



| PSL  | PERSEE

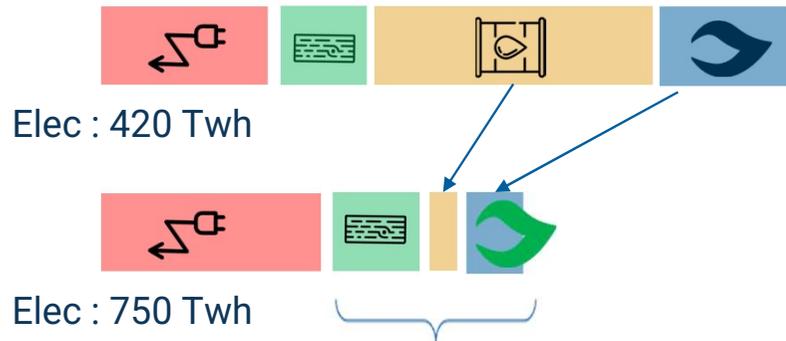
Compétition et synergie entre vecteurs dans la décarbonation de l'industrie

Robin GIRARD – Mines Paris PSL – Centre PERSEE

www.robingirard.eu

25 Avril IEEE – MINES Paris

CARBONE DURABLE VS ELECTRIFICATION DIRECTE

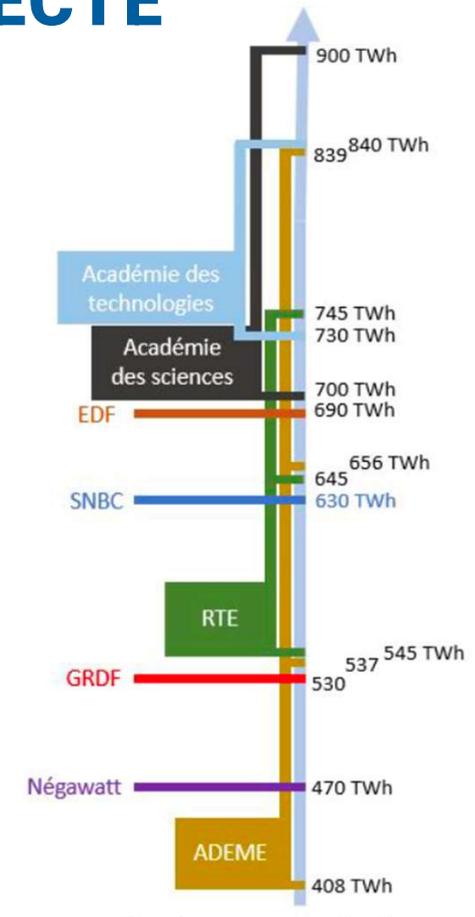


Carbone durable, un gisement limité :

- biomasse limitée

Biogaz Biocarburant Biomasse bois

- besoin élec pour reconstituer les molécules carbonées,
Difficulté à déployer assez vite de la prod élec bas carbone



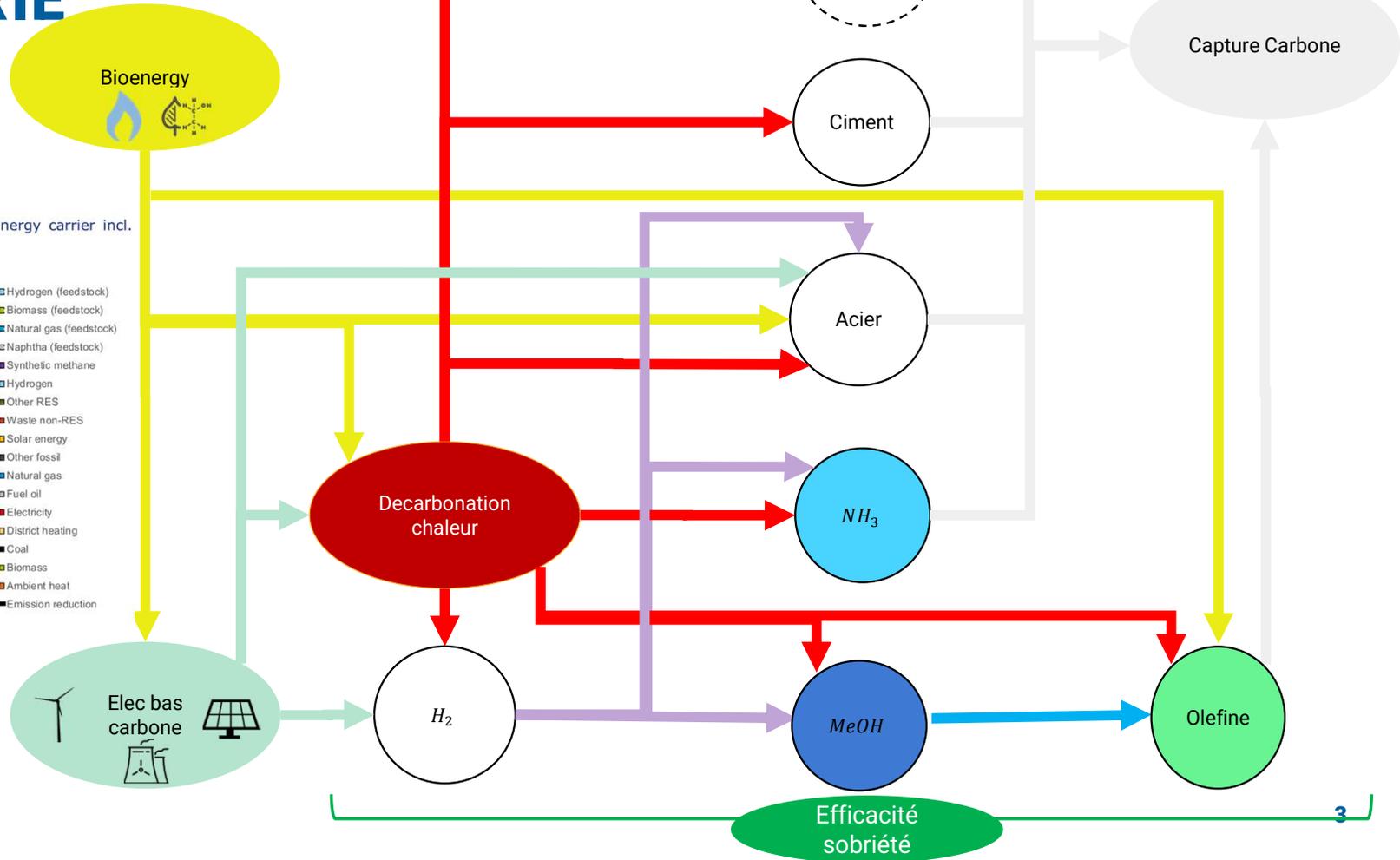
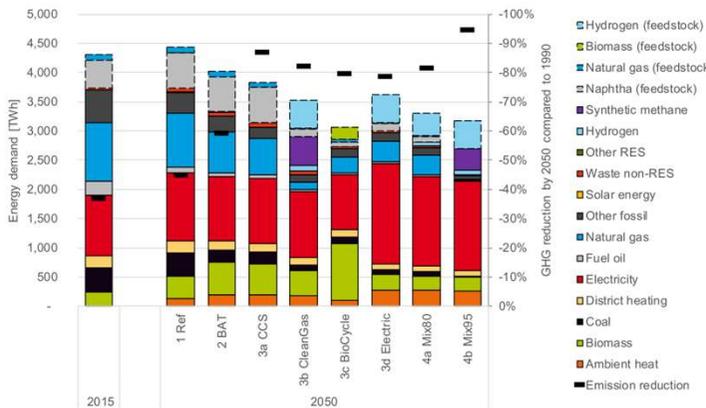
Différents scénarios de volumes élec 2050

ELECTRIFICATION DE L'INDUSTRIE

Industrie ~100MT 25% du national
!!! Attention aux importations !!!



Table 0-3 Total industrial energy demand by scenario and energy carrier incl. feedstocks and final energy for 2050 (EU-28)



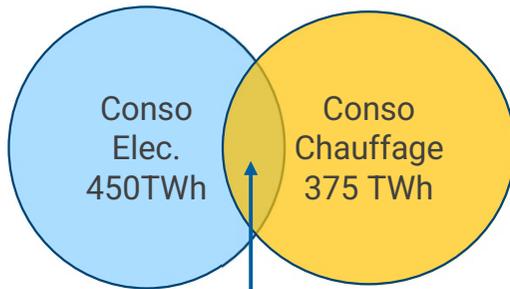
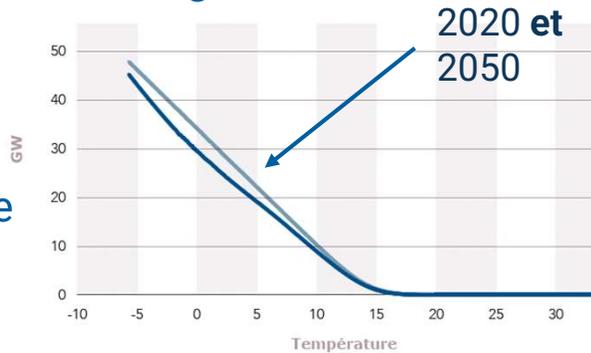
Quel niveau d'électrification?
Sujet assez ouvert

VARIABILITÉ FUTURE SUR LE SYSTÈME ÉLECTRIQUE

Consommation de chauffage :

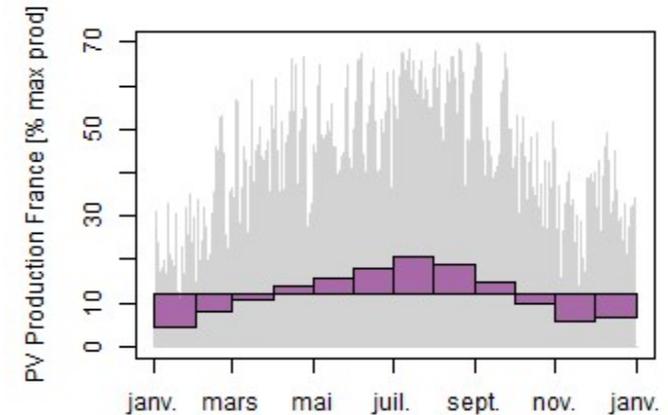
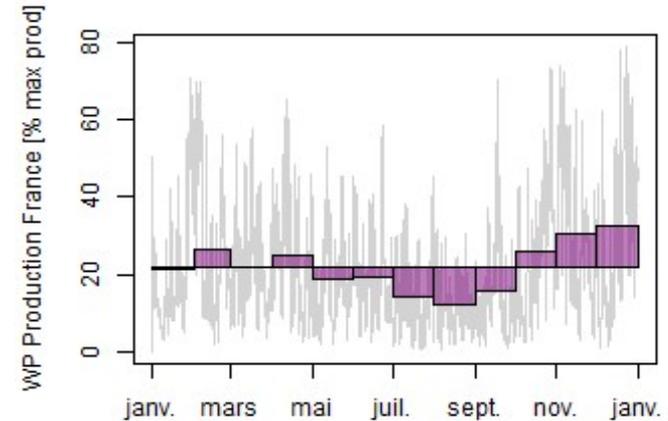
+ 40 GW

40% de la pointe électrique

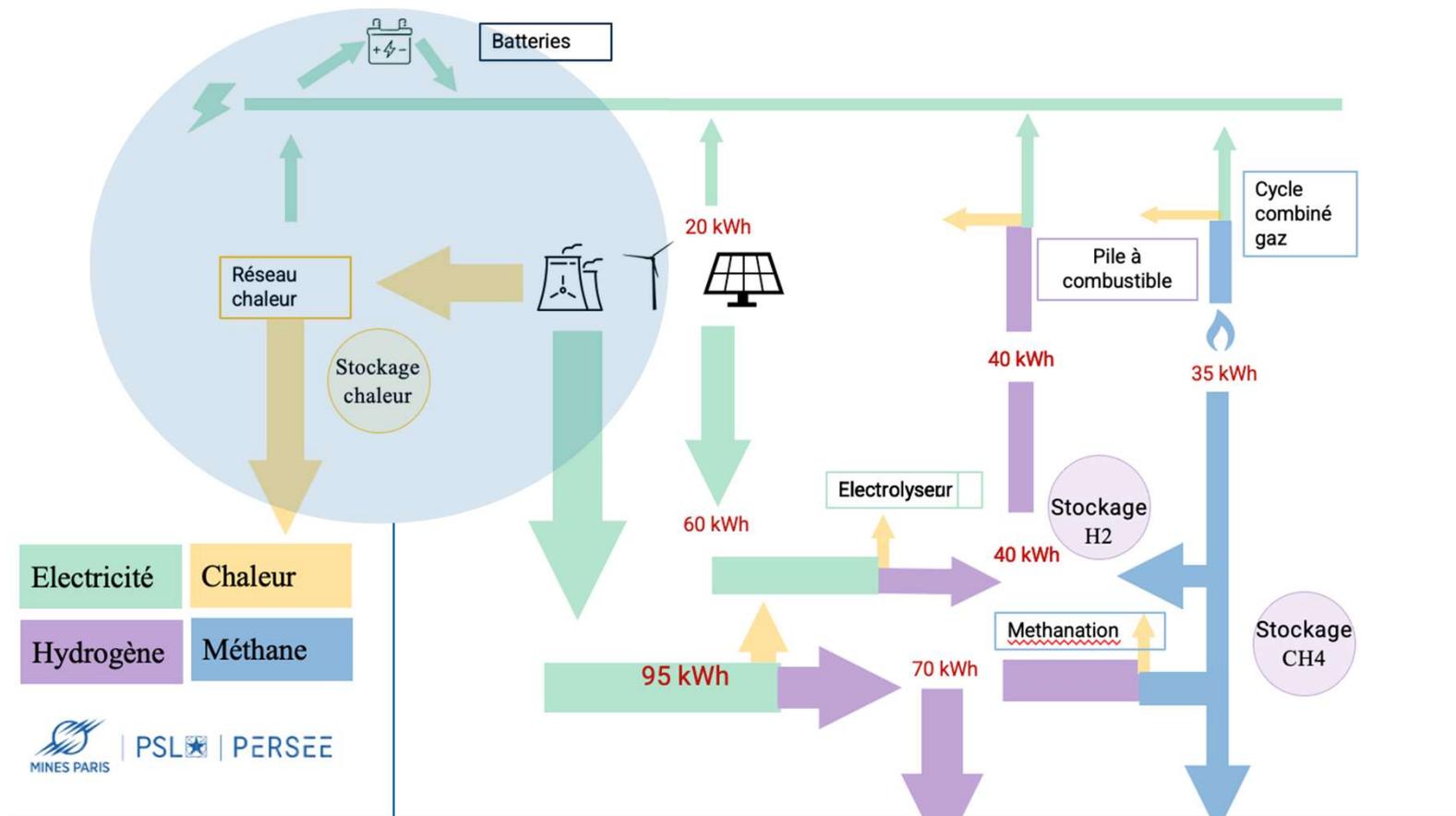


Chauffage élec. 70 TWh
15% de l'élec consommée
18% du besoin de chauffage

Energies renouvelables variables :



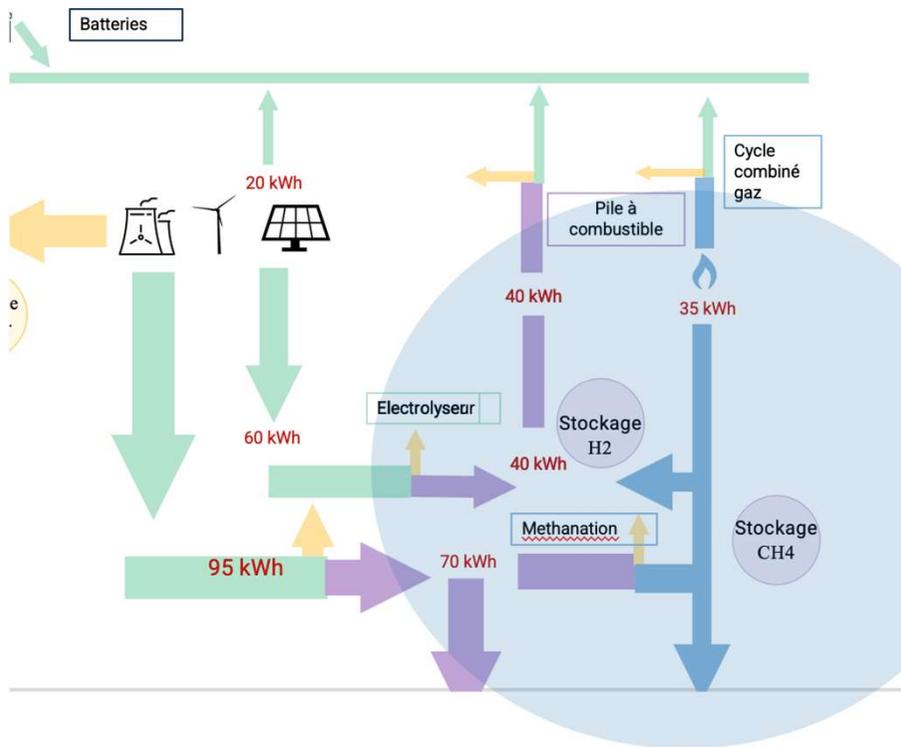
FLEXIBILITÉ DEMAIN : COUPLAGE DES SYSTÈMES



Multi-energy system operation optimisation at EU scale
Soutenance prévue décembre 2025
Maxime Vrain

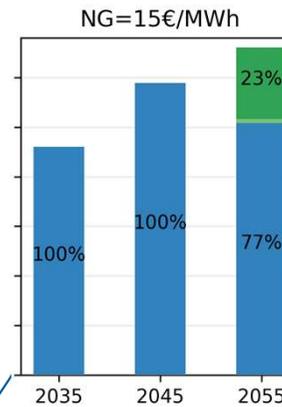


COMPETITION : BLUE VS GREEN



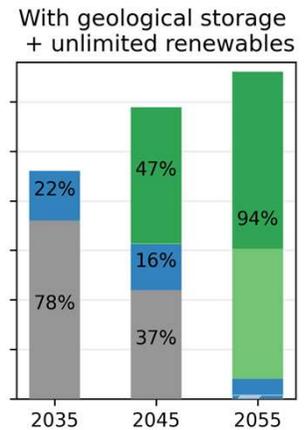
Blue

- Cheap CO₂ treatment
- Cheap biomethane
- Cheap natural gas
- Slow decrease of electrolysis CAPEX



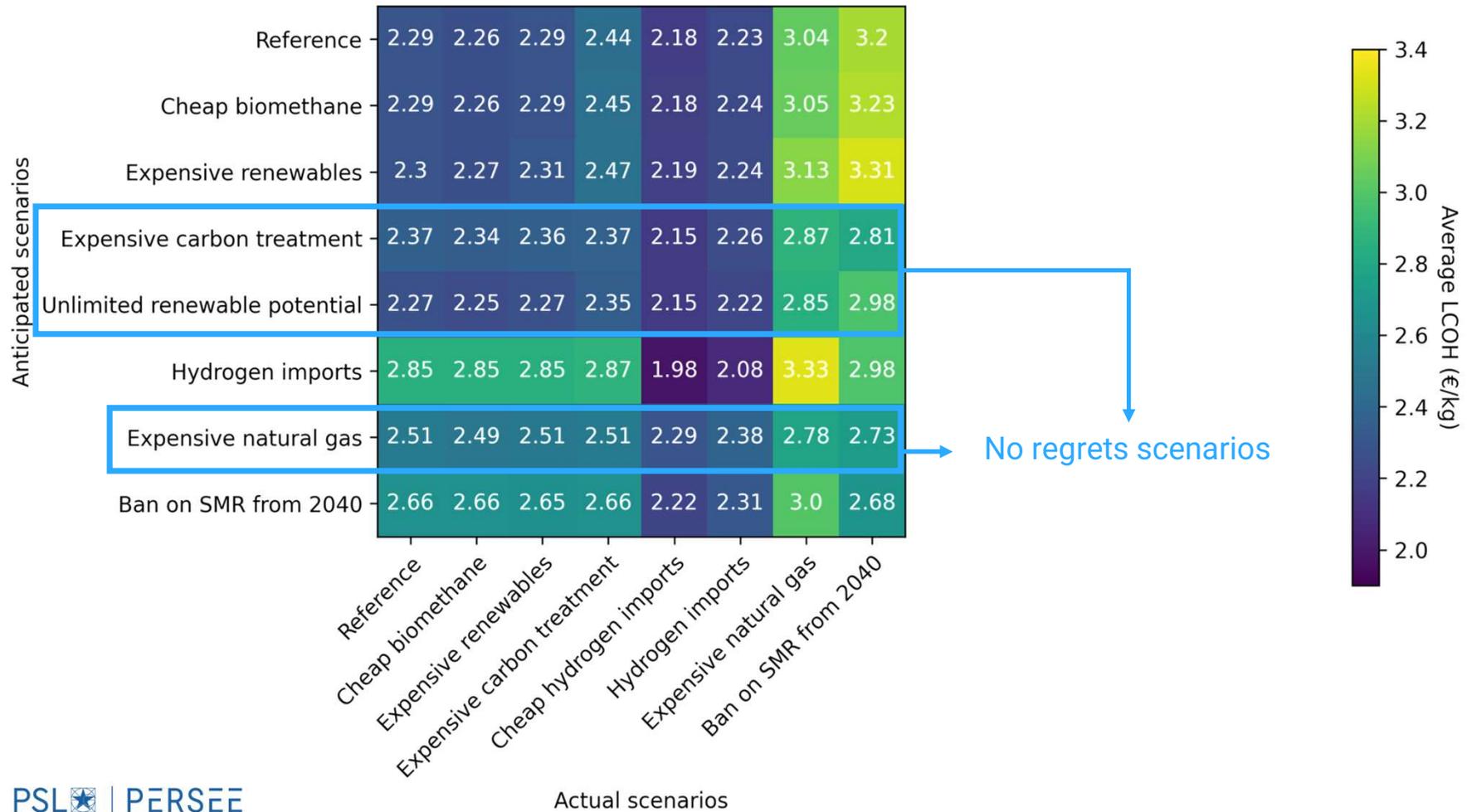
« Green »

- Fast decrease of electrolysis CAPEX
- High renewable potential
- Geological storage
- Expensive natural gas



Anaelle Jodry

GREEN + DEDICATED RES IS MORE ROBUST



Anaëlle Jodry

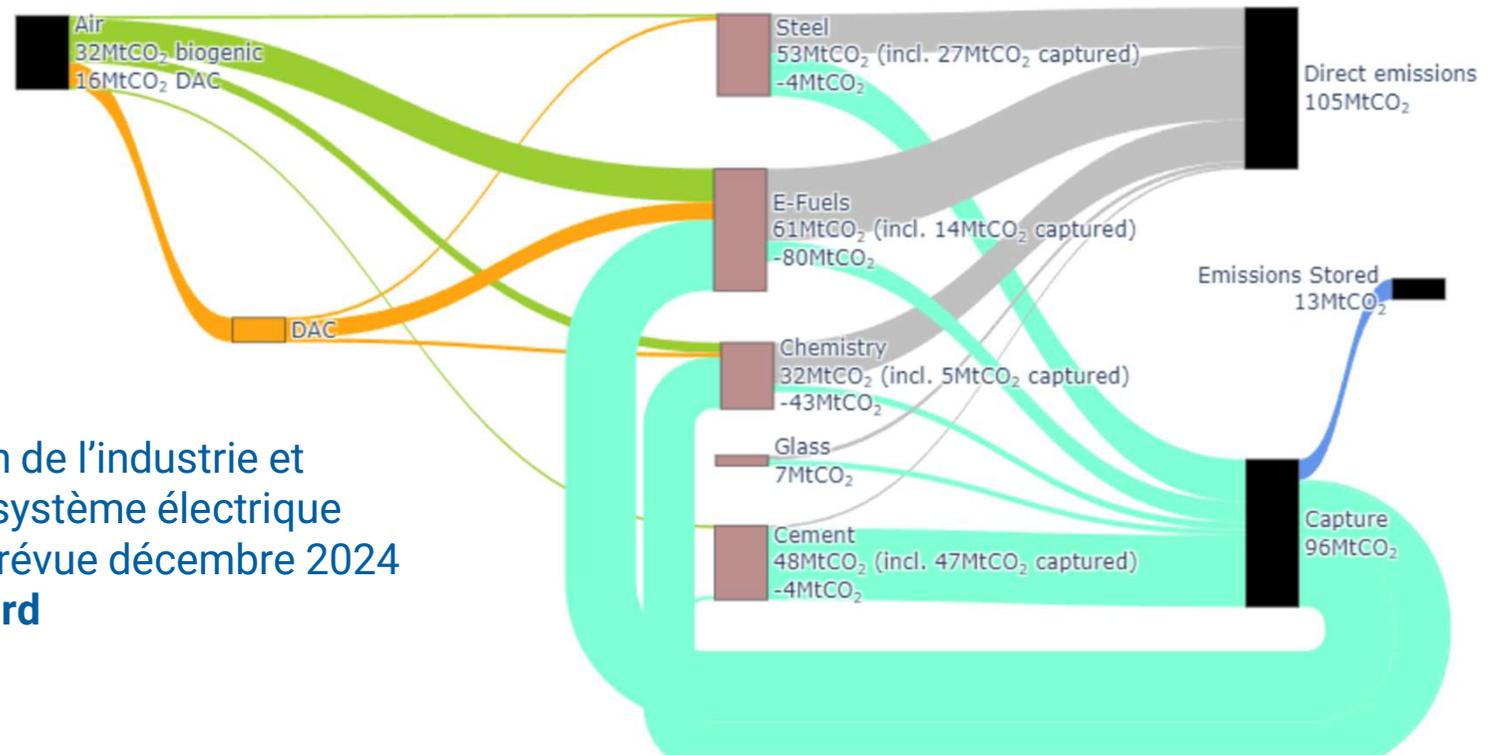
AIR LIQUIDE
2023



PSL | PERSEE

Actual scenarios

COUPLAGE AU DELÀ DES VECTEURS : CO2



2024

Décarbonation de l'industrie et impact sur le système électrique
Soutenance prévue décembre 2024
Quentin Raillard

BLEU-VERT – COOPÉRATION

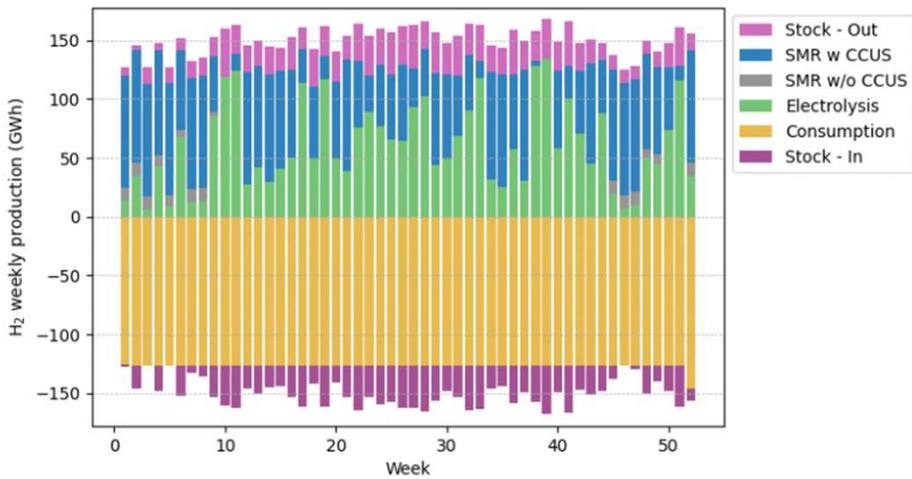


Figure : Opération hebdomadaire sur le vecteur H2

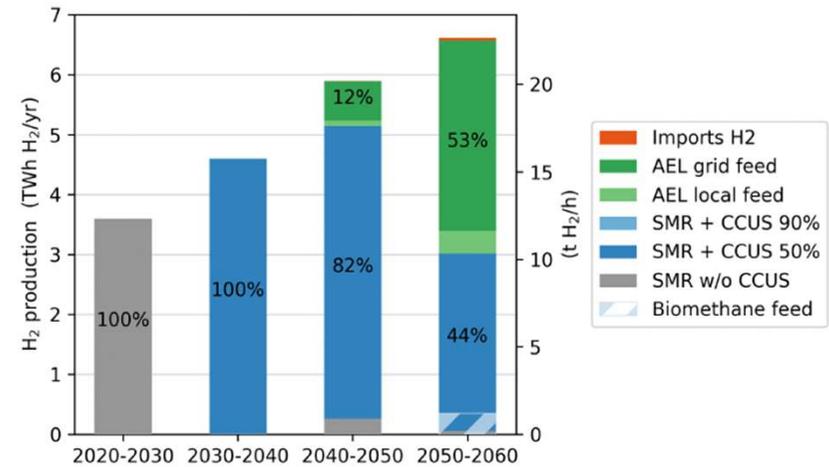


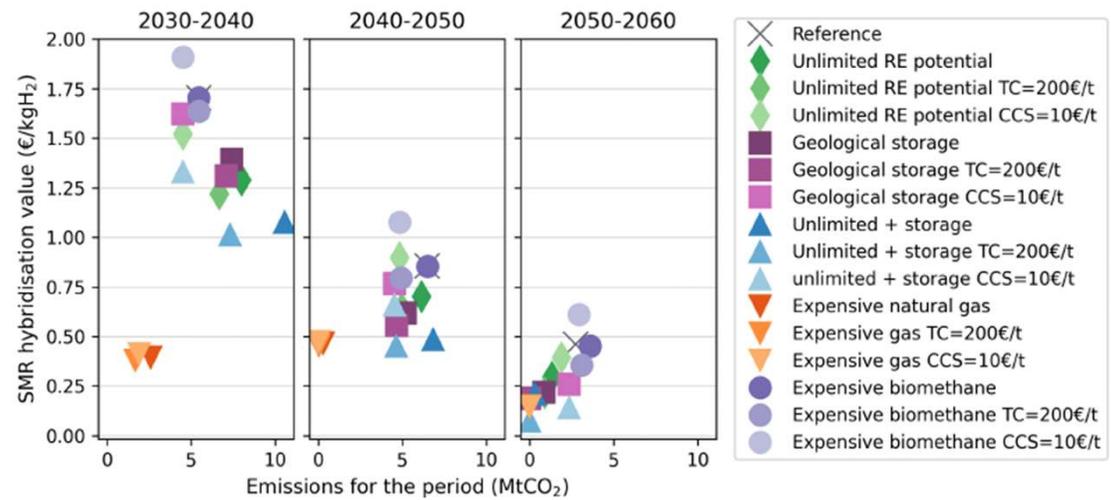
Figure : Evolution de la production d'H2 dans un scénario sans stockage sous-terrain



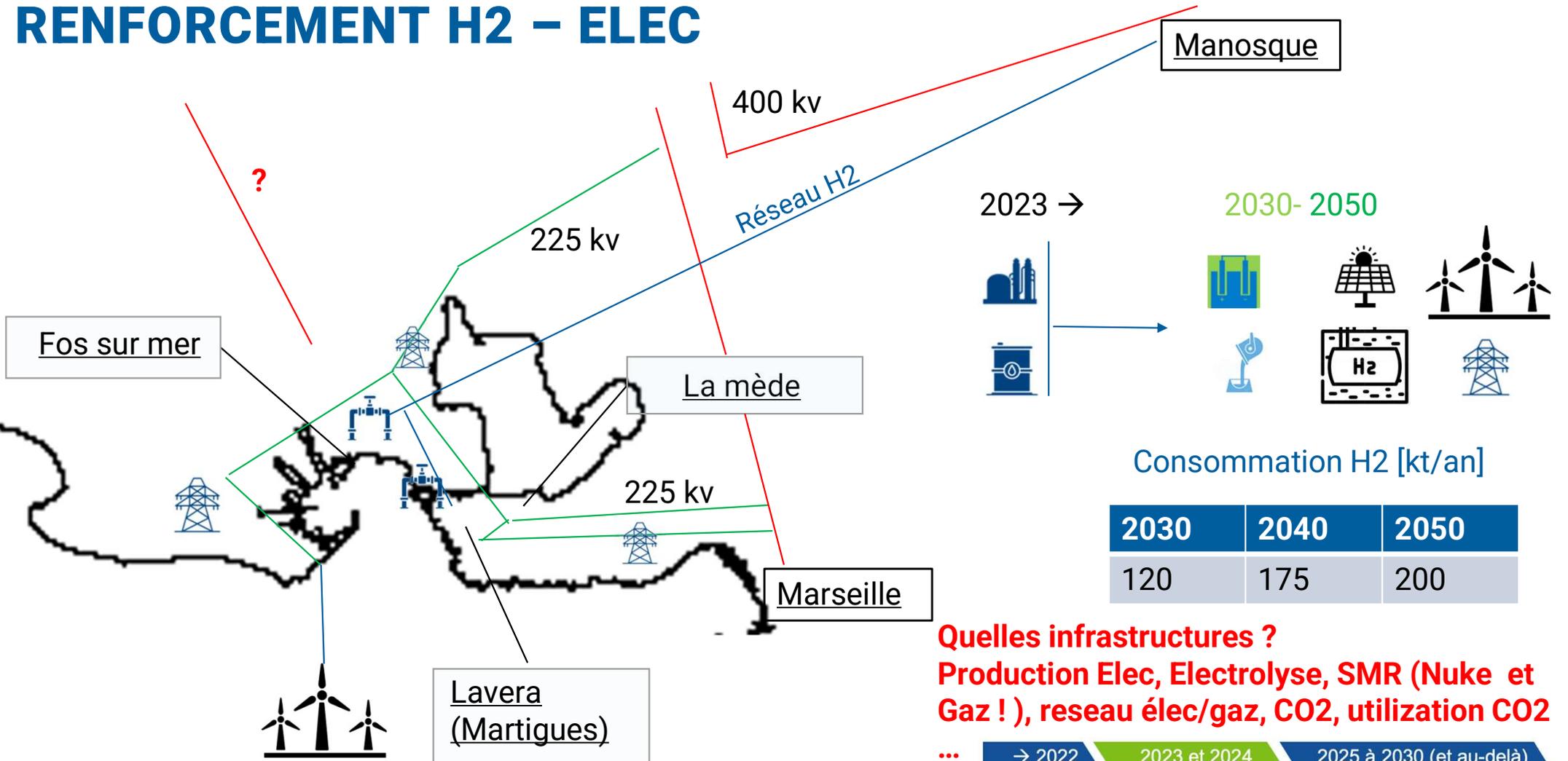
Anaëlle Jodry



Figure : Valeur de l'hybridation



RENFORCEMENT H2 – ELEC



COMPÉTITION : RACCORDEMENT H2 D'ÉOLIENNES OFFSHORE

Figure : 3 configurations étudiées

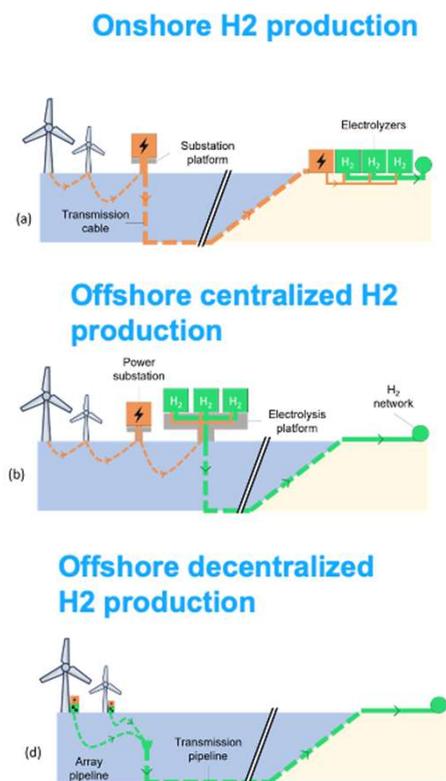
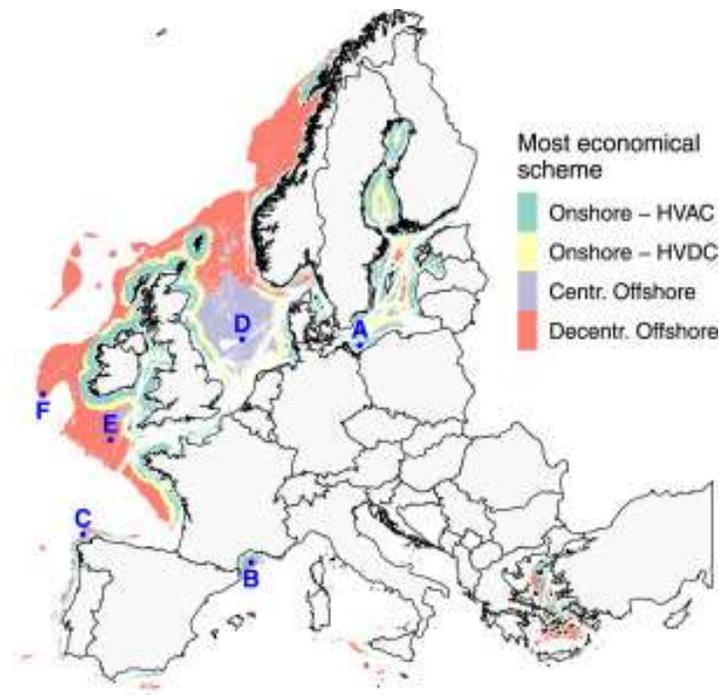
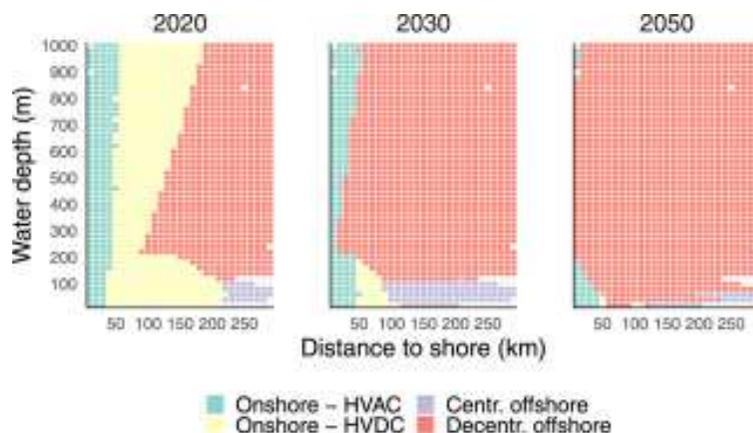


Figure : Configuration retenue le plus souvent en fonction de la profondeur et de la distance aux côtes



LES TRAVAUX DE RECHERCHE QUE NOUS MENONS DANS PLANETERR



Couplage
chaleur-
elec



H2 hub
industriel



Industrie



QUELQUES MESSAGES À RETENIR

**Le multi-énergie est
essentiel dans la transition**

- Il y a des arbitrages à faire sur le déploiement des infrastructures qui demandent de considérer plusieurs vecteurs en même temps.
- Dans l'opération de ces systèmes, des synergies fortes peuvent exister

Des outils à développer

- Dans le cadre du projet PlaneTerr, nous développons des outils open source pour permettre la planification des territoires industriels en intégrant les interactions entre ces vecteurs/ressources (e.g. CO2)

**Des mécanismes
économiques et politiques
à mettre en place**

- Pour que ces synergies voient le jour :
 - Coordination de la planification (comme dans les études Zibac ? S3REnR ?) entre les gestionnaires de réseau.
 - Un marché qui coordonne les acteurs (tarification au coût marginal ...)

Questions ? robin.girard@minesparis.psl.eu

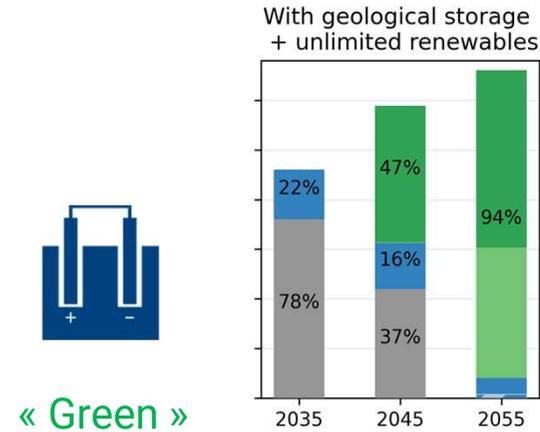
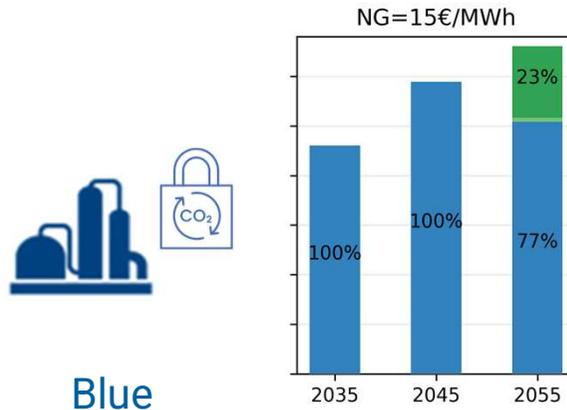
Ma page pro : www.robingirard.eu

Mon blog sur la transition : <https://www.energy-alternatives.eu/>



ANNEXES

BLUE VS GREEN – COMPETITION



- Cheap CO₂ treatment
- Cheap biomethane
- Cheap natural gas
- Slow decrease of electrolysis CAPEX

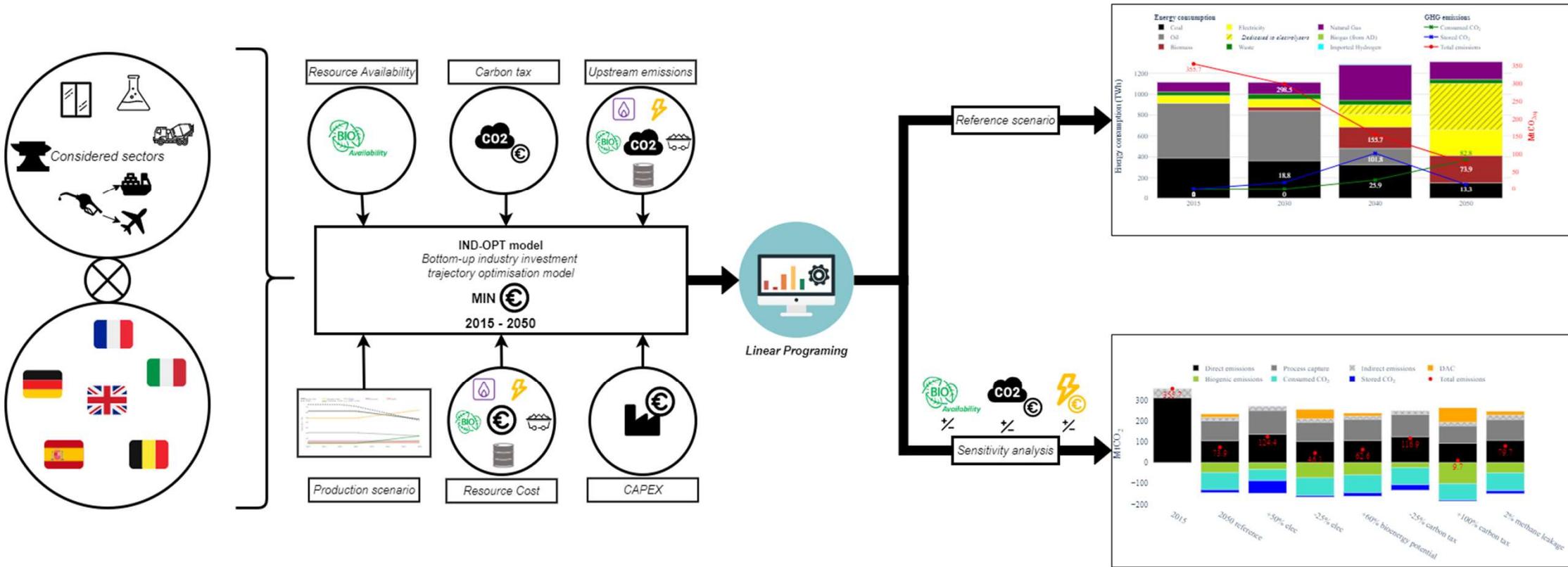
- Fast decrease of electrolysis CAPEX
- High renewable potential
- Geological storage
- Expensive natural gas



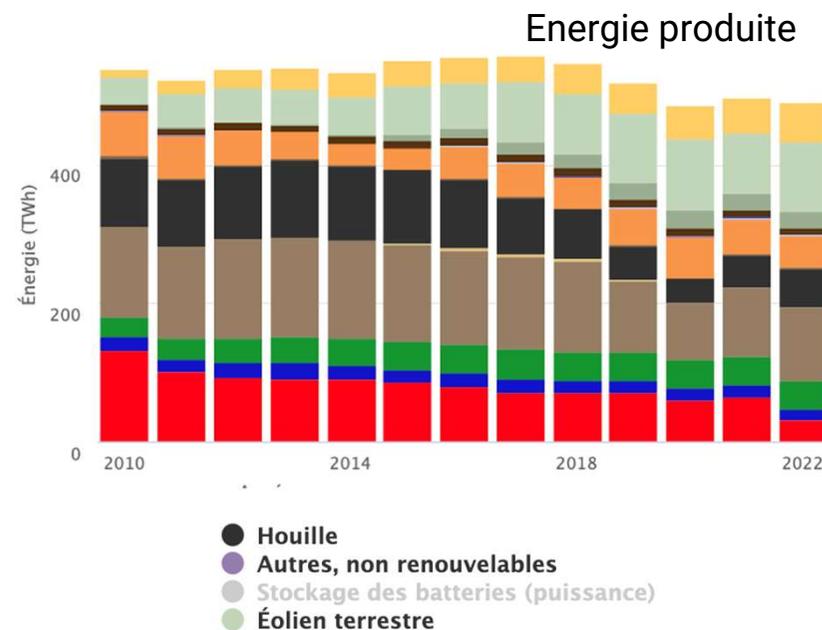
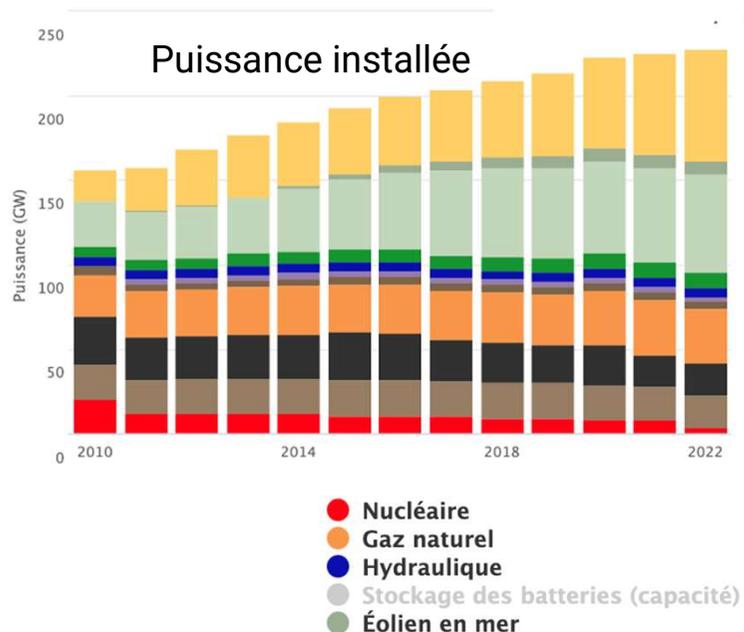
Anaëlle Jodry

AIR LIQUIDE
2023

INDUSTRIE



FLEXIBILITÉ AUJOURD'HUI EN ALLEMAGNE



2010
EnRi – 50 TWh
Fossil – 300 TWh
Nuke – 130 TWh



+130 TWh
- 95 TWh
- 95 TWh

2022
EnRi – 180 TWh
Fossil – 205 TWh
Nuke – 35 TWh

1- PROSPECTIVE MULTI-ENERGIE –



Quentin Raillard

2024

Décarbonation de l'industrie et impact sur le système électrique
Soutenance prévue décembre 2024
Direction : Robin Girard



Anaelle Jodry

AIR LIQUIDE 2023

H2+elec system –
 optimisation of investment
 trajectories + hourly
 operation, territory scale



Maxime Vrain

Rte

2025

Multi-energy system
 operation optimisation at
 EU scale



Laurent Cornaggia

Rte

2026

DC network architecture
 optimisation



Owen Palmer

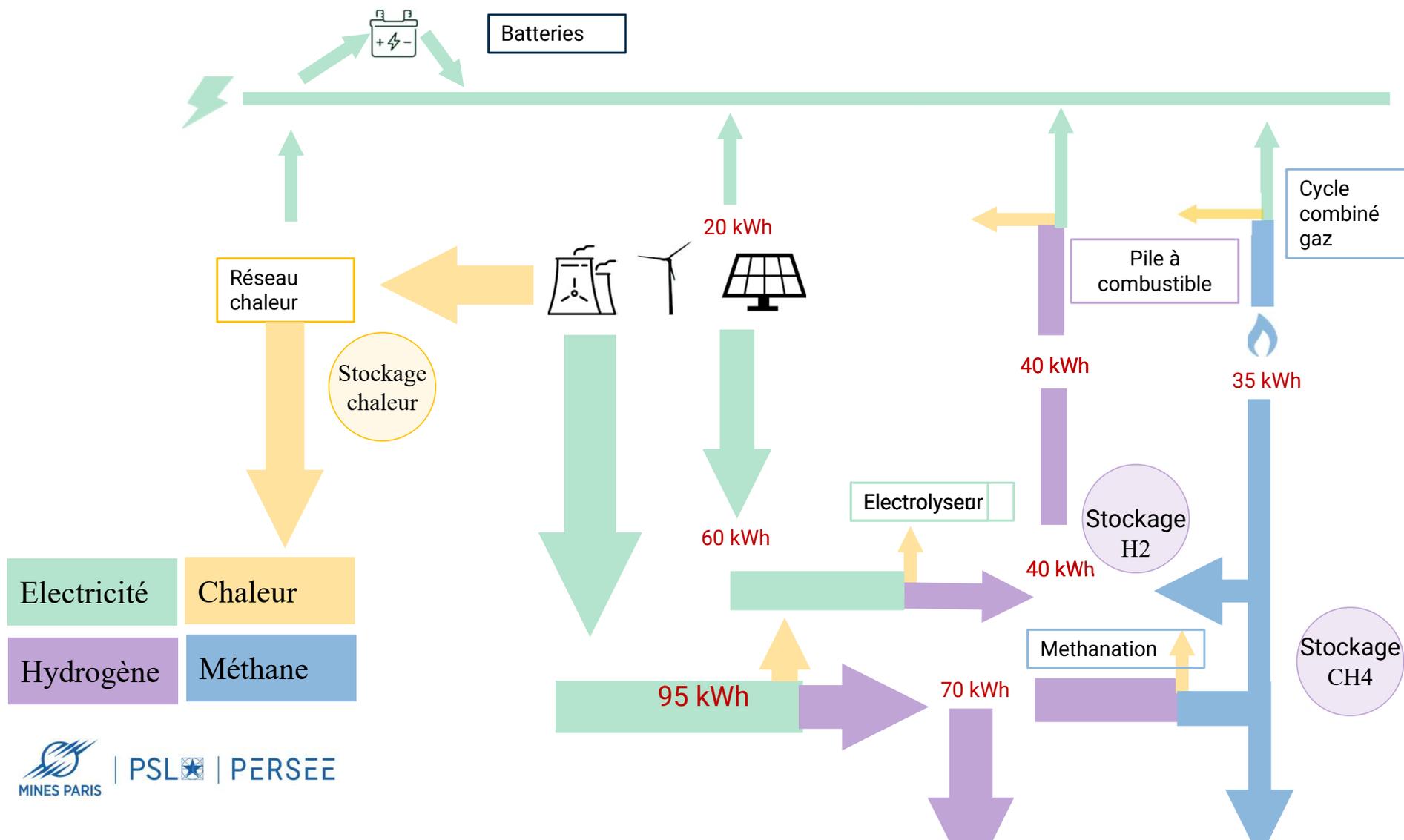
VERSO energy 2025

H2+elec prod – accounting for
 uncertainties in investment
 optimisation. Project developer
 point of view



PSL | PERSEE

FLEXIBILITÉ DEMAIN : COUPLAGE DES SYSTÈMES



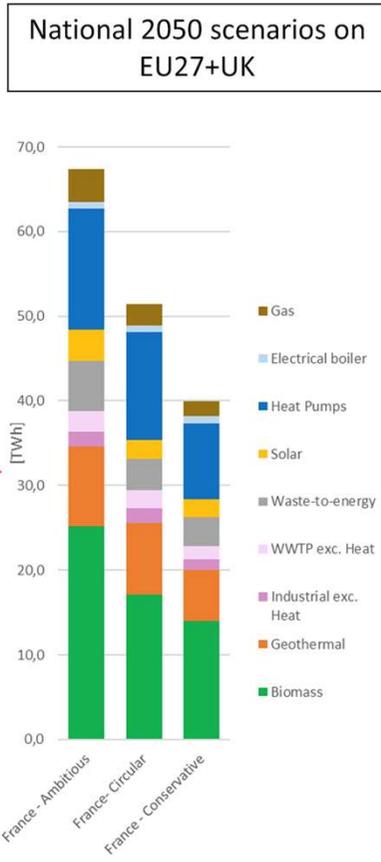
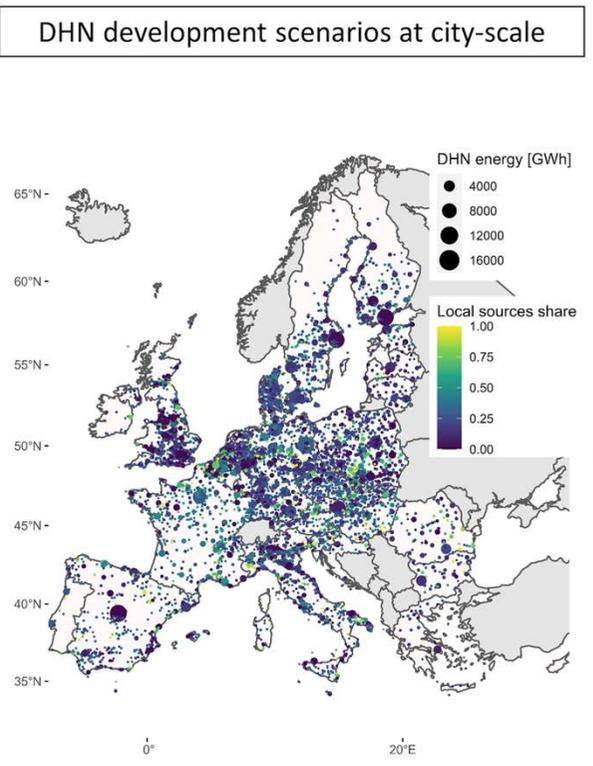
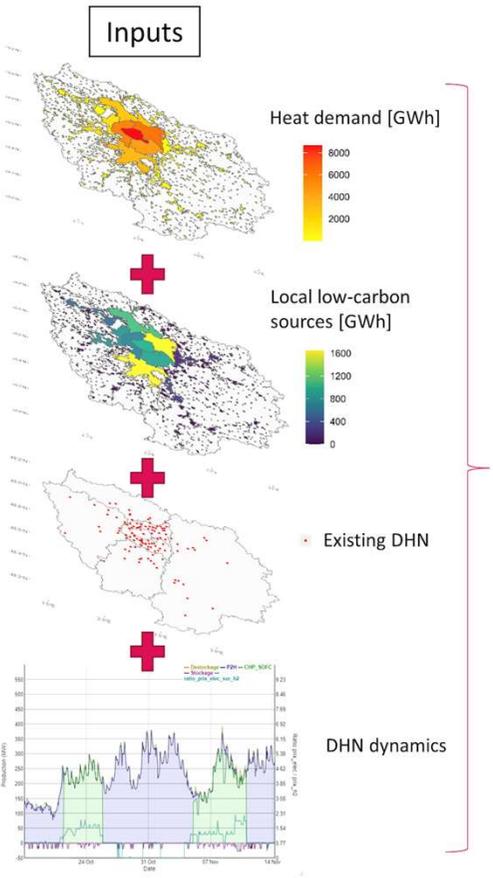
1- Prospective multi-energie –

RÉSEAUX DE CHALEUR

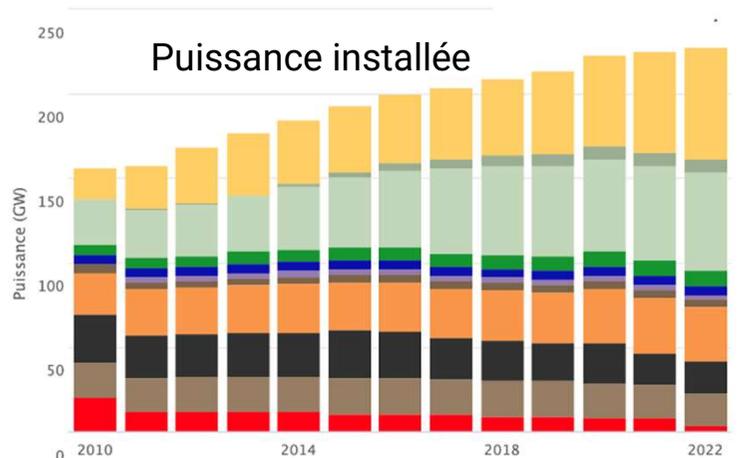


Maxime Vrain

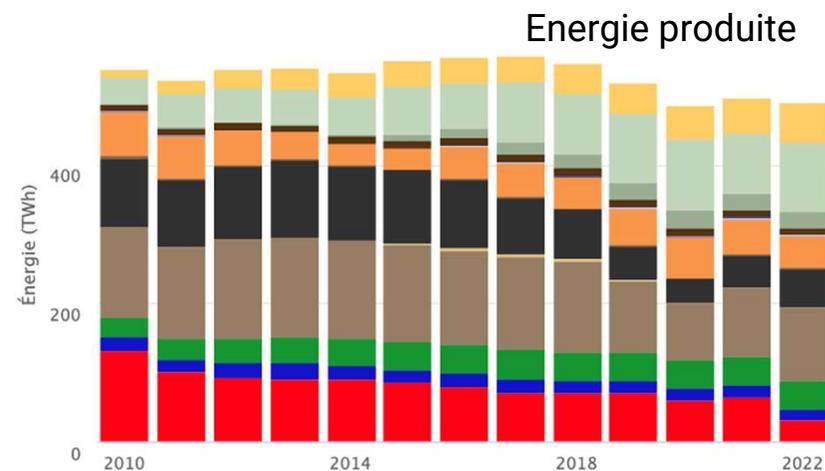
Multi-energy system operation optimisation at EU scale
Soutenance prévue décembre 2025
 Direction : Robin Girard



FLEXIBILITÉ AUJOURD'HUI EN ALLEMAGNE



- Nucléaire
- Gaz naturel
- Hydraulique
- Stockage des batteries (capacité)
- Éolien en mer



- Lignite
- Fioul
- Houille
- Autres, non renouvelables
- Stockage des batteries (puissance)
- Éolien terrestre
- Biomasse
- Solaire

2010
EnRi – 50 TWh
Fossil – 300 TWh
Nuke – 130 TWh



+130 TWh
- 95 TWh
- 95 TWh

2022
EnRi – 180 TWh
Fossil – 205 TWh
Nuke – 35 TWh