (120 à 300 stations H<sub>2</sub> en 2050) **doit d'ores-et-déjà être anticipé** dans un contexte de tension, de ZAN, de requalification de friches et d'infrastructures énergétiques, et de risques / acceptabilité sociale (ICPE).
- Une **partie des besoins futurs d'hydrogène pourrait être importé d'autres régions** (voir pays) via des camions dans un premier temps puis via des hydrogénéoducs. Le coût de l'hydrogène sera déterminant.
- Des **partenariats possibles avec L'Institut Paris Region** pour alimenter des études et réflexions locales (données et cartes) ou développer des hypothèses de spatialisation

# Merci



**Thomas  
Hemmerdinger**  
Thomas.hemmerdinger  
@institutparisregion.fr



**Lucas Sittler**  
Lucas.sittler  
@institutparisregion.fr

# Quelles réglementations pour la filière hydrogène ?

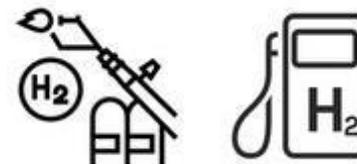
## Cadre réglementaire



Fabrication –  
Rubrique ICPE : 3420



Stockage –  
Rubrique ICPE : 4715



Utilisation –  
Rubrique ICPE : 1416

La rubrique 3420 : si quantité non industrielle ———> possibilité de non déclaration  
Analyse au cas par cas par la DRIEAT (repère  $\pm 6$  MW)

La rubrique 1416 : Distribution d'hydrogène (gazeux) ———> *adapté aux véhicules terrestres*  
Modifications pour les projets temporaires et la logistique fluviale : fin 2021

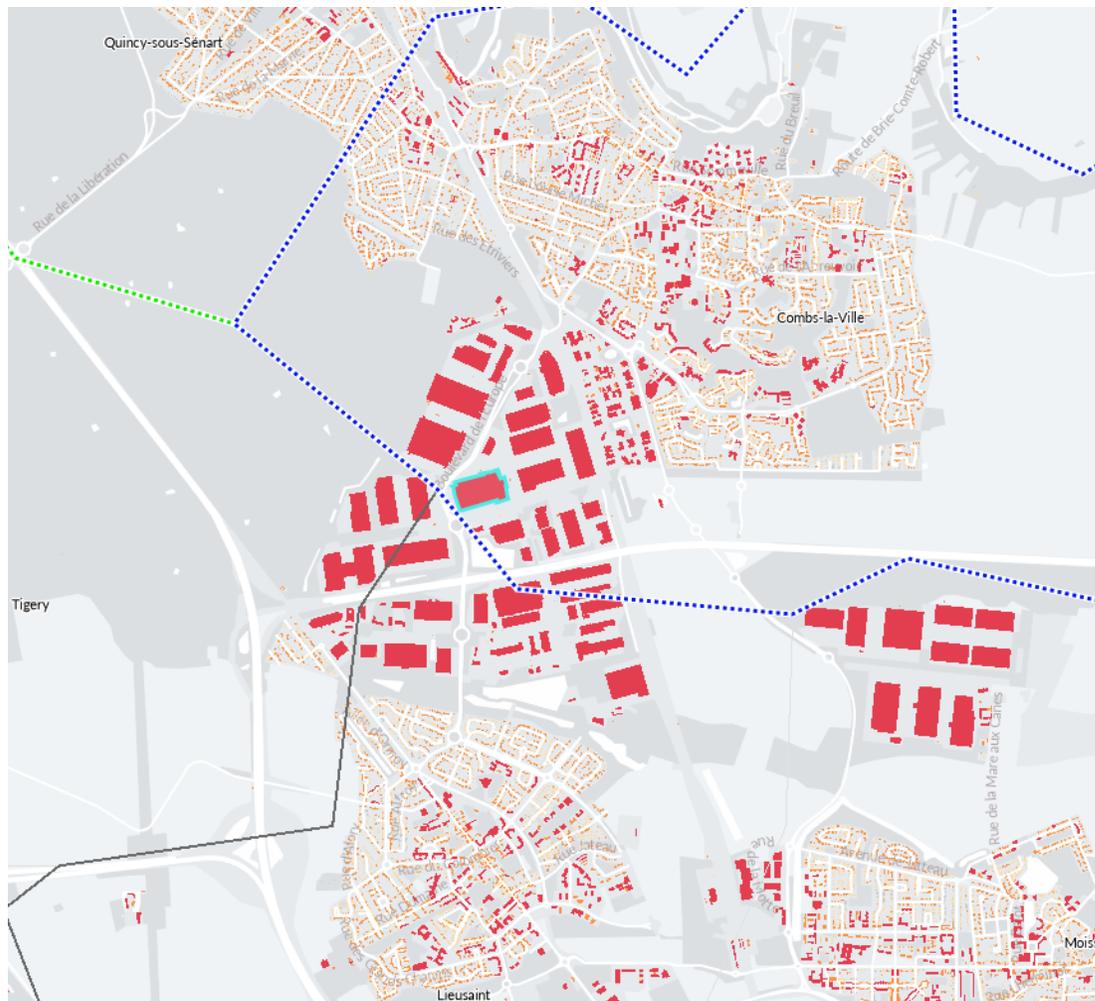
La rubrique 4715 : Régime NC < 100 kg < D < 1t < A  
Difficile de changer la limitation à cause du principe de non-régression

## Spécificité francilienne

Densité très forte ; foncier limité

————> Pose la question des distances d'éloignement au sein de l'installation

# Des outils à destination des collectivités et des franciliens



Gisement solaire de la plateforme logistique de Sénart

## GISEMENT SOLAIRE DES TOITURES FRANCILIENNES

Combs-la-Ville | Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart

Le territoire Situation au bâtiment

Cet onglet présente du gisement solaire à l'échelle du bâtiment, à la fois en m<sup>2</sup>, nombre de panneaux installables et en MWh. Il donne également à voir sur la typologie et les caractéristiques du bâti. Pour plus de précisions méthodologiques et éléments de définition, nous vous invitons à consulter le document mis à disposition dans l'onglet Aide.

### NATURE DU BÂTIMENT

Occupation majoritaire Entrepôts logistiques

© INSTITUT PARIS REGION, Occupation du sol 2017

Type de bâtiment Bâtiment industriel

© IGN, BD TOPO 2017

### POTENTIEL DU BÂTIMENT

Surface utile (en m<sup>2</sup>) 31 683

Equivalent panneaux 2 à 9 10 à 50 plus de 50

Type d'installation pertinente thermique ou photovoltaïque

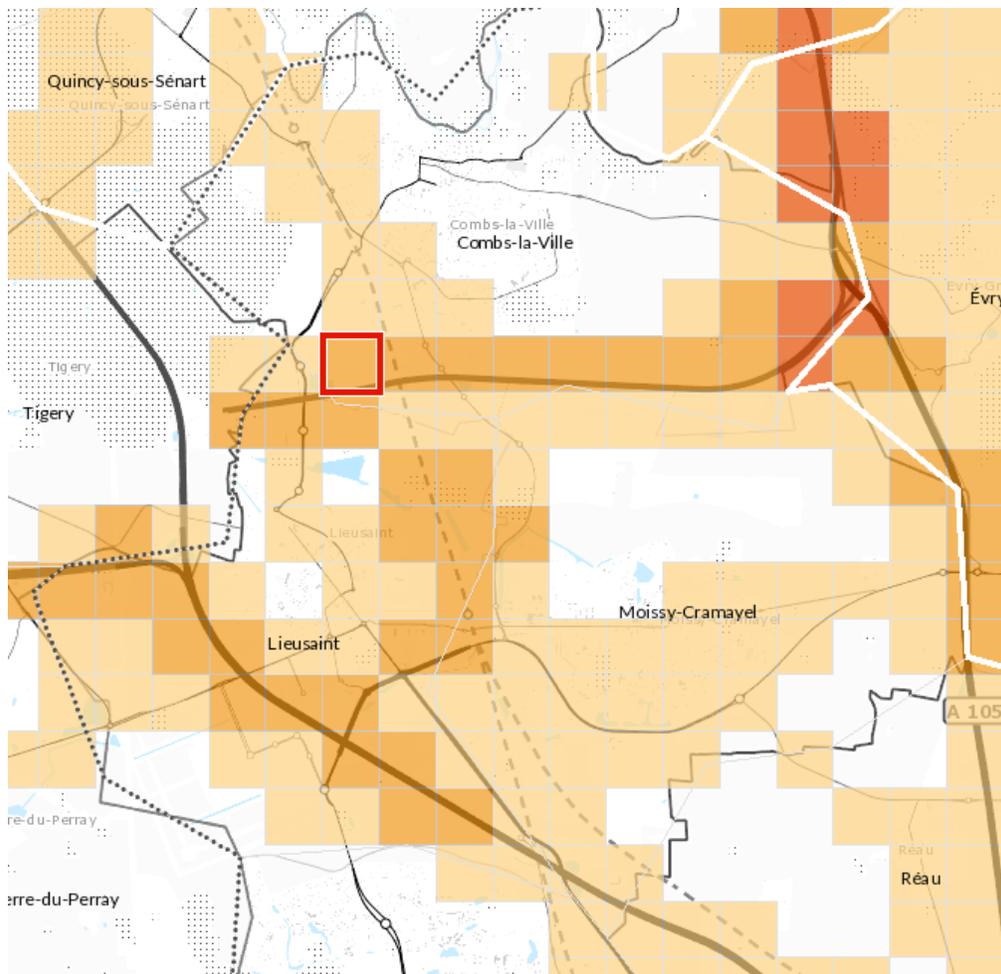
Forme évaluée du toit du bâtiment Plat

Irradiation moyenne sur la surface utile (kWh/m<sup>2</sup>.an) 1 226

Production potentielle (kWh/an) 3 540 093



# Des outils à destination des collectivités et des franciliens



## CUMUL DE NUISANCES ET POLLUTIONS ENVIRONNEMENTALES

À la maille Territoire & Population

La maille sélectionnée fait partie de la commune de Combs-la-Ville

Surface de la maille concernée par type de nuisance :

Pollution de l'air



Bruit



Pollution des sols



Pollution de l'eau



Pollution industrielle



Soit 2 type(s) de nuisance(s) sur 5.

[Cumul des nuisances et pollutions environnementales](#)

# Des études en cours

## Des études extrarégionales

- **Trajectoires de déploiement de la filière hydrogène à 2030, visions par région et par bassin**  
France Hydrogène  
*Prestataire : EY*
- **Etude opérationnelle pour le développement d'écosystèmes hydrogène renouvelable et bas carbone en Vallée de Seine**  
Régions Normandie et Île-de-France

## Des études régionales

- **Potentiel hydrogène de l'Île-de-France**  
AREC ÎdF / Institut Paris Region
- **Verdissement de l'hydrogène de l'industrie**  
Ademe Île-de-France / Délégation IDF de France Hydrogène

## Des études locales

- **Etude pour un écosystème territorial hydrogène sur l'UVE de Sarcelles**  
SIGIDURS, Syndicat départemental des énergies du Val-d'Oise et le SIGEIF  
*Prestataires : Iming / Ekinos / Alter-Mob / Espelia*
- **Etude hydrogène territoire du Grand Roissy**  
CA Roissy Pays de France / EPT Paris Terre d'Envol  
*Prestataire : EY*
- **Etude d'opportunité pour une station hydrogène à Eragny**  
Dentressangle Immobilier et logistique  
*Prestataire : EY*