



# Hydrogène : l'heure des choix

---

**Webinaire – 19 octobre 2023**

Simon Métivier



Stéphane Signoret





- Une association, créée en 2001 par des professionnels de l'énergie
- Missions : **Expertise et prospective énergétique & Plaidoyer**
- 20 salariés - 30 membres actifs - 1600 adhérents



- Un institut, créé en 2009
- Filiale et outil opérationnel de l'association
- Mission : **Accompagner les acteurs de terrain dans la mise en œuvre de la transition**
- 23 salariés

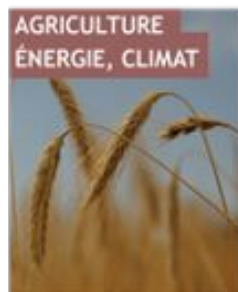


- Une entreprise de l'ESS, créée en 2017
- Filiale dédiée à la rénovation performante des maisons individuelles
- Missions : **Former des groupements d'artisans & Accompagner les territoires**
- 50 salariés - 5 agences régionales

**Association** au service des transitions énergétique, climatique, agroécologique et alimentaire, depuis 1981

**3 métiers** : Ingénierie-conseil, Recherche-prospective, Diffusion et partage des savoirs

**7 activités** :



1. Pourquoi ce webinaire sur l'hydrogène ?
2. Choix dans la priorisation des usages
  - **Les besoins industriels en hydrogène sont structurants**
  - **L'hydrogène a un rôle global pour la transition**
  - **Des priorités stratégiques à clarifier**
3. Quelles pistes pour des politiques publiques adaptées aux enjeux ?

**Le webinaire est enregistré et sera disponible en replay**

-----  
**Posez vos questions par écrit dans l'onglet Q/R**



**1.**

**Pourquoi ce webinaire ?**



- Hydrogène par électrolyse de l'eau = nouvelle brique de la transition énergétique
- Accélération des politiques publiques depuis trois ans dans le monde
- Démarche volontariste de l'Europe (Green Deal, RepowerUE...)
- Forte concurrence de la Chine et des Etats-Unis
- La France se positionne en défendant son électricité bas-carbone
- MAIS le [dernier rapport de l'Agence internationale de l'énergie](#) montre que la réalisation concrète des projets n'avance pas assez vite

**□ Besoin de clarifier les choix que la France doit faire pour trouver sa place dans cette course mondiale**

- En 2020, l'Association négaWatt a déjà pris parti pour une priorisation des développements de l'hydrogène par électrolyse dans l'industrie
- Scénario 2022 : négaMat combine l'analyse des biens de consommation et de matières avec les transformations industrielles
- Etude 2023 : chiffre les besoins d'hydrogène renouvelable dans trois secteurs industriels à très fort potentiel (ammoniac, acier, chimie des oléfines), et leur poids par rapport à tous les usages hydrogène



□ **Un positionnement argumenté pour définir des choix, basé sur une analyse des flux physiques, dans le cadre spécifique du scénario 100% EnR de négaWatt**





**2.**

**Choisir les priorités pour  
les usages de l'hydrogène**

---

- Hydrogène dans le monde = 95 millions de tonnes, fabriqué à 99% à partir d'énergies fossiles → 900 Mt CO<sub>2</sub>/an
- Hydrogène en France = consommation d'environ 920 000 tonnes, à 60% dans le raffinage pétrolier (co-produit), à 25% pour la production d'engrais, et à 10% dans la chimie → émissions de 10 Mt CO<sub>2</sub>/an
- A l'avenir, l'hydrogène sera utilisé comme vecteur non-énergétique (matière première dans l'industrie) et aussi comme vecteur énergétique (méthanation, transport, e-fuel)
- Ordre de grandeur : 1 tonne d'hydrogène = 40 MWh PCS

**□ Bien faire la différence entre usages énergétiques et usages non-énergétiques**

- La production électrique devient 100% renouvelable d'ici 2050, donc on n'envisage que de l'hydrogène renouvelable par électrolyse de l'eau
- Le CCS (capture et stockage de carbone) n'est pas utilisé car moins intéressant : maintien des sources fossiles, coût énergétique, risques liés aux zones de stockage souterrain
- La mobilité dispose d'alternatives : véhicules électriques, véhicules hybrides bioGNV/électricité, poids lourds bioGNV. L'hydrogène a une part limitée
  - **Priorité donnée à l'hydrogène renouvelable dans l'industrie, pour des secteurs qui ont peu ou pas d'alternatives (acier primaire, ammoniac, oléfines)**



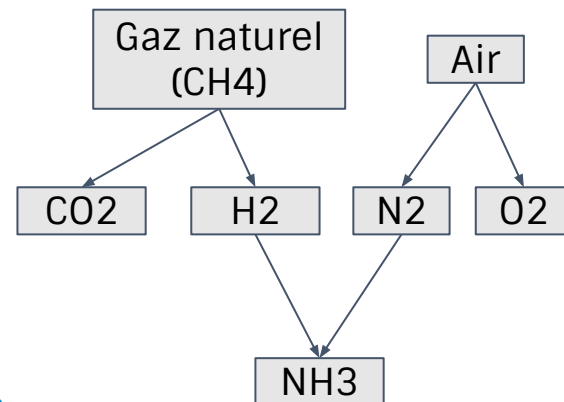
# 2.a

**Les besoins industriels  
en hydrogène sont structurants**

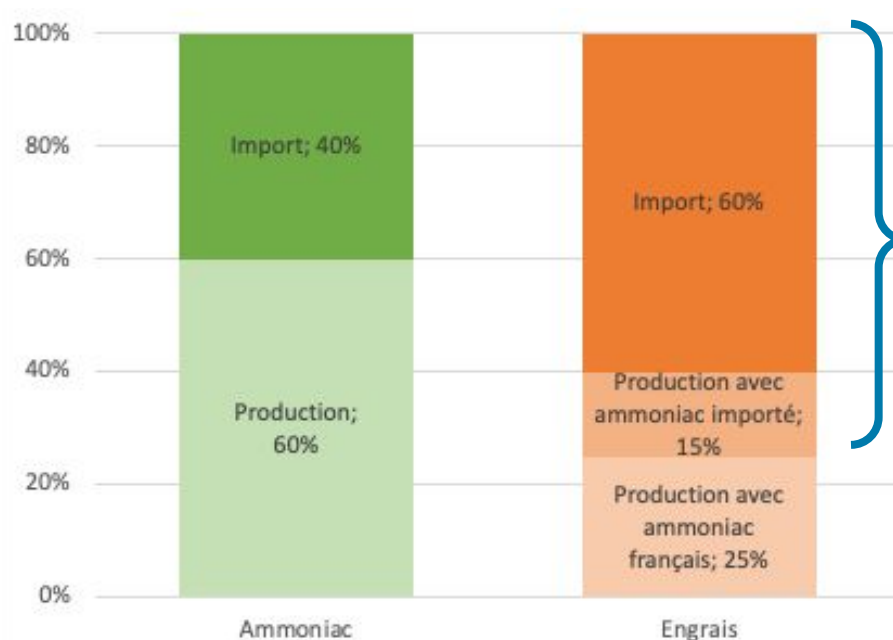
---

# ➤ La production d'ammoniac - Aujourd'hui

- Production d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) :
- 1 t<sub>ammoniac</sub> = 180 kg H<sub>2</sub> = émission de 2 tCO<sub>2</sub>eq
- Production française :
  - 1,1 million de tonnes sur quatre sites
  - Sert principalement à la production d'engrais azotés



## Consommation d'ammoniac et d'engrais azotés en France aujourd'hui



Très grande dépendance sur les engrais azotés !

- SOBRIÉTÉ : Scénario Afterres 2050 : -50% usage engrais azotés
  - **évolution du régime alimentaire**
  - **évolution des pratiques agricoles vers plus d'agroécologie**
  - **généralisation de la méthanisation**
- Maintien de la production => augmente l'indépendance sur les engrais azotés
- Conversion des procédés à l'hydrogène par électrolyse entre 2030 et 2040

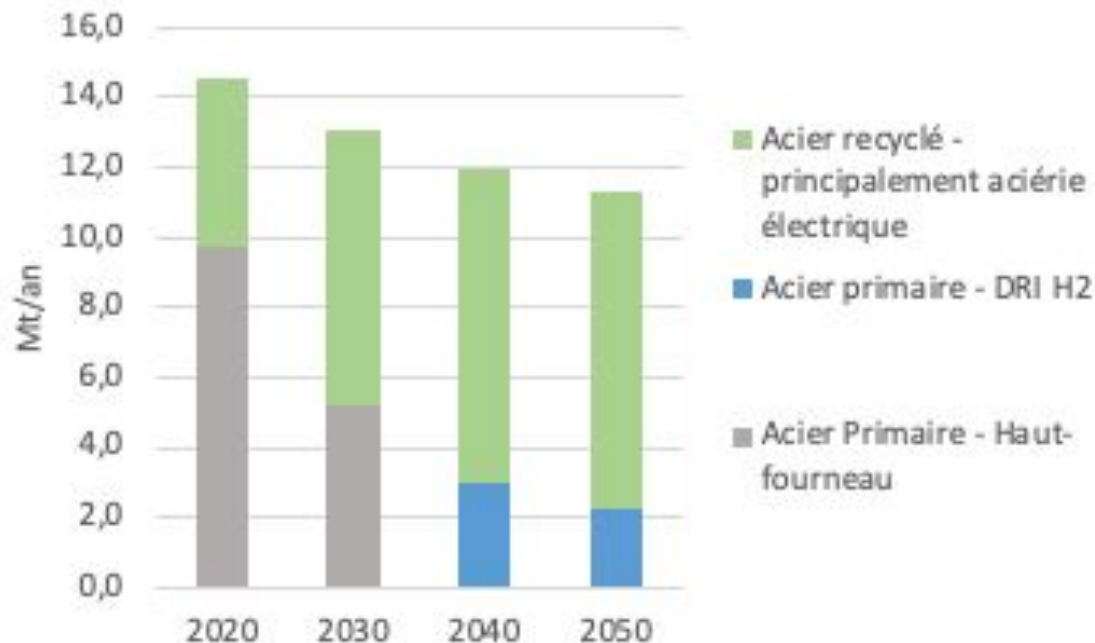
Deux types de matière première :

- **Minerais de fer**
  - production de fonte puis d'acier primaire (env 10 Mt/an)
  - filière haut fourneau, nécessite du coke de charbon pour réduire le minerais
  - $1t_{\text{acier}} = \text{env } 1,9 \text{ tCO}_{2\text{eq}} \text{ émis}$
- **Ferraille**
  - production d'acier recyclé (env 5 Mt/an)
  - principalement filière aciérie électrique

## ↳ la production d'acier - projection 2050



- Réduction de la demande d'acier d'environ 15 Mt/an à 11 Mt/an
- Augmentation de la production d'acier recyclé
- Remplacement de la filière haut-fourneau par une technologie de DRI (Direct reduced Iron) utilisant de l'hydrogène (ou du méthane) pour réduire le minerais de fer

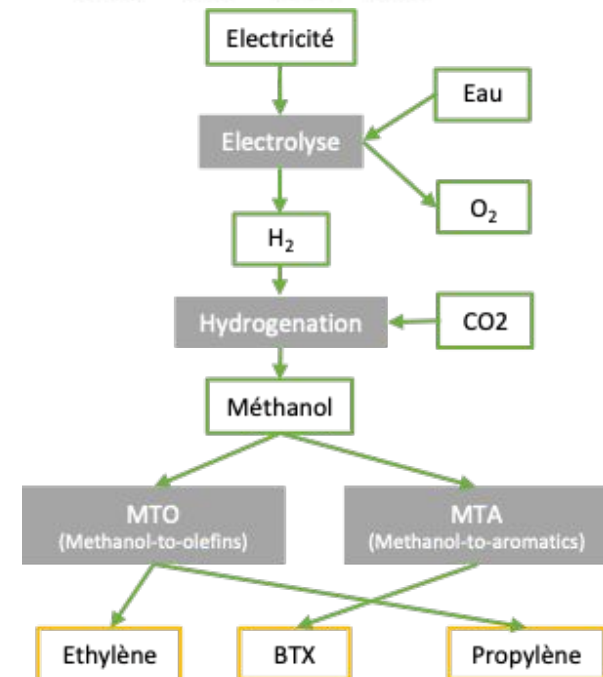
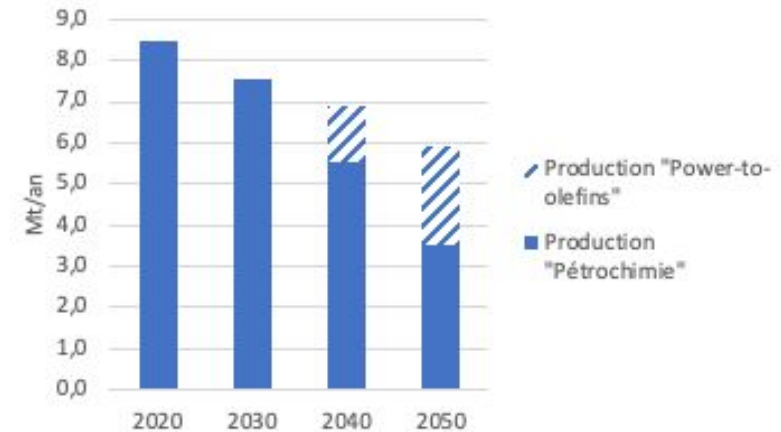




- Oléfine (Ethylène, propylène...) : Produit de base de la chimie organique et matière première des principaux plastiques
- Production actuelle :
  - **principalement par vapocraquage du naphta (co-produit du raffinage du pétrole)**
  - **8,5 Mt/an (production = consommation)**

## ➤ Production d'oléfines - projection 2050

- Réduction de la demande de plastique et donc d'oléfines (8,5 Mt/an => 6 Mt/an)
- Substitution partielle par la filière power-to-oléfine
  - **Power-to-methanol**
  - **puis methanol-to-olefin**
  - **Besoin de CO2 biogéniques** (fermentation, méthanisation, pyrogazéification) à hauteur de 7,5 Mt/an en 2050
  - **Pas de recours à la voie biosourcée**



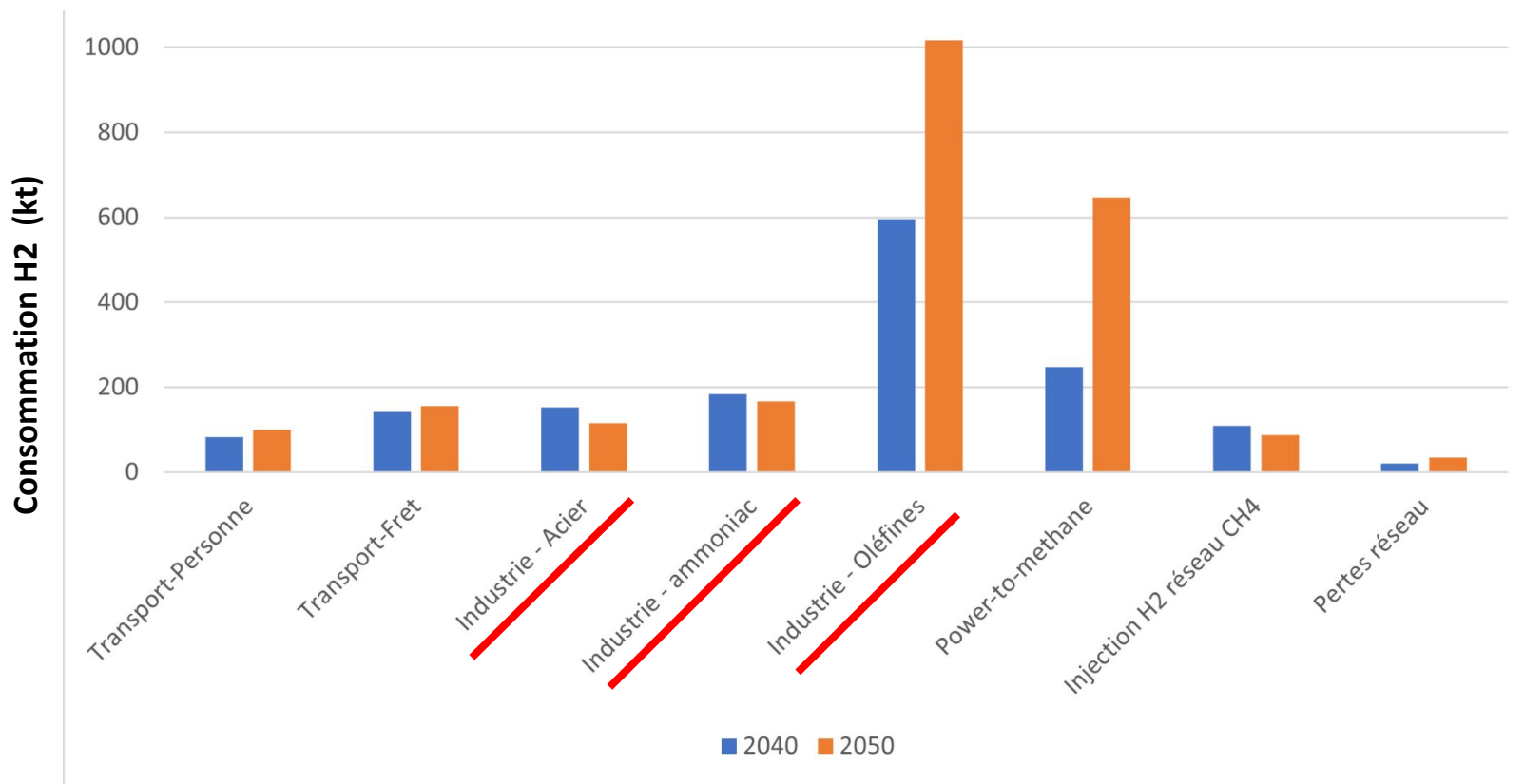
- En 2050, les besoins en hydrogène des trois filières étudiées, dans le cadre du scénario négaWatt, sont les suivants

	AMMONIAC	ACIER PRIMAIRE	OLÉFINES
Hydrogène (kt/an)	166	115	1017
Electrolyse (MW)	2400	1700	14800
Investissements (M€)	4000	2700*	5700**

\* dont 1500 M€ pour électrolyse; \*\* juste pour la “brique” méthanol

- Les capacités d'électrolyseur prennent en compte un fonctionnement flexible des électrolyseurs (3700 h/an), pour une optimisation du système énergétique (confirmé par [récente étude RTE/GRTgaz](#))
- Ces niveaux d'investissements sont cohérents avec ceux évalués dans [une étude de I4CE](#) pour l'acier et l'ammoniac à partir des scénarios Transition(s) de l'Ademe

- Besoin total de 2,3 Mt/an d'hydrogène en 2050
- Trois secteurs industriels = 50% de la consommation d'hydrogène



- Certains secteurs industriels doivent investir dans l'hydrogène renouvelable pour décarboner leurs activités / produits
- Même dans une dynamique de sobriété, les volumes d'hydrogène nécessaires seront très importants (2,5 fois la consommation actuelle)
- La puissance d'électrolyseur à mettre en place, rien que pour les trois secteurs industriels étudiés, atteint 19 GW en 2050 dans le SnW, alors que seuls 13 MW étaient installés fin 2022
- L'objectif français de 6,5 GW en 2030 doit être :
  - **Mis réellement en oeuvre en aidant en priorité les secteurs industriels de l'acier primaire, de l'ammoniac et de la chimie**
  - **Renforcé par d'autres jalons en 2035 (15 GW) et en 2040 (26 GW)**



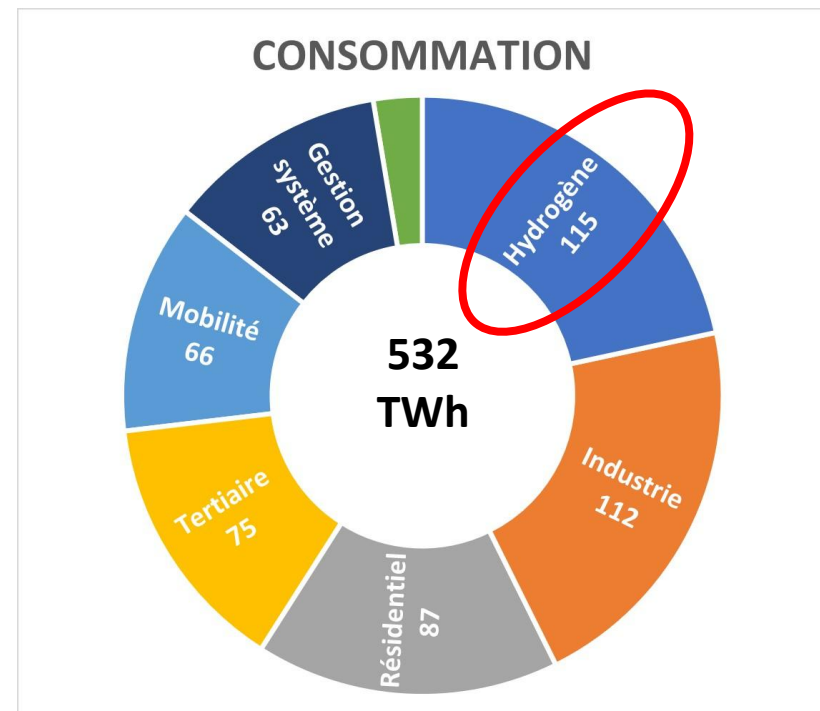
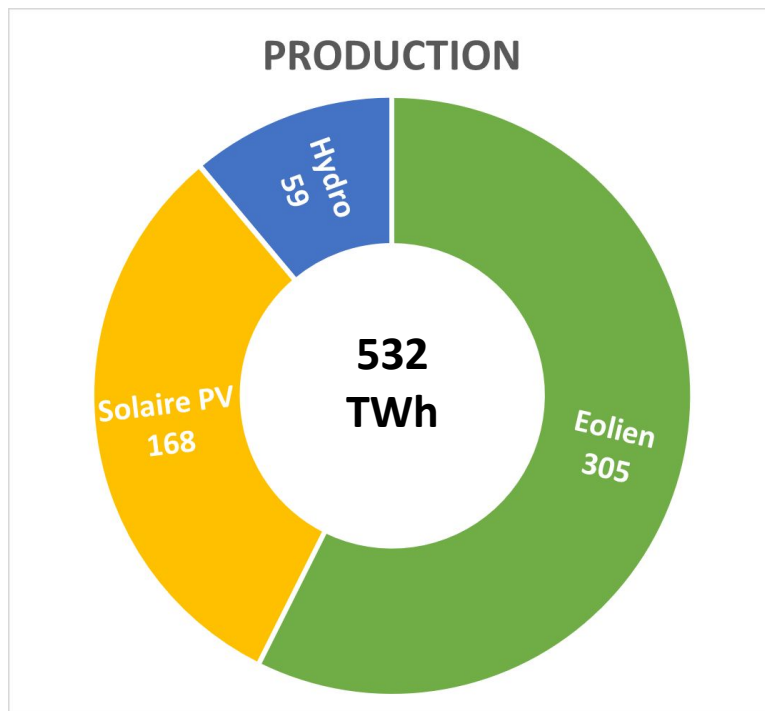
# 2.b

## Rôle global de l'hydrogène dans la transition



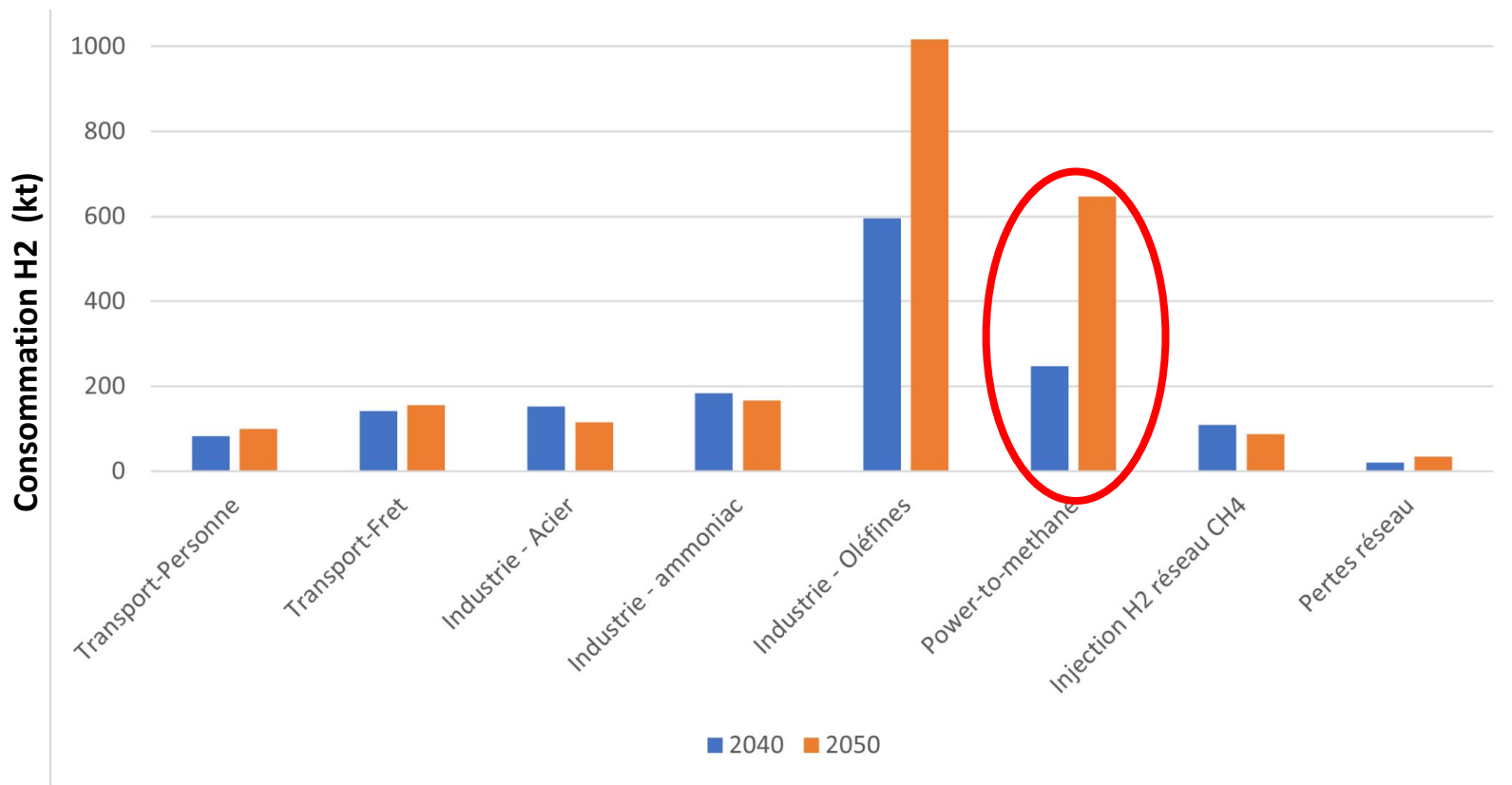
# ➤ Hydrogène : un « driver » pour le système électrique

- La production d'hydrogène est le premier poste de consommation d'électricité en 2050 dans le scénario négaWatt



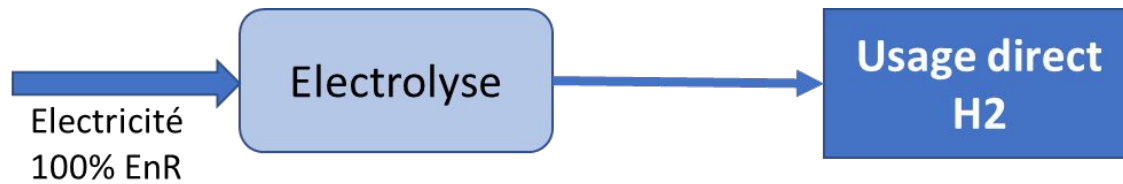
Gestion système = pertes réseaux, exportations, stockage, consommations internes

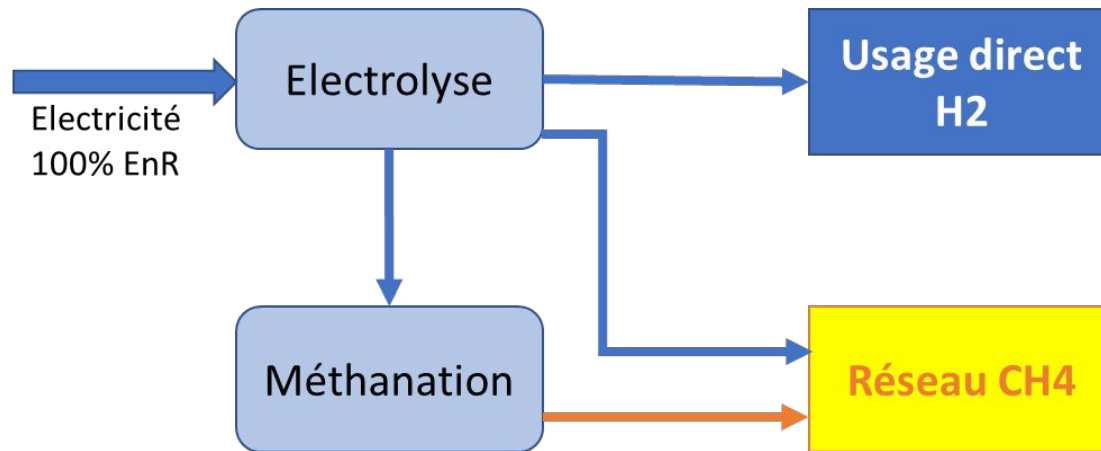
- Autre poste important : le power-to-methane (méthanation)



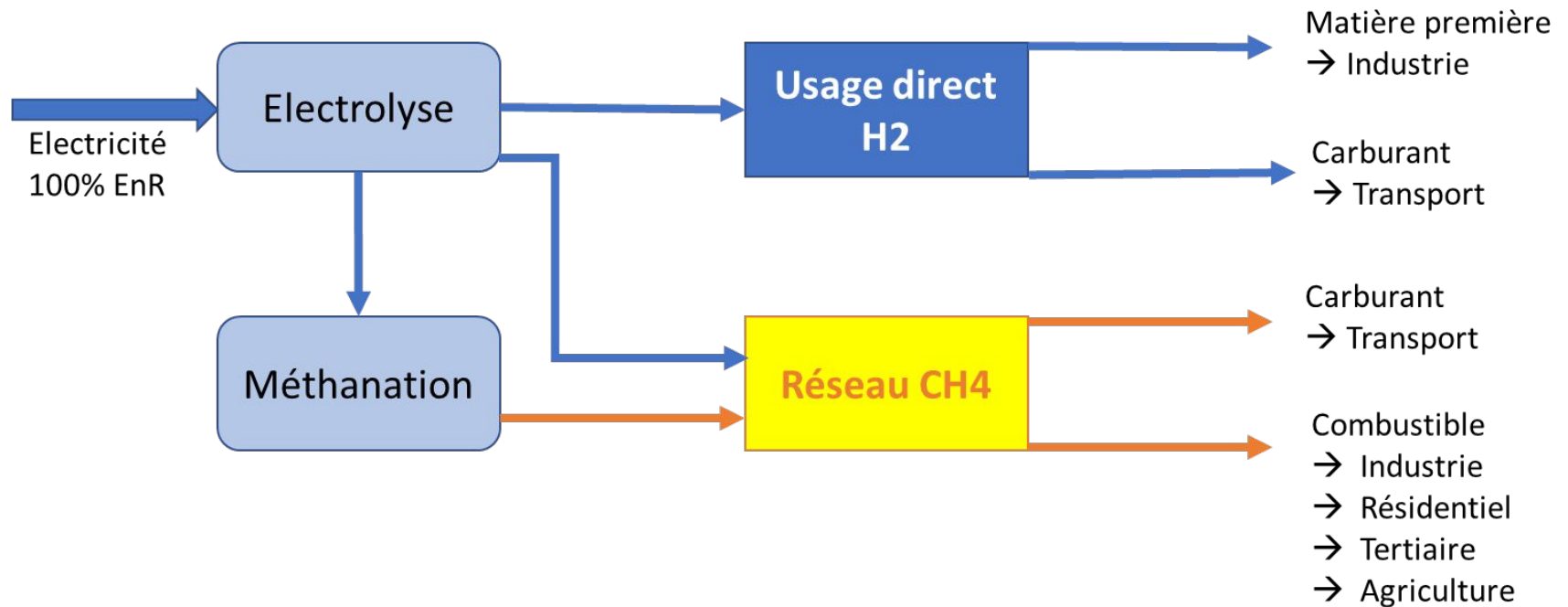


# ➤ Vision globale du vecteur hydrogène dans le SnW

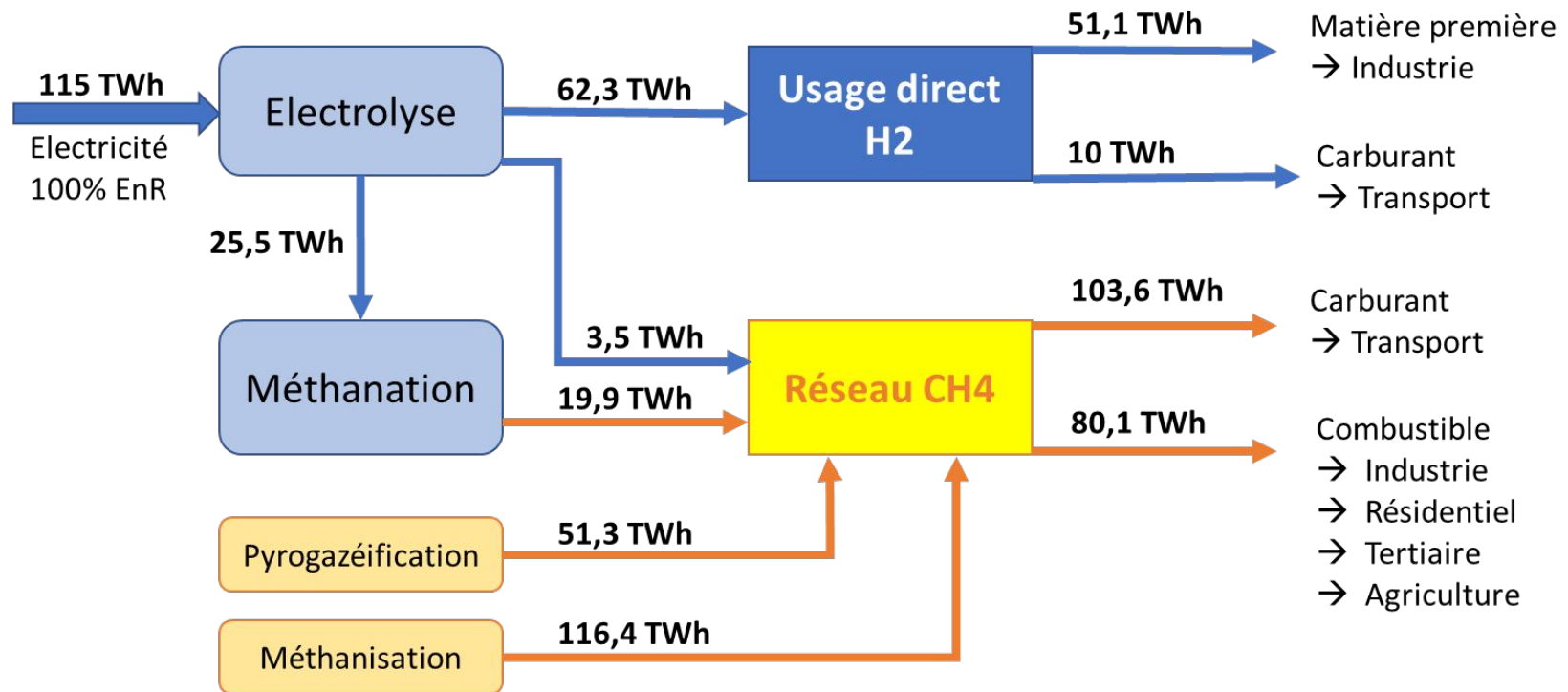




# ➤ Vision globale du vecteur hydrogène dans le SnW

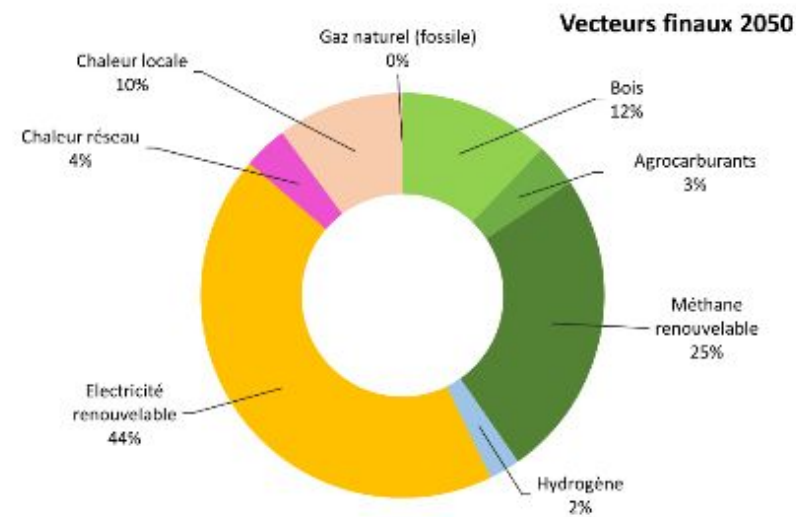


## SnW2022 : Diagramme de Sankey en 2050 pour les réseaux Hydrogène et Méthane (en TWh PCS)



N.B : Le schéma n'indique pas les pertes qui sont de 23,7 TWh pour l'électrolyse, de 5,6 TWh pour la méthanation, de 1,2 TWh sur le réseau H2 et de 3,8 TWh sur le réseau CH4, ainsi que de 1,4 TWh pour la méthanisation et 28,6 TWh pour la pyrogazéification.

- En tant que vecteur énergétique final, l'hydrogène ne pèse que 2% à côté de l'électricité renouvelable (44%)
- Mais il a un rôle essentiel en tant que :
  - **Matière première dans l'industrie**
  - **Moyen de flexibilité pour le système électrique / équilibrage du réseau par modulation de l'électrolyse**
  - **Source de CH4 via la méthanation / nombreux usages dont le transport**
- Le développement des moyens de production d'hydrogène doit être planifié en même temps que ceux de production d'électricité renouvelable, et en cohérence avec le système gazier



## Questions sur la place de l'hydrogène dans le scénario négaWatt ?

→ → Utilisez l'onglet Q/R ← ←



# 2.c

**Des priorités stratégiques  
à clarifier**



## ➤ Où en sont les politiques publiques ?



- Première stratégie en 2018 qui a peu porté ses fruits dans l'industrie
- Loi Énergie-Climat de 2019 : art.100-4 du Code de l'énergie (al.10)
- Ordonnance du 21/02/2021 non suivies de la publication des décrets
- Des feuilles de route industrielles focalisant sur l'électrification et le CCS ; et renforcées par les annonces gouvernementales sur le CCS
- Plan de relance et France 2030 : 9 milliards d'euros prévus mais nouvelle stratégie en attente...
- Appels à projets Ademe en cours
- PLF 2024 confirmerait 680 M€ mais pas le crédit d'impôt "industrie verte"
  - **Une politique qui s'affiche ambitieuse mais encore trop peu concrétisée par rapport aux objectifs, en particulier dans l'industrie**



## ➤ Où en sont les politiques publiques ?



- Green Deal : 6 GW d'électrolyse en 2024 et 40 GW en 2040 (10 Mt H2)
  - REPowerEu : ajout d'un objectif d'importation de 10 Mt H2
  - Deux appels à projets importants d'intérêt commun : 10,6 Mds€ pour 76 projets mais moins d'une dizaine sur des projets dans l'industrie
  - Définitions par l'UE de l'hydrogène bas-carbone, et des règles de production d'hydrogène renouvelable
  - Directive RED III fixe nouvel objectif d'hydrogène renouvelable dans l'industrie
  - Banque européenne de l'hydrogène va lancer sa première enchère
- Une politique a priori moins simple que celle des Etats-Unis, et risquant de créer une nouvelle dépendance aux importations**

1. Maintien du vaporeformage de gaz fossile. Et si promesses non tenues du CCS → hydrogène serait toujours fortement émetteur de CO<sub>2</sub>
2. Manque de soutien aux fabricants européens d'électrolyseurs → risque de dépendance aux équipementiers asiatiques
3. Manque de soutien aux projets industriels → le débouché principal des électrolyseurs ne serait pas suffisant, empêchant la baisse des coûts de l'électrolyse
4. Recours trop grand aux importations d'hydrogène produit hors Europe → l'UE passerait de la dépendance aux énergies fossiles à la dépendance à l'hydrogène
5. Pas assez de sobriété → les besoins en hydrogène seraient très importants et difficiles à satisfaire



**3.**

**Quelles orientations pour  
les politiques publiques ?**

---

## Choix n°1

Mettre en oeuvre une politique de sobriété structurelle pour baisser durablement la consommation de produits manufacturés et donc de matières premières.

- **Revoir comment les produits sont conçus, dimensionnés (éco-conception), utilisés, réparés, réutilisés, puis collectés en fin de vie et recyclés**
- **Définir des critères d'éco-conditionnalité aux entreprises bénéficiant de soutiens publics**
- **Informers les consommateurs par la mise en place d'un affichage environnemental obligatoire sur les biens de consommation**

## Choix n°2

Définir des objectifs nationaux de production d'hydrogène renouvelable par filières industrielles (mobilité lourde et méthanation incluses), en vue de minimiser le recours à des importations et de créer le marché nécessaire aux fabricants européens d'électrolyseurs.

- **Fixer des objectifs intermédiaires de mise en place d'électrolyse (6,5 GW en 2030 ; 15 GW en 2035 ; 26 GW en 2040 ; 33 GW en 2050)**
- **La Stratégie Française Énergie Climat doit élargir son champ à l'empreinte carbone et à l'empreinte matière, en déclinant des « budgets carbone et matière » par filière industrielle.**

## Choix n°3

Déterminer un cadre facilitant l'usage d'hydrogène renouvelable, en priorité par les industriels, afin d'atteindre les objectifs et de faire baisser les coûts de l'électrolyse.

- **Donner priorité au développement de l'éolien et du photovoltaïque pour disposer d'électricité renouvelable**
- **Sécuriser la fourniture d'électricité d'origine renouvelable aux industriels (en quantité et niveau de prix), par exemple via des PPA**
- **Intégrer à terme la flexibilité des électrolyseurs dans les outils de régulation de l'équilibre offre/demande sur le réseau électrique**

### Choix n°4

Agir sur les secteurs de l'acier, de l'ammoniac et de la chimie des oléfines, et sur leurs chaînes aval et amont, pour que l'hydrogène renouvelable soit au coeur de leur décarbonation

- **Reconfigurer les aides publiques actuelles à l'hydrogène pour accélérer les projets hydrogène des trois secteurs acier /ammoniac / chimie**
- **Faciliter l'achat d'acier décarboné (TVA réduite ?) et augmenter le recyclage des ferrailles**
- **Identifier l'accès à des sources de CO2 biogéniques qui seront utiles au secteur de la chimie et à la méthanation**
- **Épauler le secteur agricole pour qu'il utilise moins d'engrais azotés minéraux**

**L'hydrogène est une brique essentielle** de la transition écologique en tant que source de matières, en tant que source d'énergie et en tant que lien entre électricité et méthane renouvelables.

Son rôle majeur dans la décarbonation des industries de l'acier, de l'ammoniac et de la chimie doit conduire à **prioriser les secteurs industriels dans les politiques publiques.**

Le **renforcement d'un cadre global propice** au développement de l'hydrogène renouvelable doit être mené de front : sobriété structurelle, évolution des pratiques agricoles, développement des énergies renouvelables, recyclage, équipementiers européens (électrolyse)

→ → **Le webinaire sera bientôt disponible en replay** ← ←

**Adhérez et soutenez l'Association négaWatt : [www.negawatt.org](http://www.negawatt.org)**



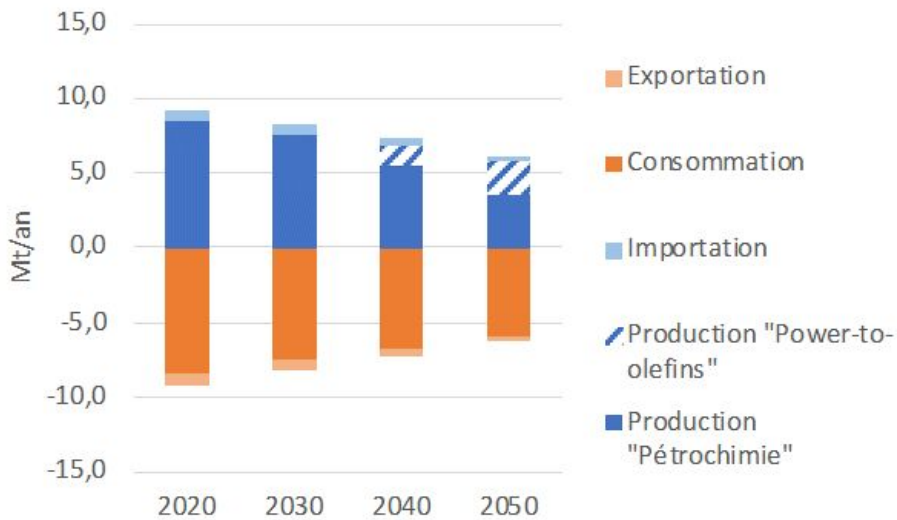


4.

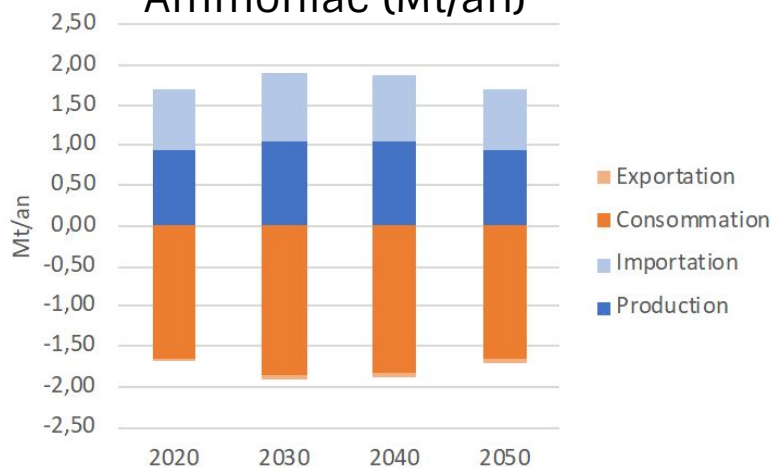
# Annexes



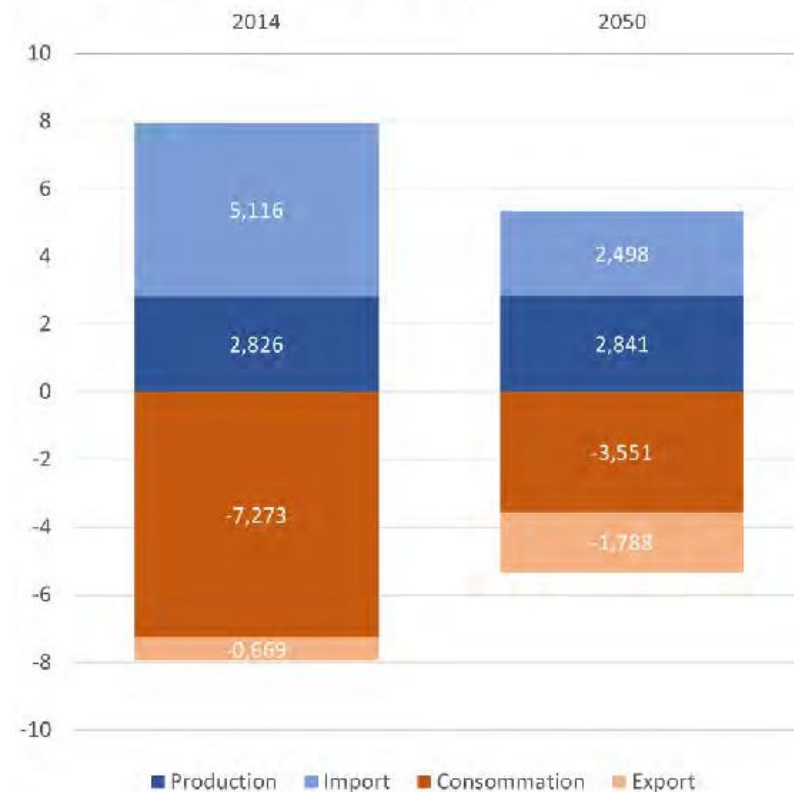
## Oléfines (Mt/an)



## Ammoniac (Mt/an)



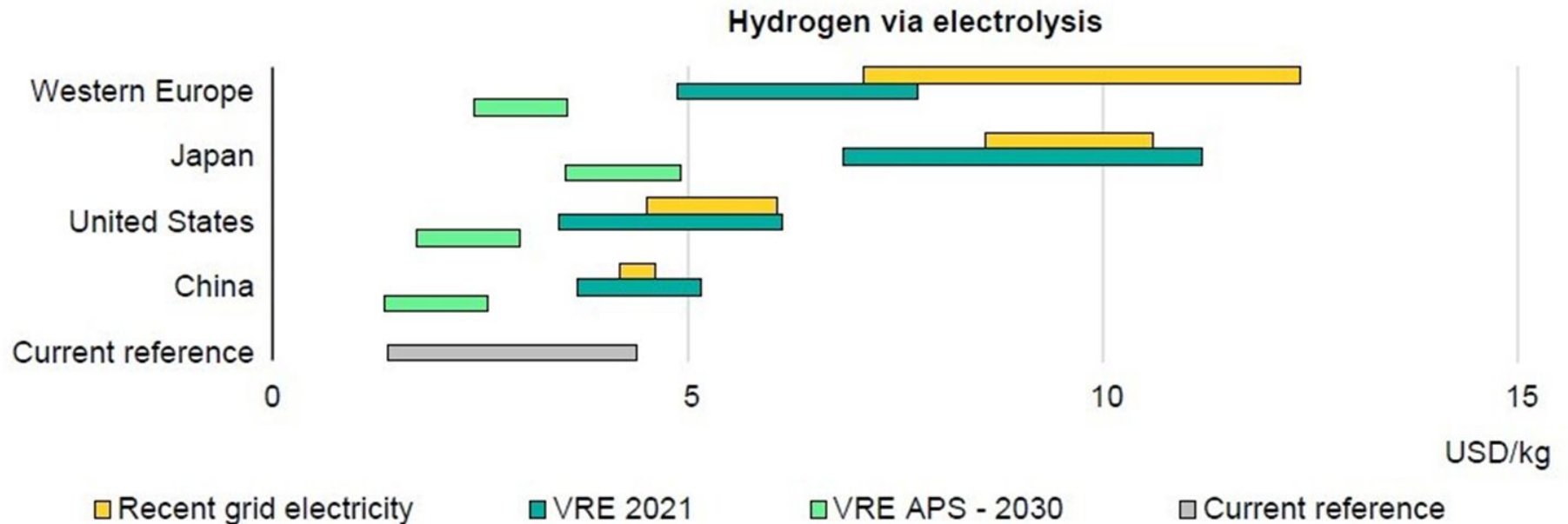
## Engrais azotés (Mt)



# ➤ Niveaux de coûts de l'hydrogène

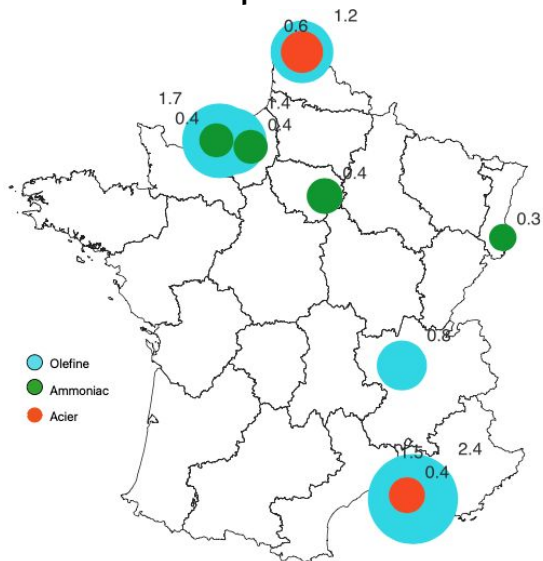


Estimation par l'Agence internationale de l'énergie (en \$ par kgH<sub>2</sub>)

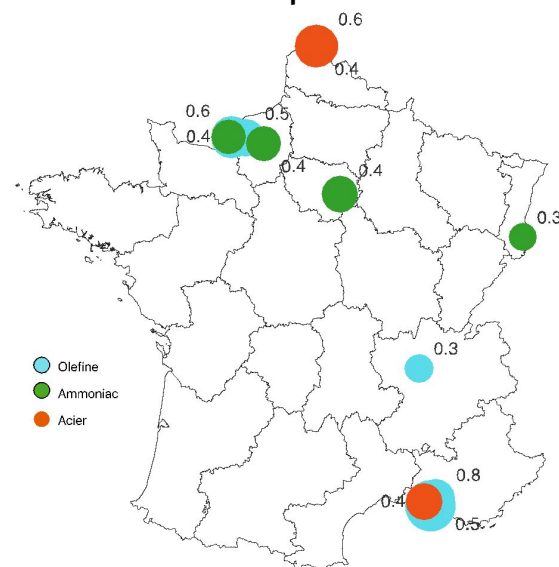




- La quantité d'eau nécessaire aux 33 GW d'électrolyse en 2050 dans le scénario négaWatt est de l'ordre de 20 millions m<sup>3</sup>, soit 3% des consommations d'en eau douce actuellement utilisées dans les secteurs de l'industrie et de l'énergie.
- La consommation nette d'eau des trois secteurs industriels étudiés s'élève à 5,1 Mm<sup>3</sup> par an en 2050. Elle est en effet plus réduite car les sites de production d'oléfines rejettent de l'eau lors du process.



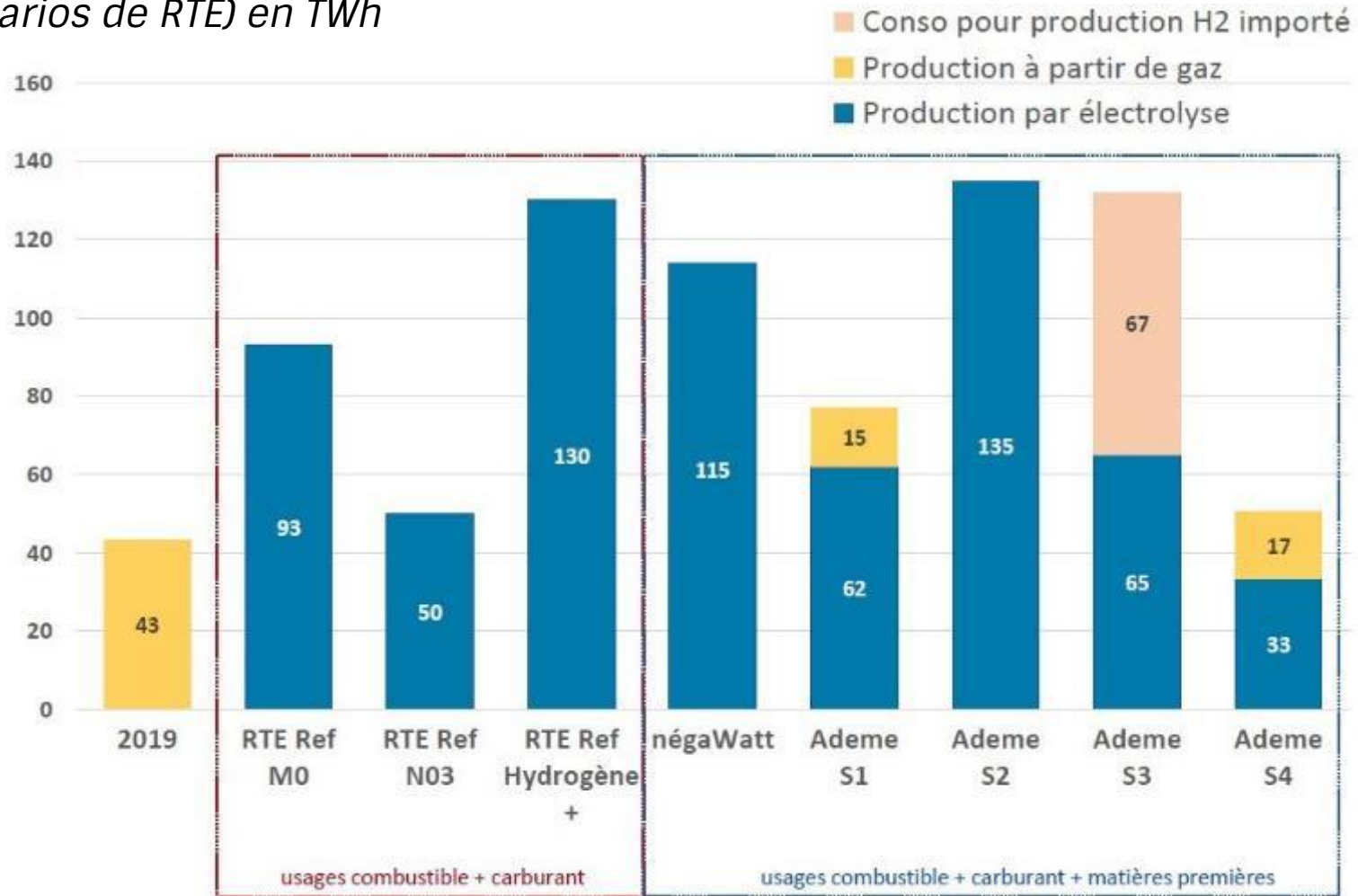
Consommation brute d'eau (Mm<sup>3</sup>/an)



Consommation nette d'eau (Mm<sup>3</sup>/an)

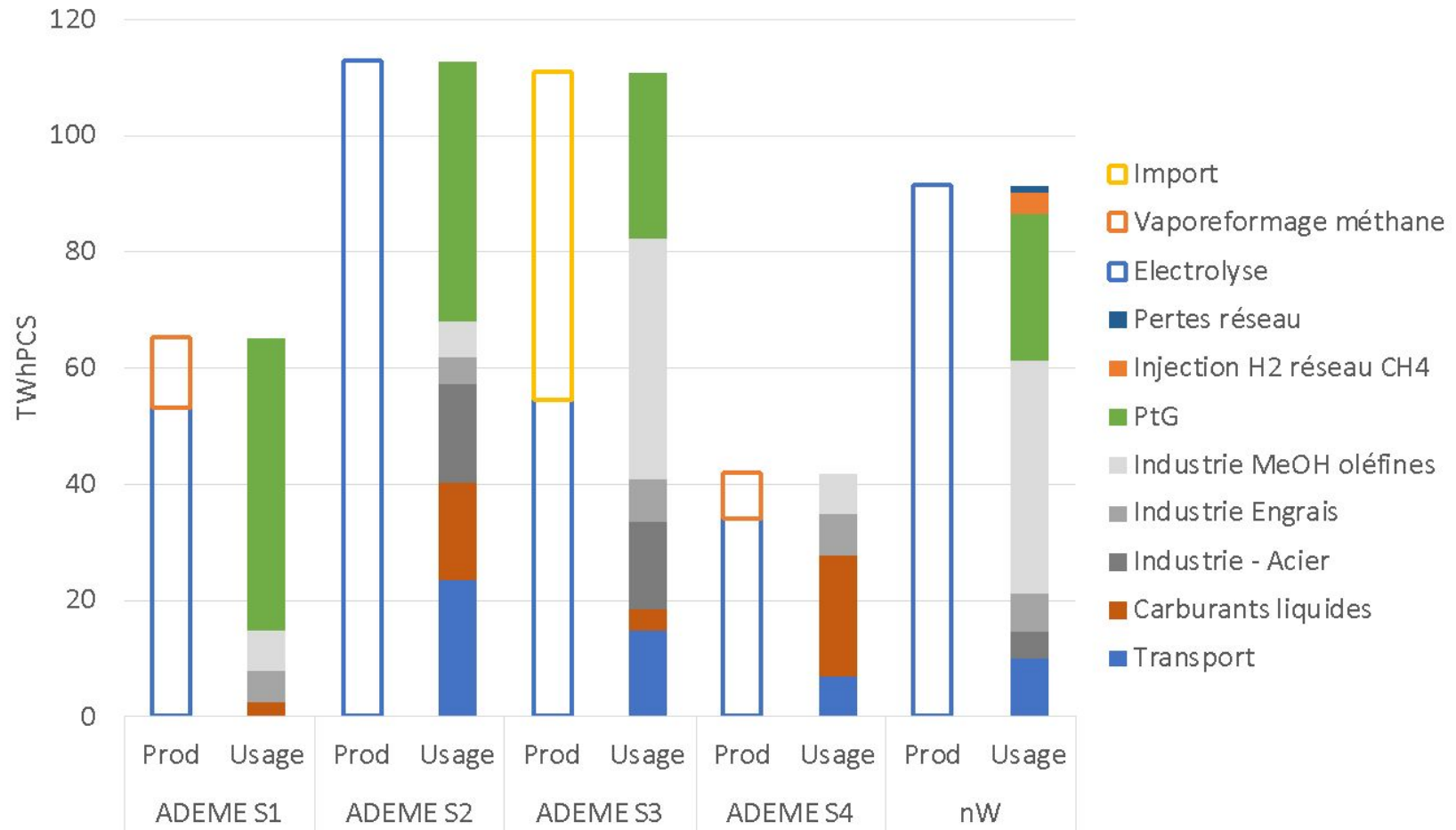
## ↘ Comparaison avec d'autres scénarios (1/2)

Consommation d'énergie pour la production d'hydrogène (hors industrie pour les scénarios de RTE) en TWh



## ➤ Comparaison avec d'autres scénarios (2/2)

*Production et consommation d'hydrogène dans les scénarios ADEME et négaWatt (en TWh PCS)*



- Les scénarios Transition(s) de l' ADEME envisagent d'autres options
- AMMONIAC :
  - **Recours à l'électrolyse de l'eau mais avec des besoins d'ammoniac différents selon les scénarios**
- ACIER :
  - **Maintien des hauts fourneaux dans S1 et S4 (avec CCS pour S4)**
  - **Utilisation de DRI méthane (S2) ou injection directe d'hydrogène dans les hauts fourneaux (S3)**
- OLEFINES :
  - **Maintien d'un minimum de 60% de vapocraquage (et jusqu'à 90%)**
  - **Recours au power-to-olefin seulement dans S3**
  - **Substitution du naphta par du bionaphta dans tous les scénarios**
  - **Recours à du bioethanol-to-olefin (S1, S3 et S4) ou du power-to-methanol**