



Evaluation des impacts environnementaux de la production d'hydrogène par Analyse de Cycle de Vie



Joanna SCHLESINGER (she/her)

Centre Observation, Impacts, Energie

19 Janvier 2023

LE VÉHICULE HYDROGENE : ZÉRO ÉMISSIONS ?

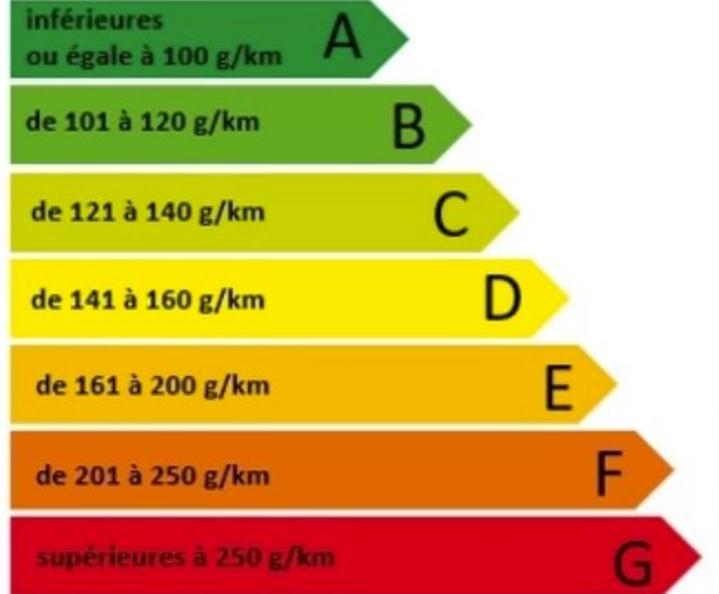
Mirai

L'HYDROGÈNE ET LA PILE À
COMBUSTIBLE. 0%
ÉMISSIONS

A 0g CO₂/km → 0 gCO₂/km



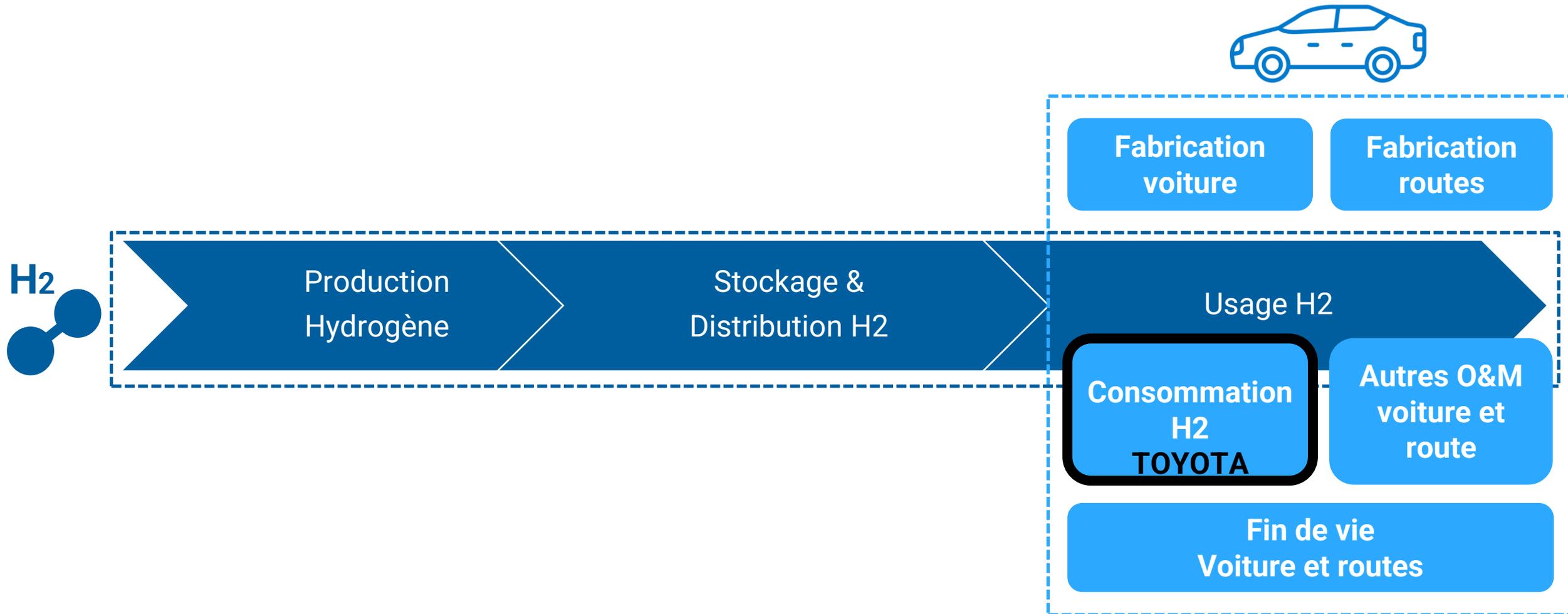
Emissions de CO₂ faibles



Emissions de CO₂ élevées

Source: Site Toyota, 2022

LE VÉHICULE HYDROGENE : ZÉRO ÉMISSIONS ?



LE VÉHICULE HYDROGENE : ZÉRO ÉMISSIONS ?

Mirai

L'HYDROGÈNE ET LA PILE À
COMBUSTIBLE. 0%
ÉMISSIONS

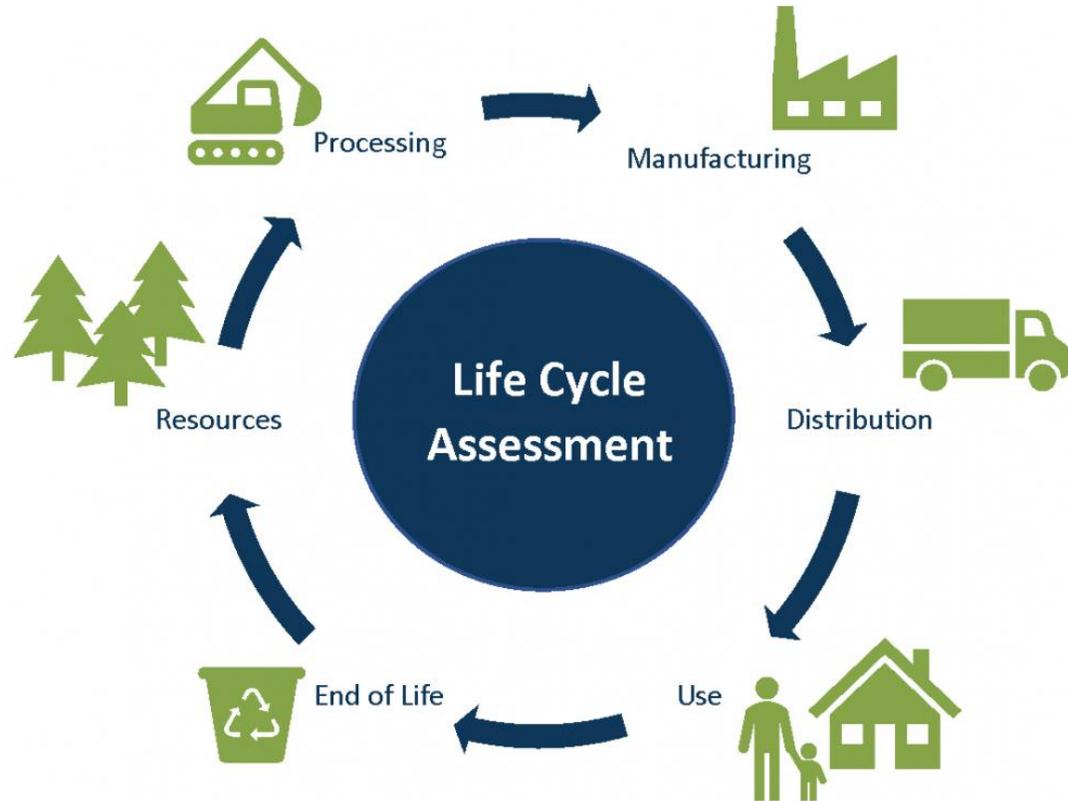
A 0g CO₂/km 0 gCO₂/km



- **Périmètre ?**
Phase de roulage de la voiture
- **Unité fonctionnelle ?**
km parcouru
- **Catégorie(s) d'impact ?**
Changement climatique

Source: Site Toyota, 2022

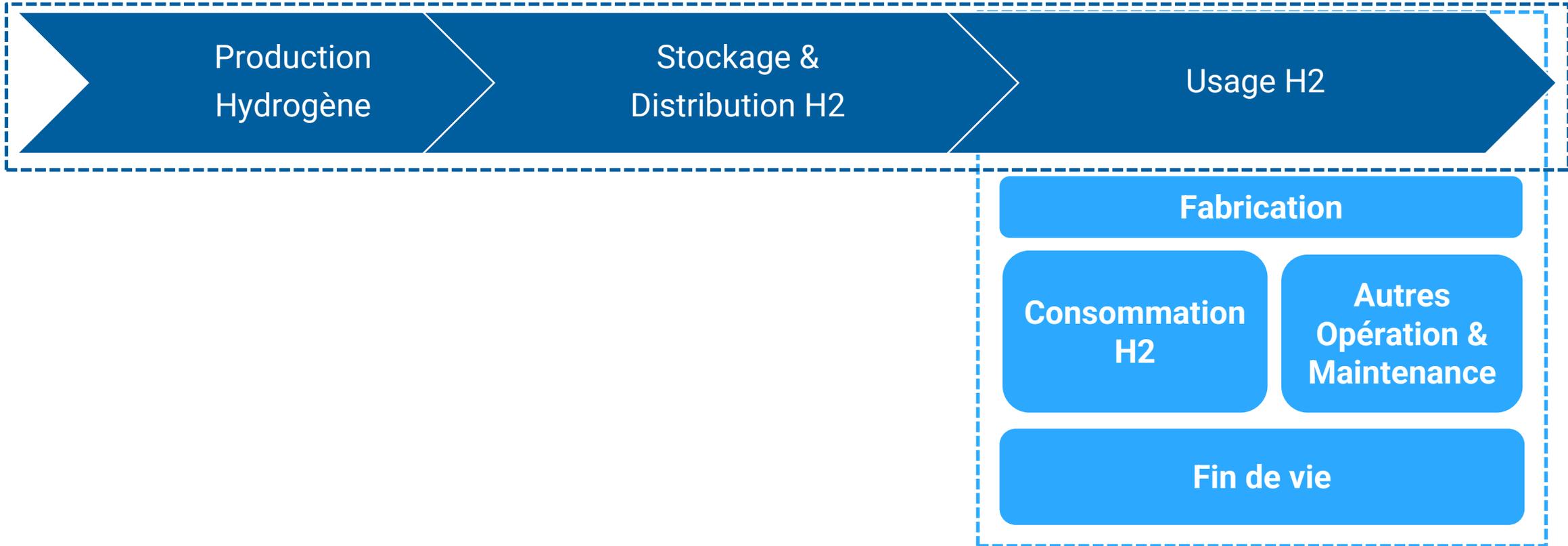
ANALYSE DE CYCLE DE VIE (ACV) LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)



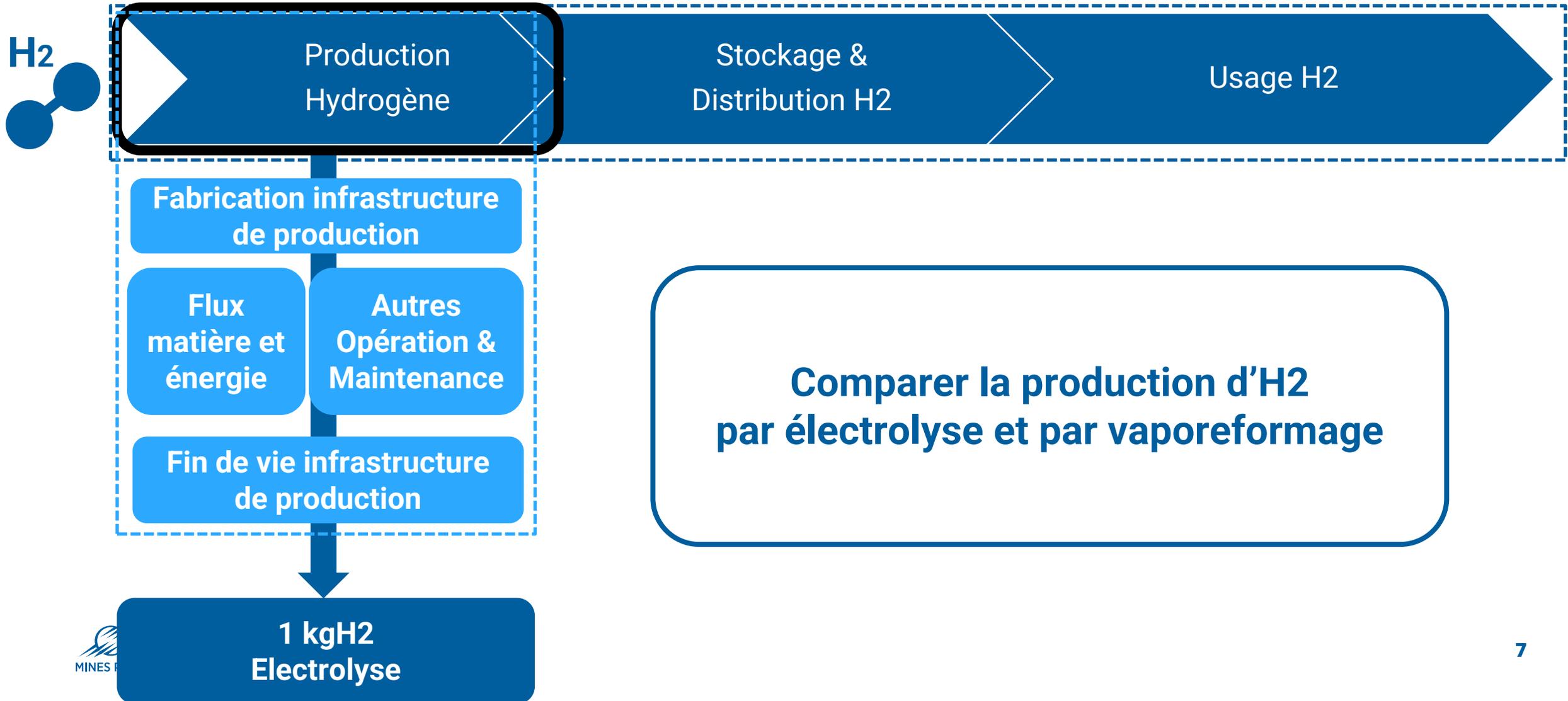
- **Outil / méthode**
- **Multicritère**
- **Quantitative**
- **Produit ou service**
- **Cycle de vie**
- **Normée (ISO 14040 et 14044)**

PÉRIMÈTRE : PRODUCTION D'HYDROGÈNE

H₂

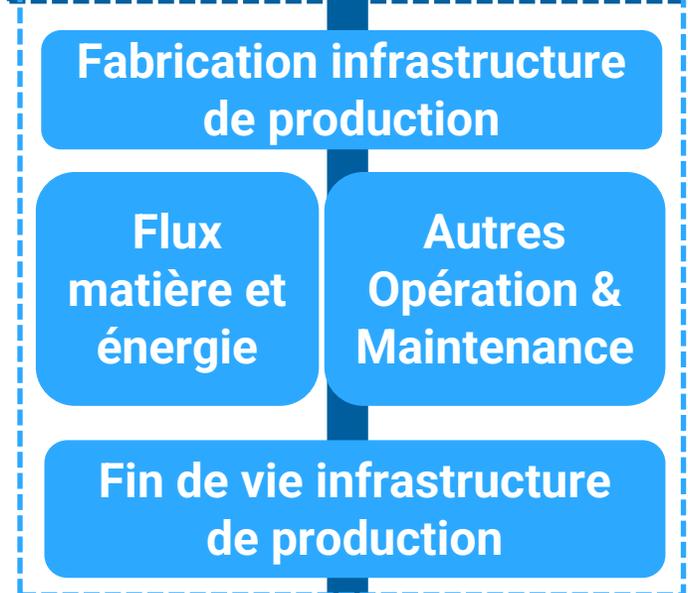


PÉRIMÈTRE : PRODUCTION D'HYDROGÈNE

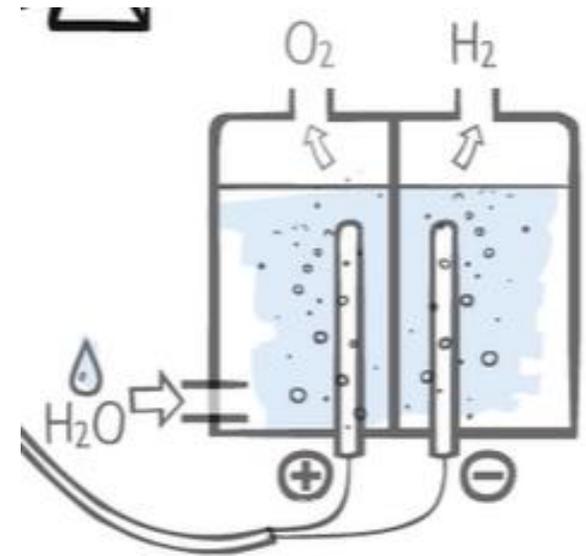


PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR ELECTROLYSE

H₂

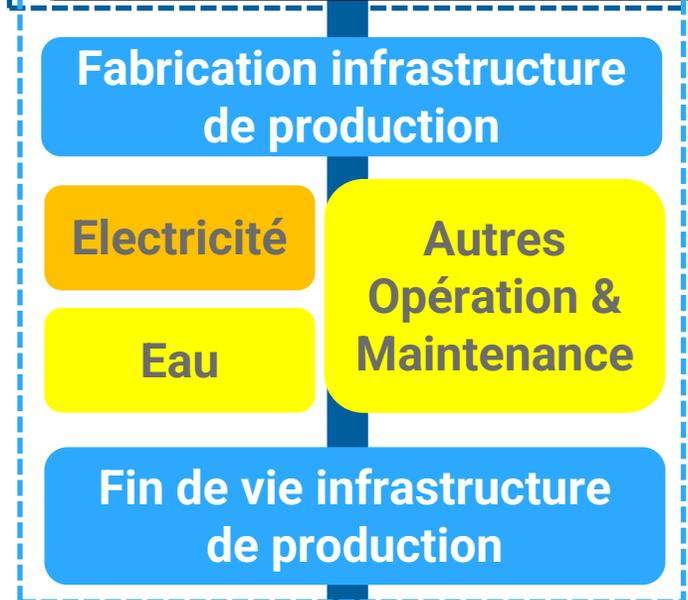


Electrolyse



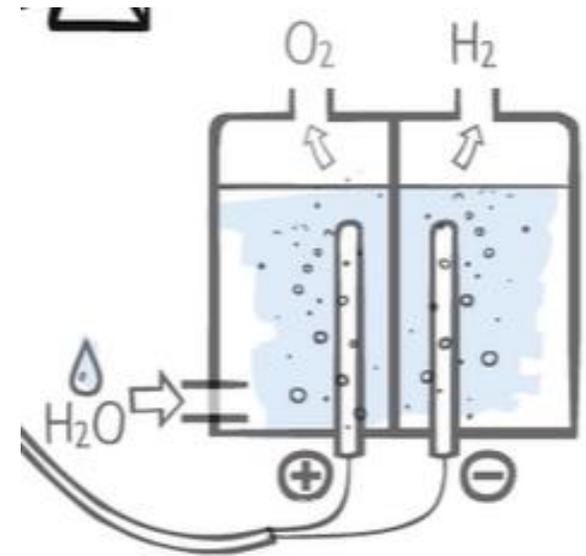
PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR ELECTROLYSE

H₂

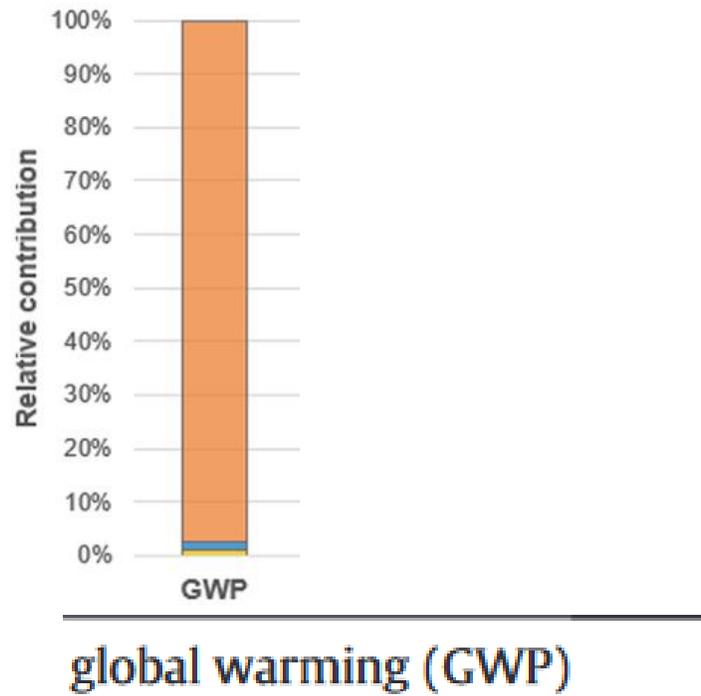
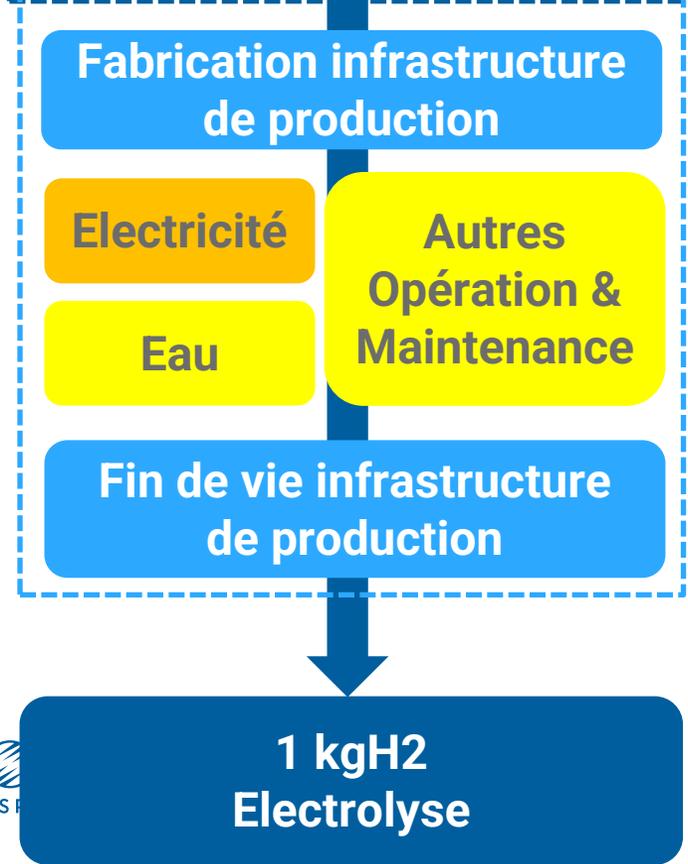


1 kgH₂
Electrolyse

Electrolyse

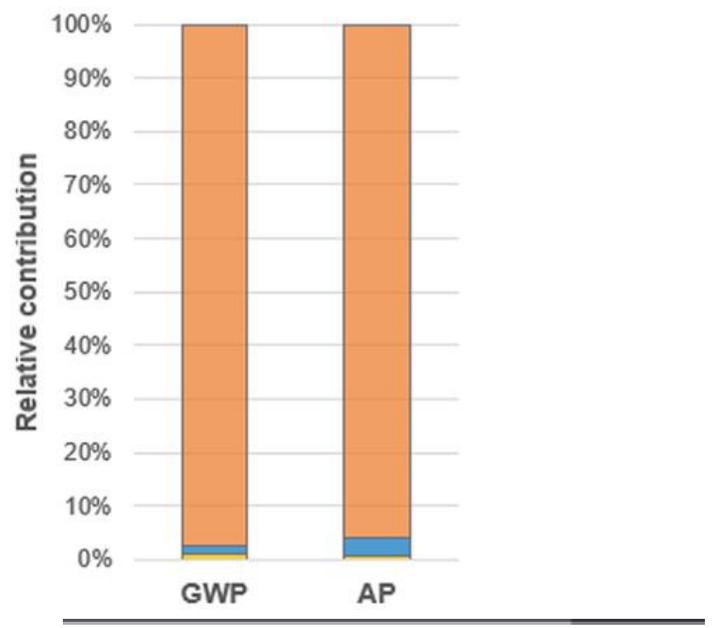
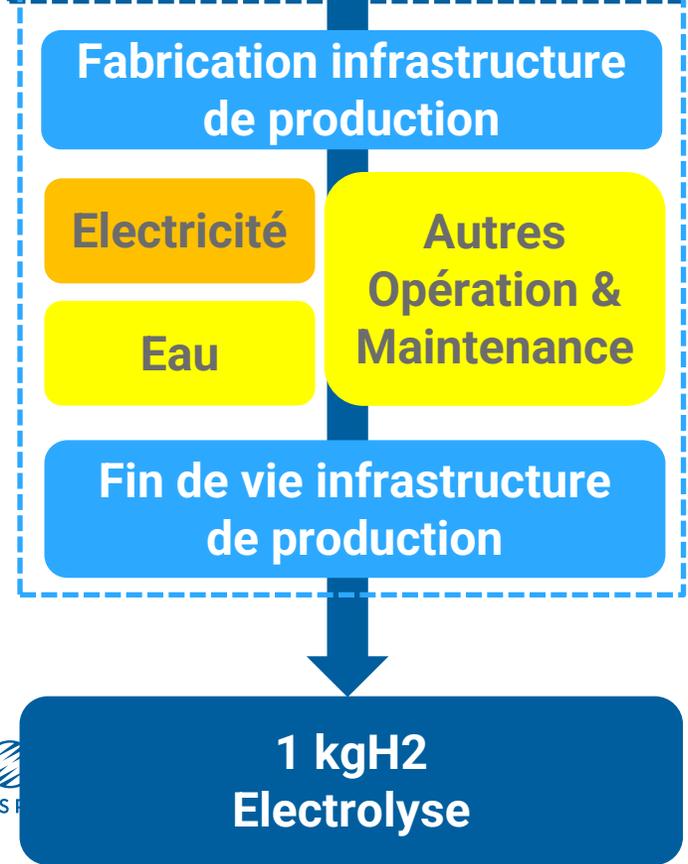


PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR ELECTROLYSE



UF : 1 kg of H₂ with 99.9% (vol.) purity at 200 bar and 25 °C, Electrolyse alcalyne à partir d'électricité éolienne

PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR ELECTROLYSE



global warming (GWP)
acidification (AP)

UF : 1 kg of H₂ with 99.9% (vol.) purity at 200 bar and 25 °C, Electrolyse alcalyne à partir d'électricité éolienne

PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR ELECTROLYSE



PRODUCTION H2 par électrolyse

les impacts environnementaux proviennent majoritairement de la **production d'électricité**

1 kgH2
Electrolyse

GWP AP
global warming (GWP)
acidification (AP)

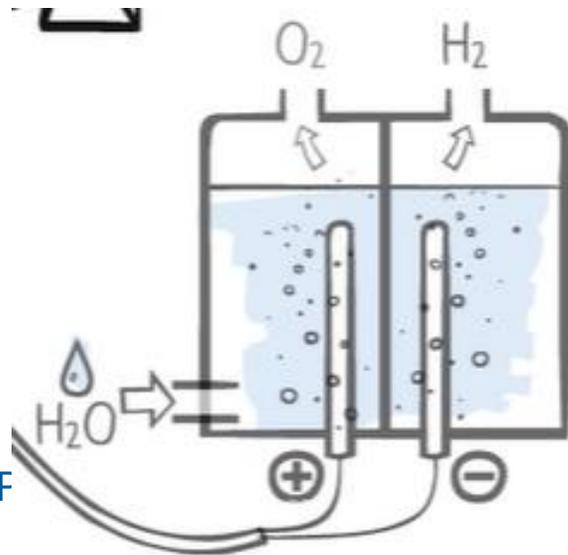
PRODUCTION H₂ PAR ELECTROLYSE ET VAPOREFORMAGE

H₂

Electrolyse

Avec électricité bas carbone

Electricité



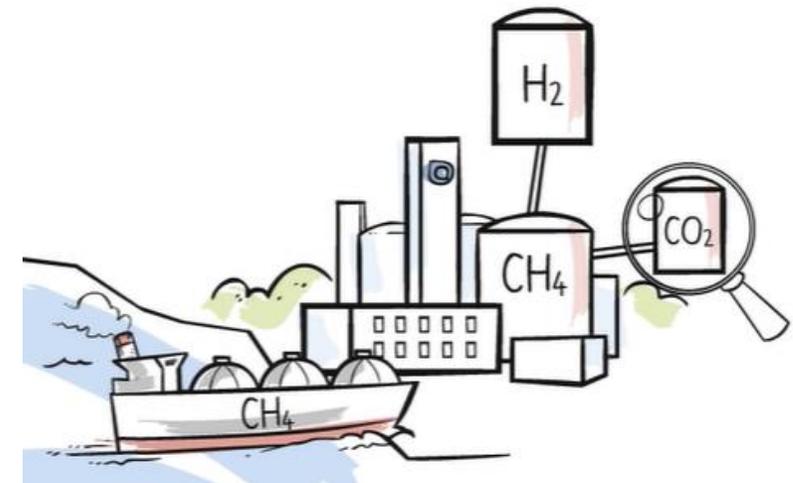
H₂

Vaporeformage

Vapeur d'eau



Remarque : Réaction simplifiée !



PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR VAPOREFORMAGE (SMR)

Grey H₂
Steam Methane reforming (SMR)

Blue H₂
SMR avec Carbon Capture and Storage (CCS)



- Climate change [kg CO₂-eq/kg H₂]
- Acidification [mol H⁺ eq/kg H₂]
- HH non-cancer [CTUh/kg H₂]
- HH cancer [CTUh/kg H₂]
- Ionising radiation [kg Bq U235 Eq/kg H₂]
- Minerals and Metals Depletion [kg Sb eq/kg H₂]

• ADEME 2020
<https://www.ademe.fr/analyse-cycle-vie-relative-a-lhydrogene>

PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR VAPOREFORMAGE (SMR)

Grey H₂

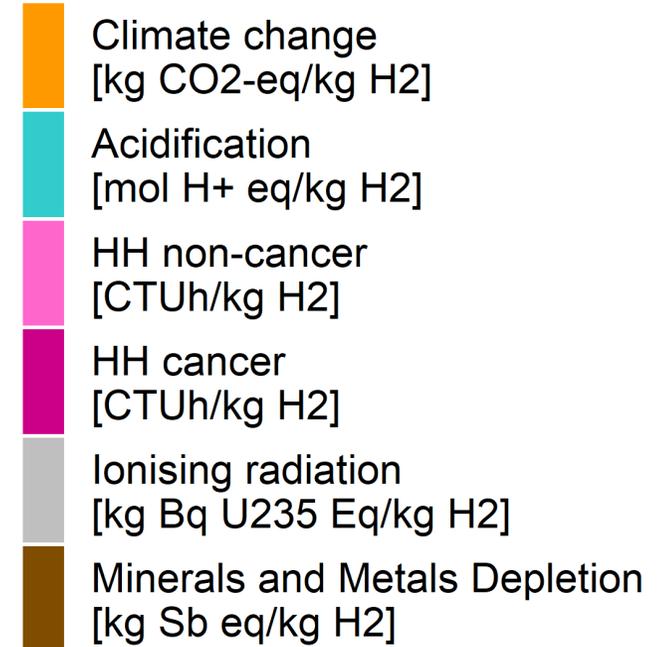
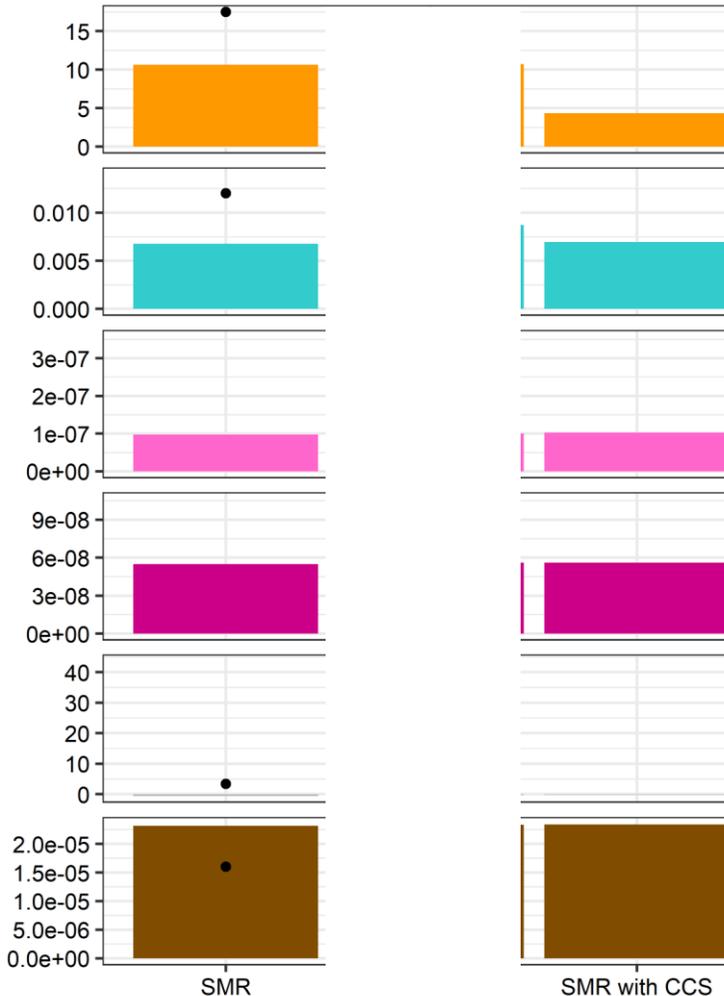
Blue H₂

Grey H₂

Steam Methane reforming (SMR)

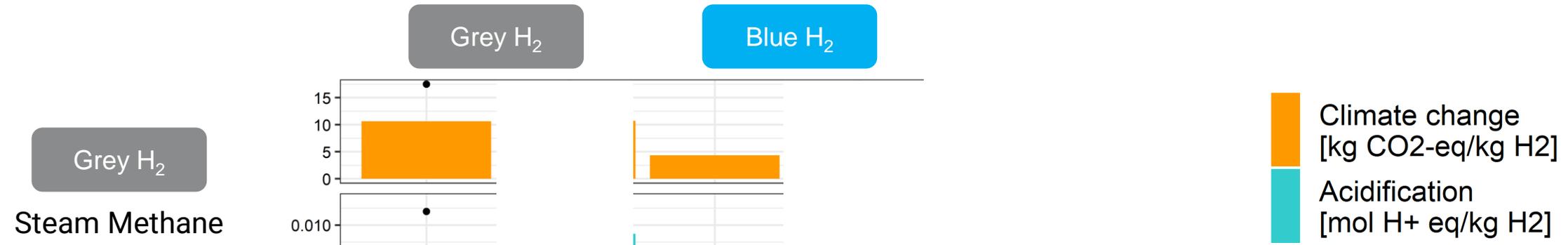
Blue H₂

SMR avec Carbon Capture and Storage (CCS)



• ADEME 2020
<https://www.ademe.fr/analyse-cycle-vie-relative-a-lhydrogene>

PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR VAPOREFORMAGE (SMR)



Steam Methane
ref

PRODUCTION H₂ par vaporeformage
 Pour l'impact changement climatique,
 préciser avec ou sans Carbon Capture and Storage



• ADEME 2020
<https://www.ademe.fr/analyse-cycle-vie-relative-a-lhydrogene>

PRODUCTION D'H2 : ELECTROLYSE VS VAPOREFORMAGE

Grey H₂

Blue H₂

Electrolyse
Green H₂

Grey H₂

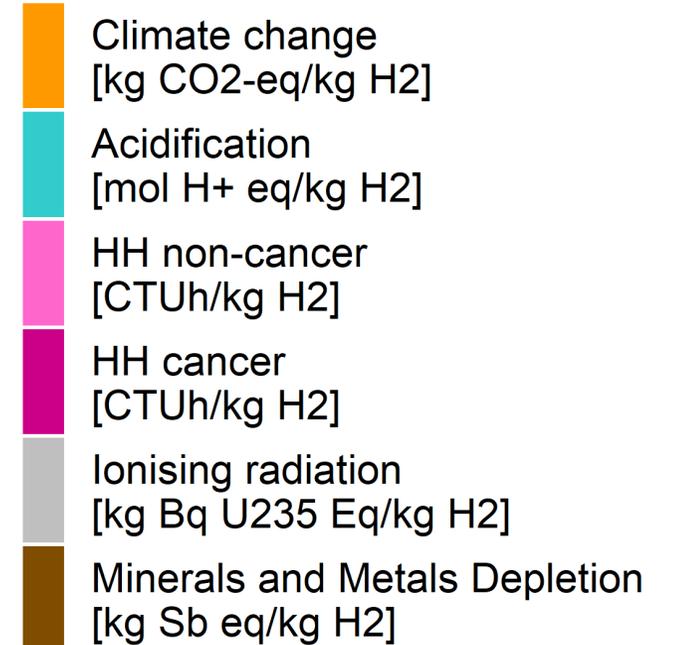
Steam Methane
reforming (SMR)

Blue H₂

SMR avec Carbon
Capture and
Storage (CCS)

Electrolyse
H₂

Mix électrique
français 2020
(bas carbone)



- ADEME 2020
<https://www.ademe.fr/analyse-cycle-vie-relative-a-lhydrogene>

PRODUCTION D'H2 : ELECTROLYSE VS VAPOREFORMAGE

Grey H₂
 Steam Methane
 reforming (SMR)

Blue H₂

SMR avec Carbon
 Capture and
 Storage (CCS)

**Electrolyse
 H₂**

**Mix électrique
 français 2020
 (bas carbone)**



- Climate change [kg CO₂-eq/kg H₂]
- Acidification [mol H⁺ eq/kg H₂]
- HH non-cancer [CTUh/kg H₂]
- HH cancer [CTUh/kg H₂]
- Ionising radiation [kg Bq U235 Eq/kg H₂]
- Minerals and Metals Depletion [kg Sb eq/kg H₂]

• ADEME 2020
<https://www.ademe.fr/analyse-cycle-vie-relative-a-lhydrogene>

PRODUCTION D'H2 : ELECTROLYSE VS VAPOREFORMAGE

Grey H₂

Blue H₂

Electrolyse
Green H₂

Grey H₂

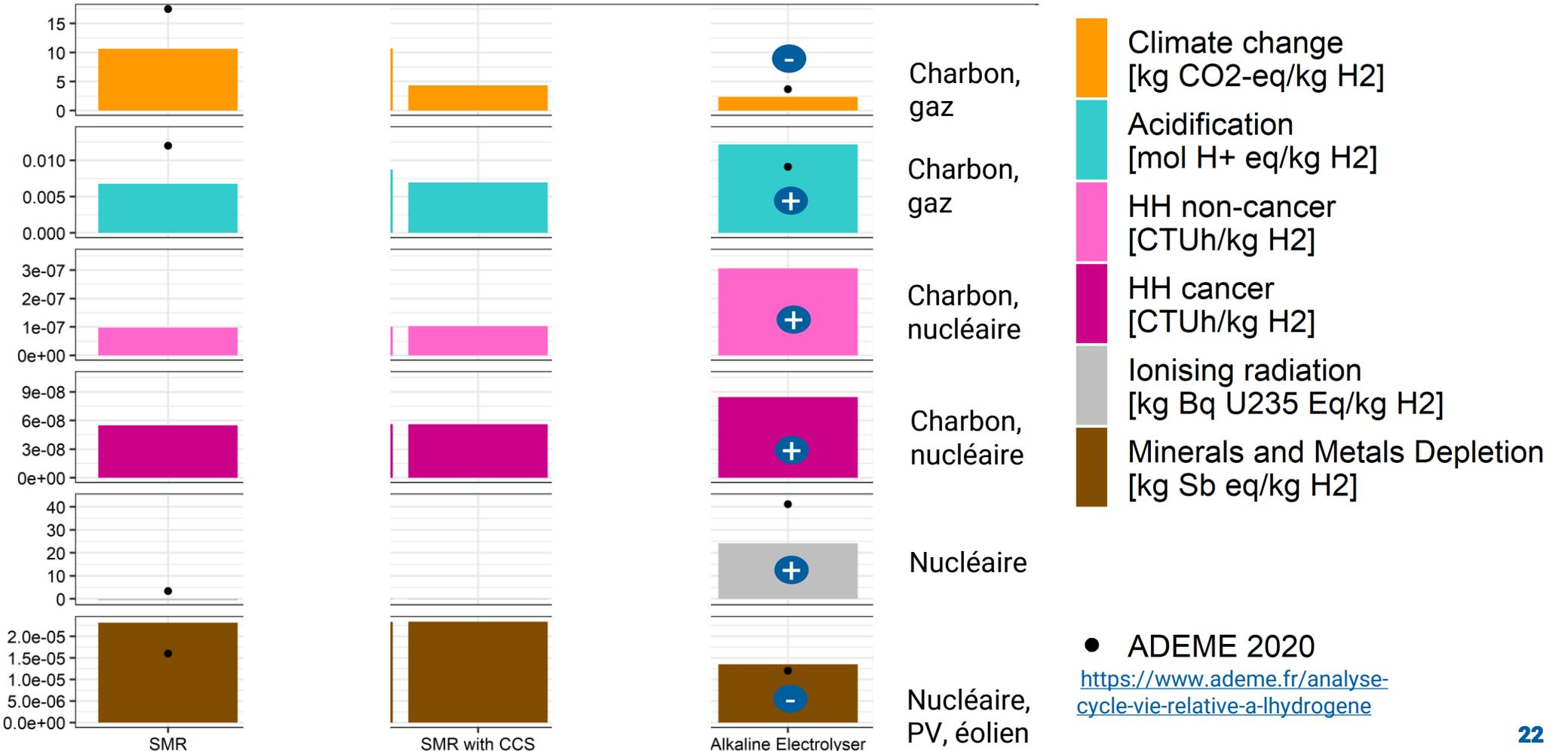
Steam Methane
reforming (SMR)

Blue H₂

SMR avec Carbon
Capture and
Storage (CCS)

Electrolyse
H₂

Mix électrique
français 2020
(bas carbone)



PRODUCTION D'H2 : ELECTROLYSE VS VAPOREFORMAGE

Electrolyse

- **Impact changement climatique**

La production par électrolyse est favorable sous réserve d'avoir une électricité bas carbone en entrée.

« Hydrogène bas carbone » (taxonomie européenne) : 3 kg CO2 eq/kg H2

- **Autres impacts :**

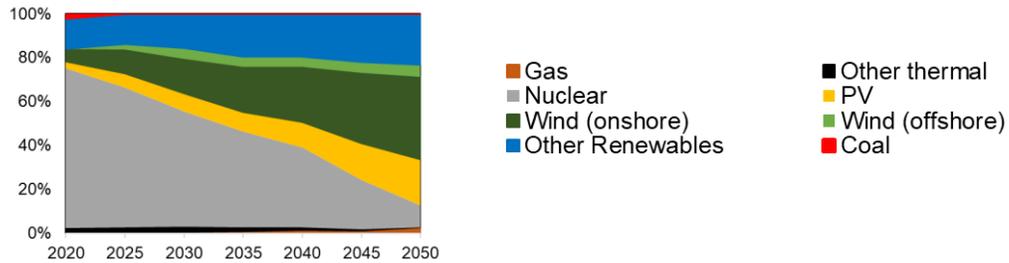
Dépendent du mix électrique en entrée

Warning pour l'électricité bas carbone :

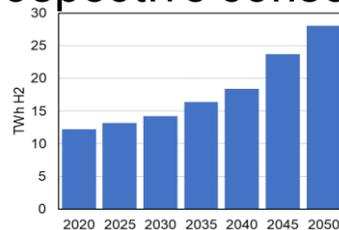
- Sur « raréfaction des ressources minérales » (PV, éolien)
- Sur « radiations ionisantes » (nucléaire)

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX PROSPECTIFS DE LA FILIERE HYDROGENE (AVEC ISIGE)

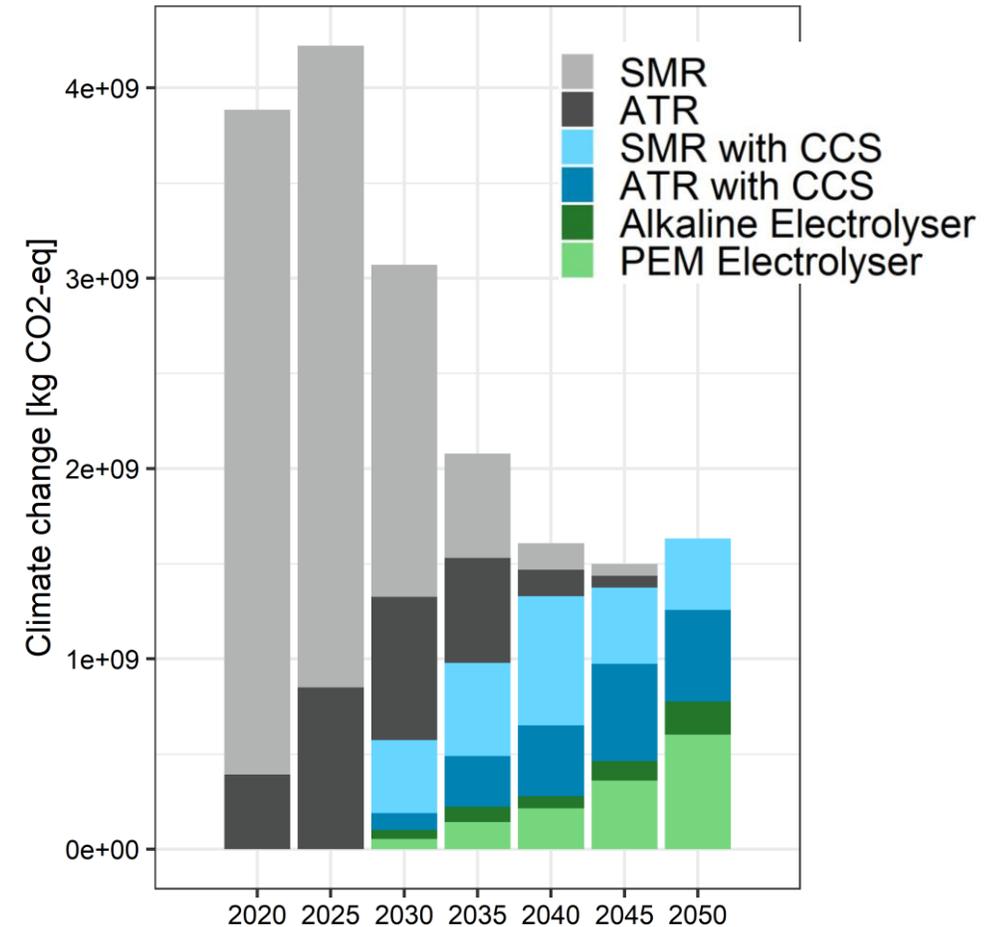
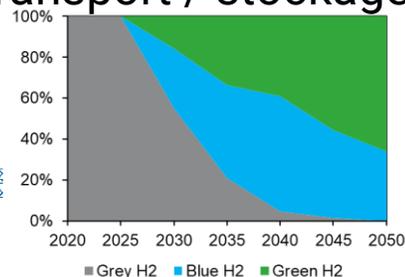
- Prospective mix électrique



- Prospective consommation H2



- Prospective mode production H2 (+ transport / stockage)



IMPORTANT POUR COMPRENDRE LES RESULTATS D'ACV: SAVOIR DE QUOI ON PARLE

Mirai

L'HYDROGÈNE ET LA PILE À
COMBUSTIBLE. 0%
ÉMISSIONS

0 gCO₂/km



- **De quoi mesure-t-on les impacts ?**
 - Périmètre
 - Unité fonctionnelle
- **Quels impacts sont étudiés ?**
 - Pas uniquement le changement climatique



Merci !

joanna.schlesinger@minesparis.psl.eu

COMPLEMENTS

- Impacts des étapes de stockage et distribution de l'H2 ?



- Comment prendre en compte l'évolution des technologies de production d'H2 mais aussi d'électricité, gaz...?
- Est-ce que les fuites d'H2 dans l'atmosphère contribuent au changement climatique ?
- Approche conséquentielle : comparer l'usage de l'hydrogène aux solutions alternatives pour chaque usage

QUELQUES RESSOURCES SUR L'ACV DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES ET HYDROGÈNE

- RTE, 2021, Futurs énergétiques 2050 :
 - + Chapitre 12, [Analyse environnementale](#) (lire intro page 1 à 4)
 - + Chapitre 9, [Hydrogène](#)
- ADEME, 2020, [Analyse de Cycle de Vie relative à l'hydrogène](#)
- Carbone 4, 2022, [Filière hydrogène et décarbonation \(webinaire\)](#) > attention seulement impact carbone considéré

QUELQUES RESSOURCES SUR LES RECHERCHES MENÉES PAR O.I.E. SU L'ACV

- Bibliothèques de calcul Python open source: [Brightway2](#) et [lca_algebraic](#)
- Douziech et al. 2021, [Publication sur les modèles simplifiés d'ACV](#) et outil en ligne d'ACV simplifiée pour Géothermie ([GEO-ENVI](#))
- Outil en ligne d'ACV pour électricité éolienne au Danemark ([LCA WIND DK](#)) et publication associée ([Besseau et al., 2019](#))
- [Thèse Romain Besseau](#), 2019 : Analyse de cycle de vie de scénarios énergétiques intégrant la contrainte d'adéquation temporelle production-consommation