

# Les options de flexibilité pour une décarbonation conjointe des systèmes électrique et gaz

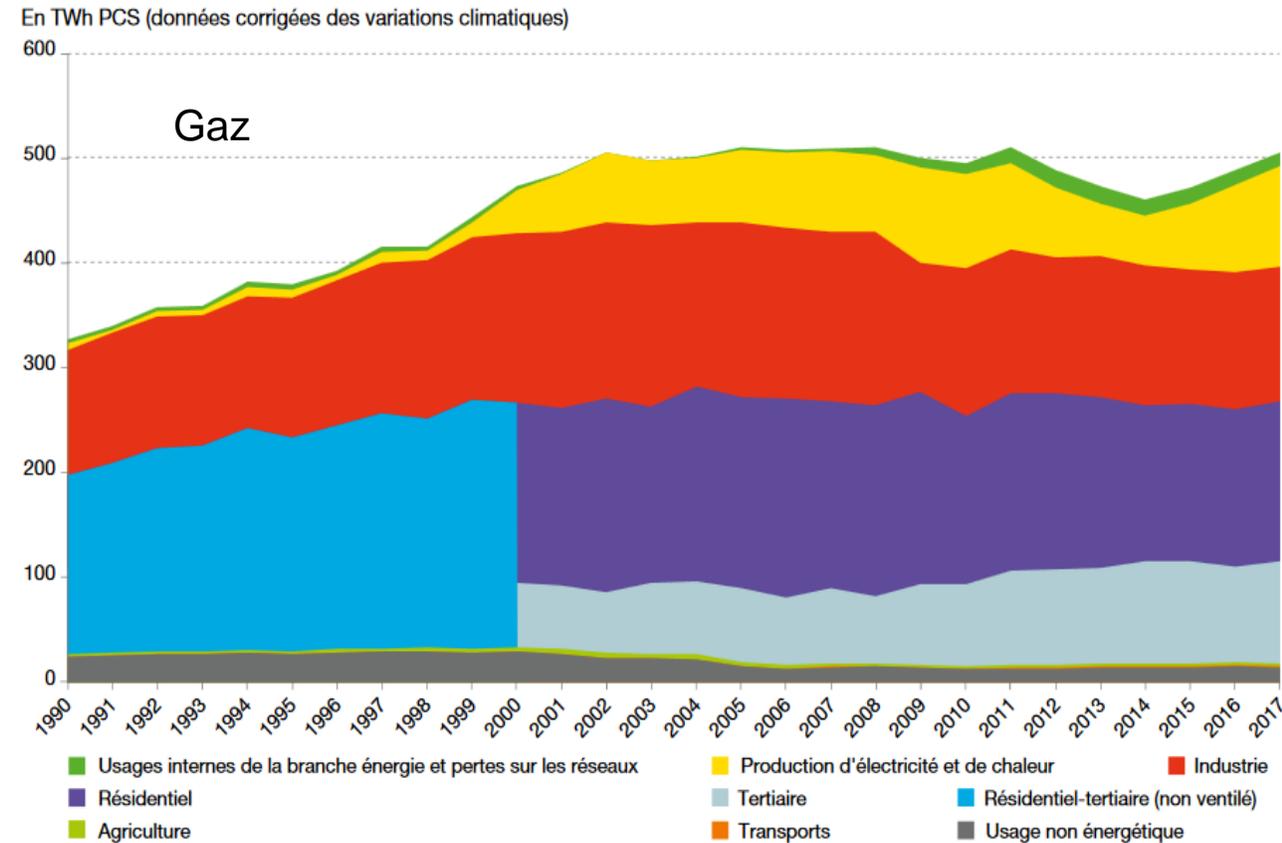
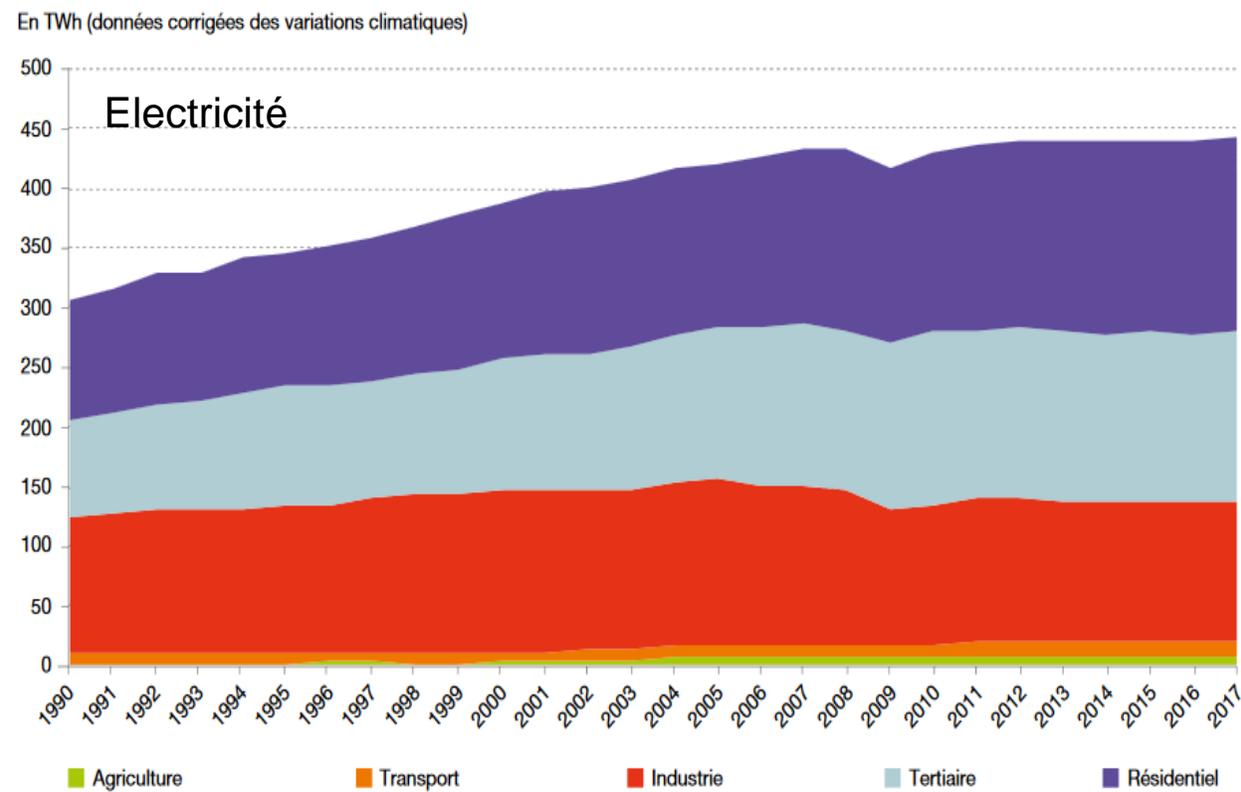
Edi Assoumou

Centre de Mathématiques Appliquées, Mines ParisTech, PSL

Séminaire de la Chaire Modélisation Prospective au service du Développement Durable

25 Février 2021

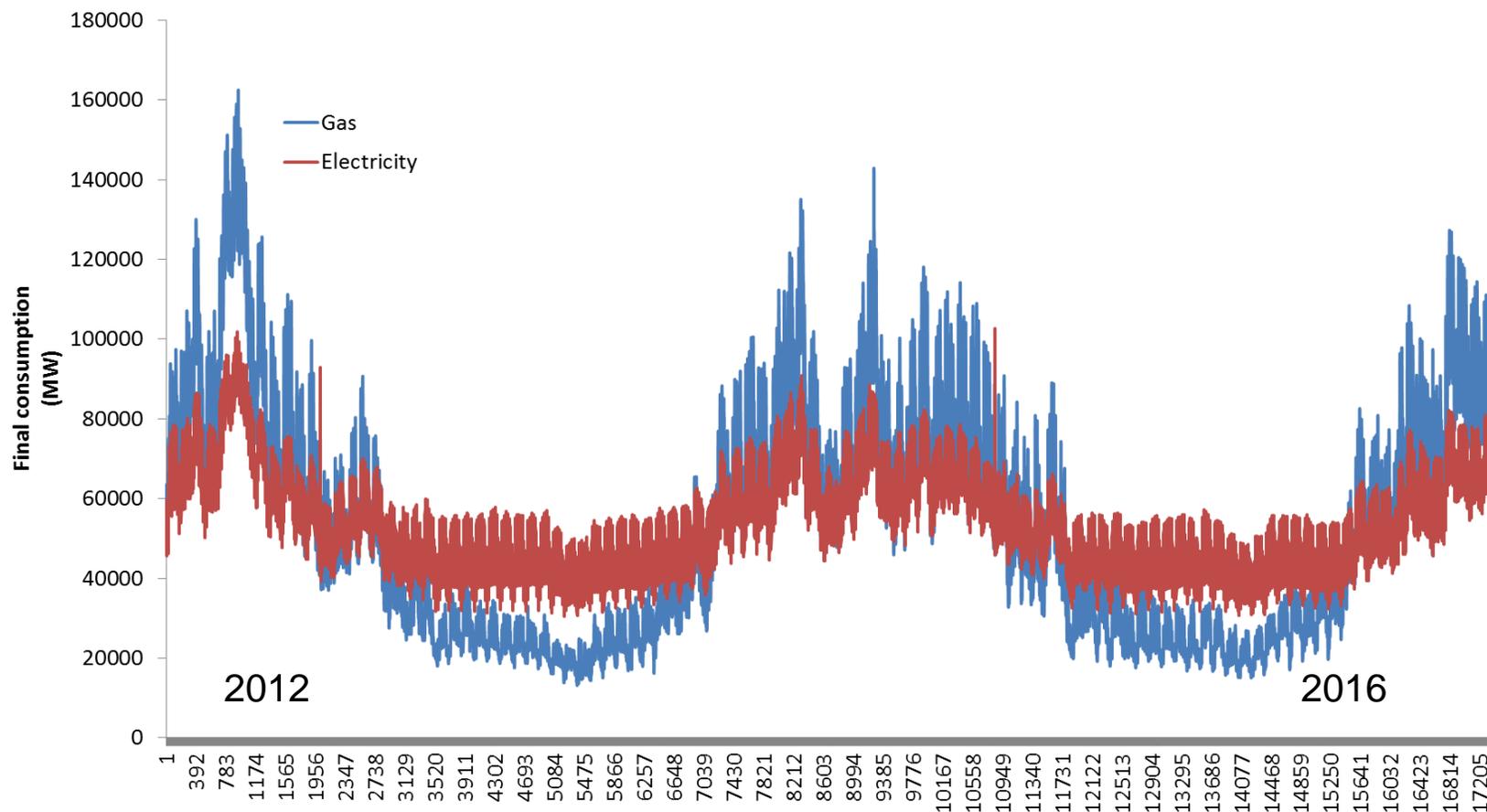
# Observation 1: comparables en volume annuel



<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-02/datalab-bilan-energetique-de-la-france-pour-%202017-fevrier%202019.pdf>

# Observation 2: plus forte saisonnalité du gaz

- Les enjeux de l'équilibre offre demande



# De nouveaux scénarios pour ...

---

- **Expliciter certaines dimensions de la question de la transition vers la neutralité carbone**

Une décarbonation forte du mix gaz et électrique à 2050 est-elle atteignable ?



Quelles sont les implications technico-économiques de trajectoires de décarbonation des secteurs gaz et électricité ?

- La cible et les trajectoires multiples;
- Quel optimisme technologique?
- Quel niveau de demande?
- Le surcoût d'hypothèses restrictives ...

# De nouveaux scénarios pour ...

- Sonder la complexité des interactions entre technologies: transition du système électrique, gaz renouvelable, power to gas, stockage,

**THÈSE DE DOCTORAT**  
de l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres  
PSL Research University

Préparée à MINES ParisTech

Flexibilité et interactions de long terme dans les systèmes multi-énergies : analyse technico-économique des nouvelles filières gazières et électriques en France

Ecole doctorale n°84  
Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication

Spécialité « Contrôle, Optimisation, Prospective »

COMPOSITION DU JURY :

Mme. Catherine AZZARO-PANTEL  
INP-ENSIACET, Rapporteur

M. Olivier BAHN  
HEC Montréal, Rapporteur

M. François MIRABEL  
Université Montpellier 1, Examinateur et président du jury

Mme. Nadia MAZI  
MINES ParisTech, Examinateur

M. Edj ASSOUMOU  
MINES ParisTech, Examinateur

Mme. Carole BARON  
GRTgaz, Invité

Soutenu par Rémy DOUDARD  
le 17 décembre 2018

Dirigée par Edj ASSOUMOU



Thèse: Rémy Doudard



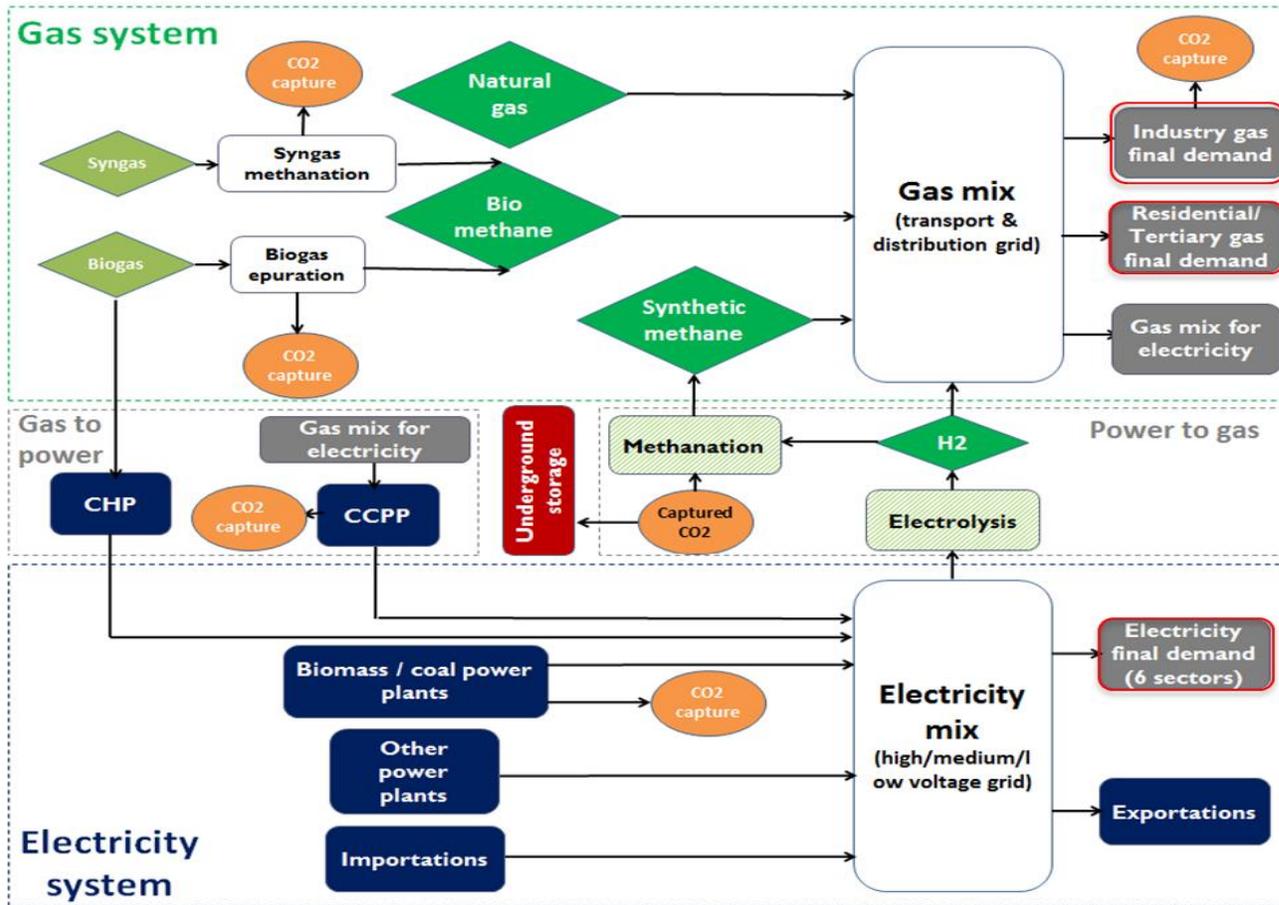
ACV - Energies



Chaire Modélisation Prospective  
au service du Développement Durable

ACCUEIL LA CHAIRE ÉVÈNEMENTS RECHERCHE PUBLICATIONS PARTENAIRES CONTACT

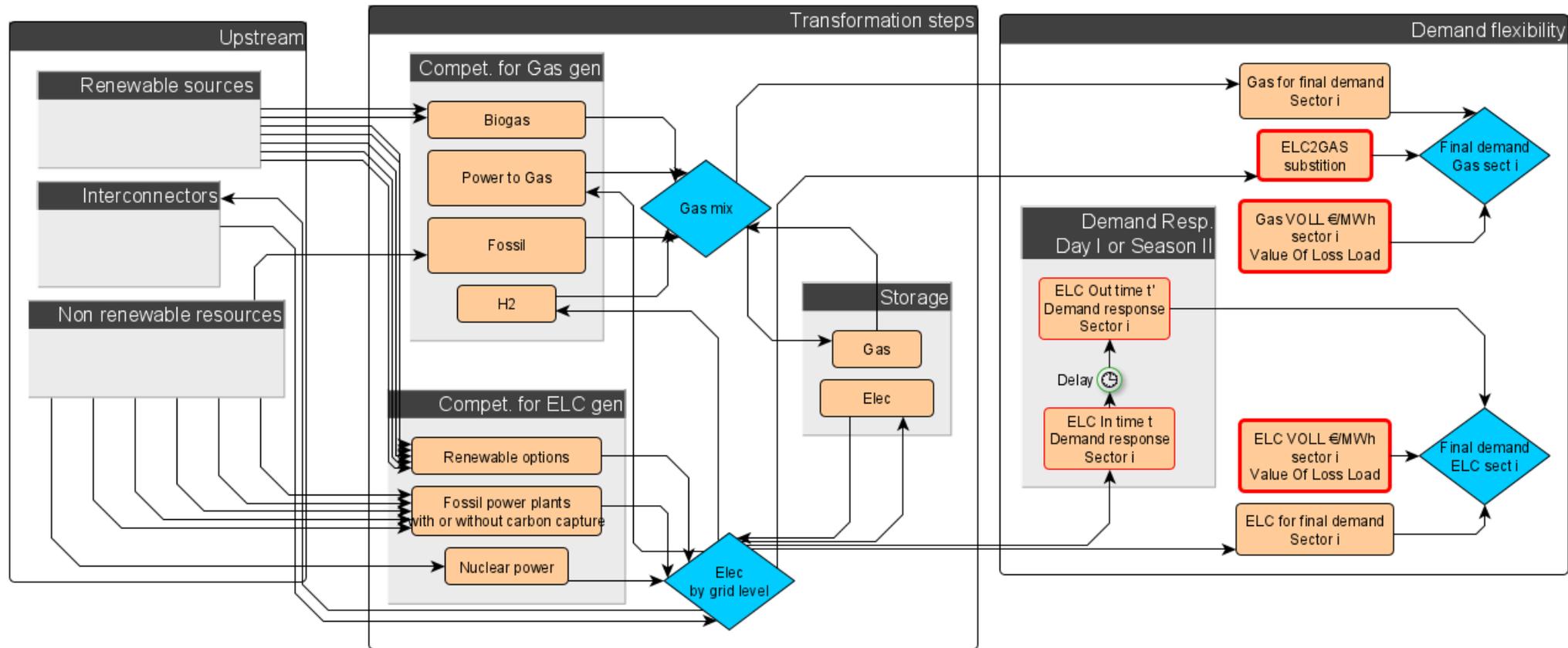
# Dimension prospective : comment?



- 12 saisons x 2 jours (Sem, WE) x 24h
- Horizon 2060 par pas de temps de 5 ans
- Description des bifurcations technologiques potentielles
- Permet d'évaluer des politiques communes pour les filières gaz et électricité
- Minimisation du coût total actualisé
- Trajectoires d'investissement et d'activité explicites pour chaque technologie

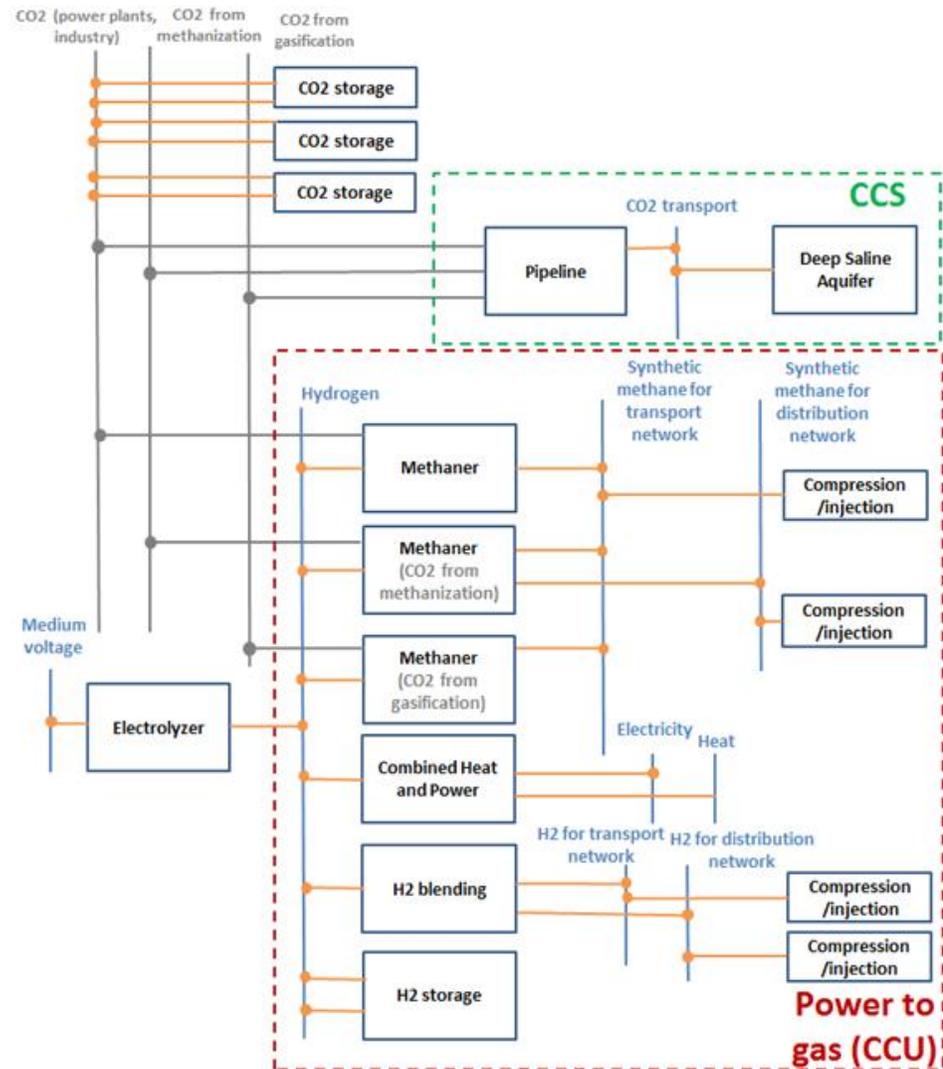
# Dimension prospective : comment?

**TIMES-FR GAZEL:** focus sur les options de flexibilité de la demande



# Dimension prospective : comment?

- Exemple de la filière Power to Gas



# Dimension prospective : espace exploré

Une combinaison d'hypothèses sur des dimensions clés

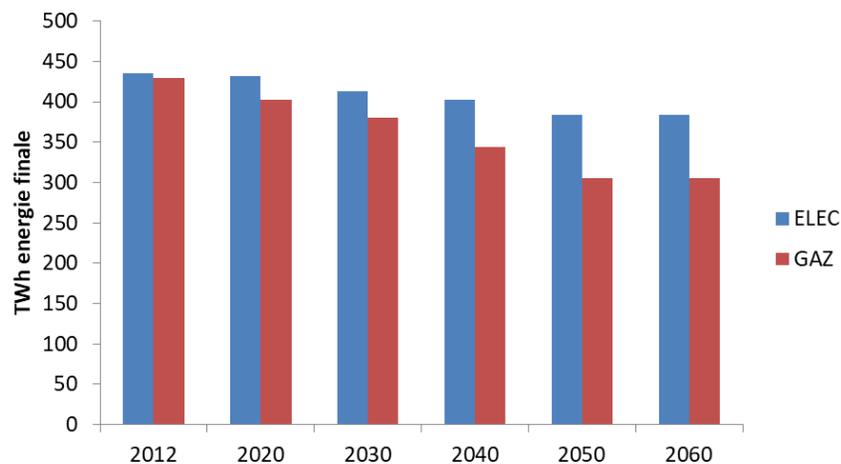
## POLITIQUE ENVIRONNEMENTALE

Contrôle par la pénalité

- **E1**: pénalité de référence taxe atteignant 30€/tCO<sub>2</sub> en 2030, stable après.
- **E2**: pénalité EU E1 prolongé jusqu'à 100€/t CO<sub>2</sub>. Pénalité du scénario de référence de la commission Européenne périmètre ETS

Contrôle par le volume

- **E3**: E1 + budget carbone contraint et équivalent à une neutralité atteinte en 2060
- **E4**: E1+ budget carbone plus contraint et équivalent à une neutralité atteinte dès 2050



## UNIVERS TECHNIQUE

### Offre

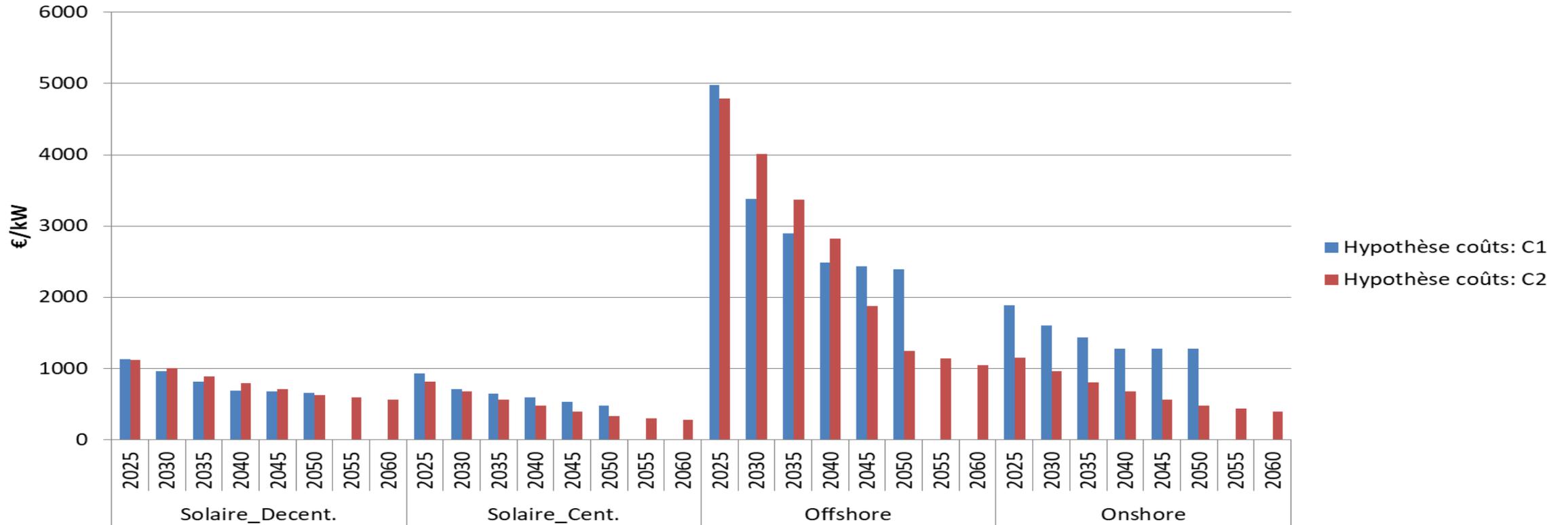
- **O1**: technophile  
Nucléaire, capture et séquestration, demande response disponibles
- **O2**: acceptabilité CCS  
Pas de séquestration dont les question d'acceptabilité conduisent à chercher d'autres voies
- **O3**: O2 + acceptabilité EPR  
L'acceptabilité s'étend au nucléaire. Malgré sa présence historique, pas de nouveaux réacteurs

### Demande

- **D1**: La diffusion des technologies de pilotage de la demande ne rencontre pas de réels problème d'acceptabilité et le potentiel de demande response est élevé
- **D2**: Développement plus controversé de la demande response traduit par un potentiel maximal plus faible

**1 premier jeu de 24 scénarios (exemple E1O1D1)**

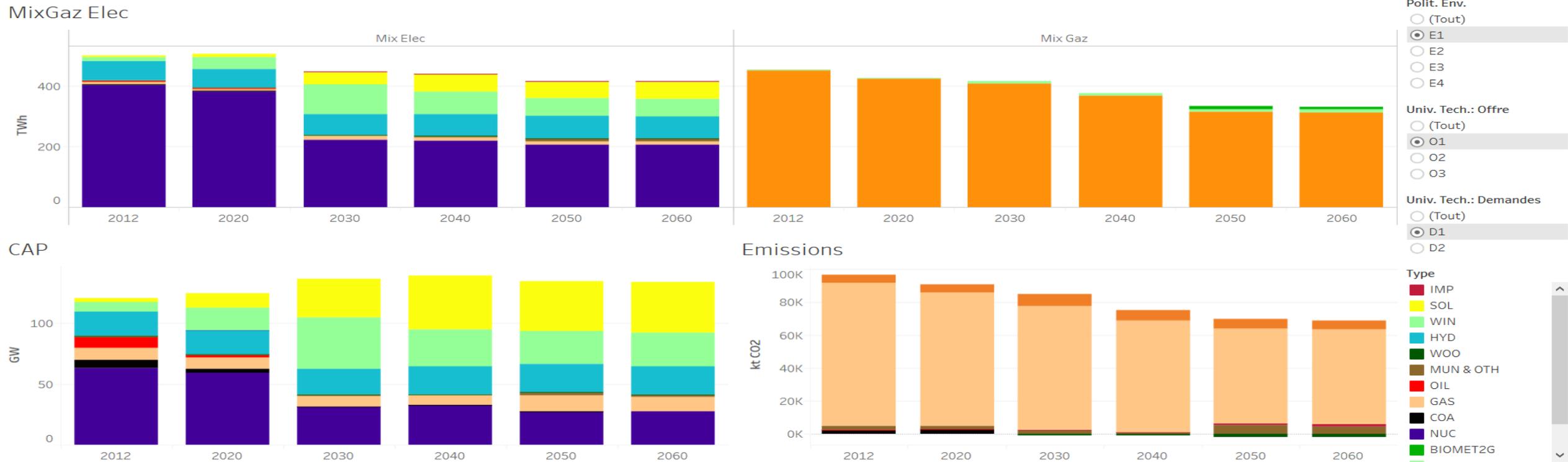
# Dimension prospective : espace exploré



+ 24 scénarios ayant des hypothèses de CAPEX PV et éolien beaucoup plus optimistes

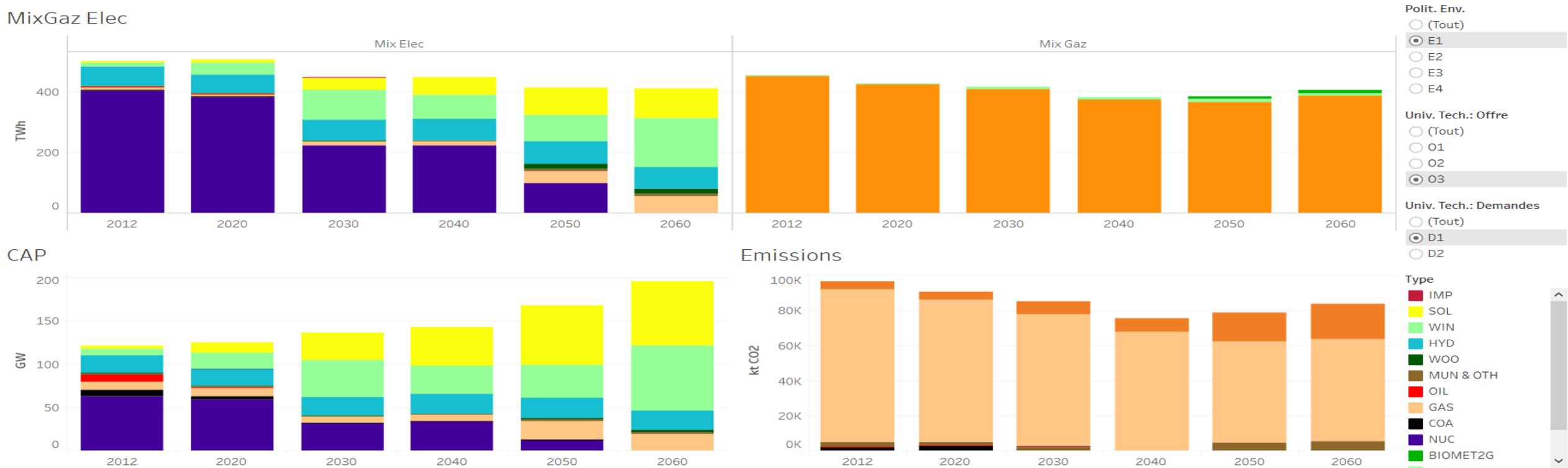
# Dimension prospective : quels enseignements?

## Mix électrique – Mix gaz – Capacités - Emissions



# Dimension prospective : quels enseignements?

## Mix électrique – Mix gaz – Capacités - Emissions



# Dimension prospective : quels enseignements?

## L'espace exploré

Distribution des émissions de CO2 kt



# Dimension prospective : quels enseignements?

E4O1D1C2

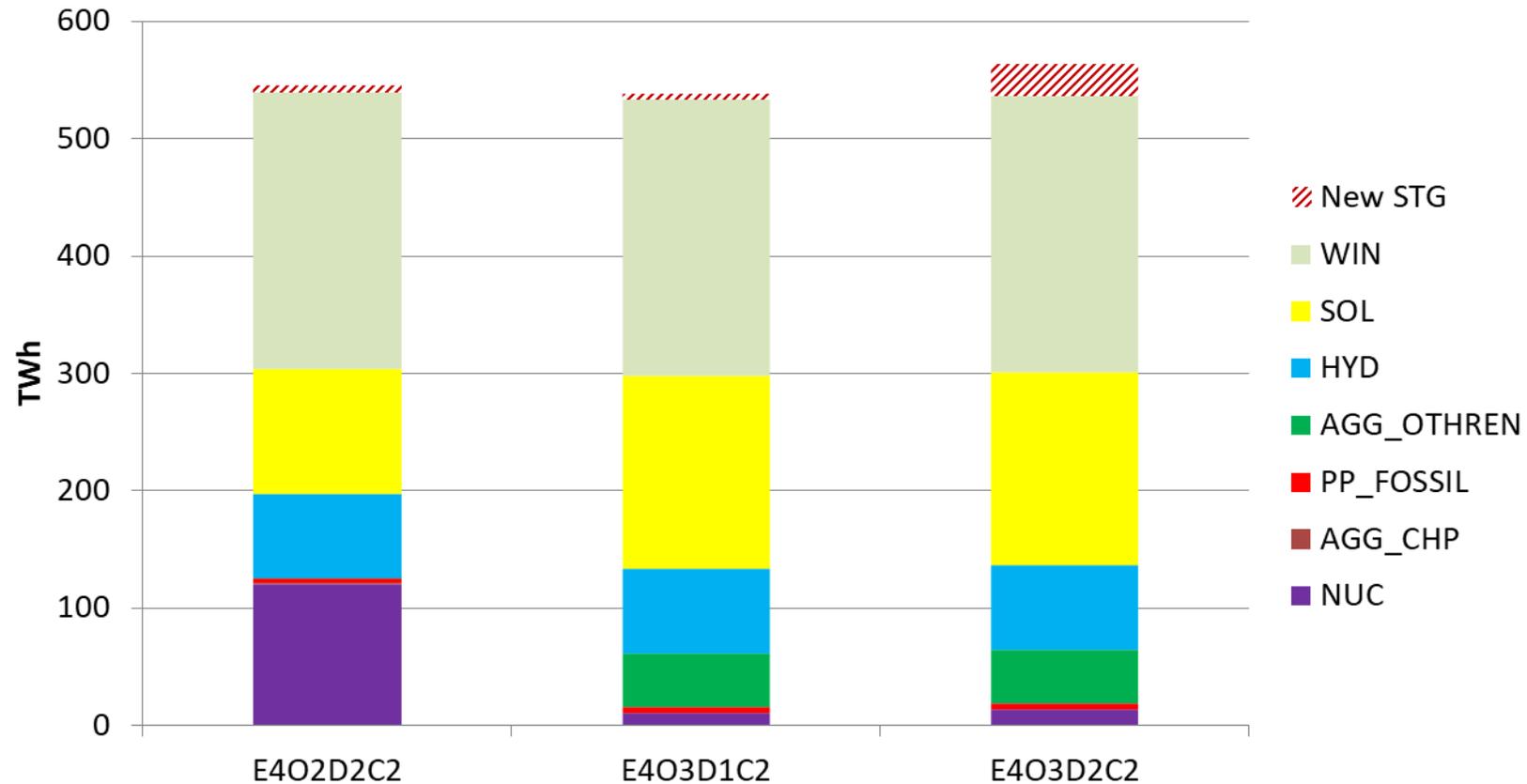
E4O2D1C2

E4O3D1C2



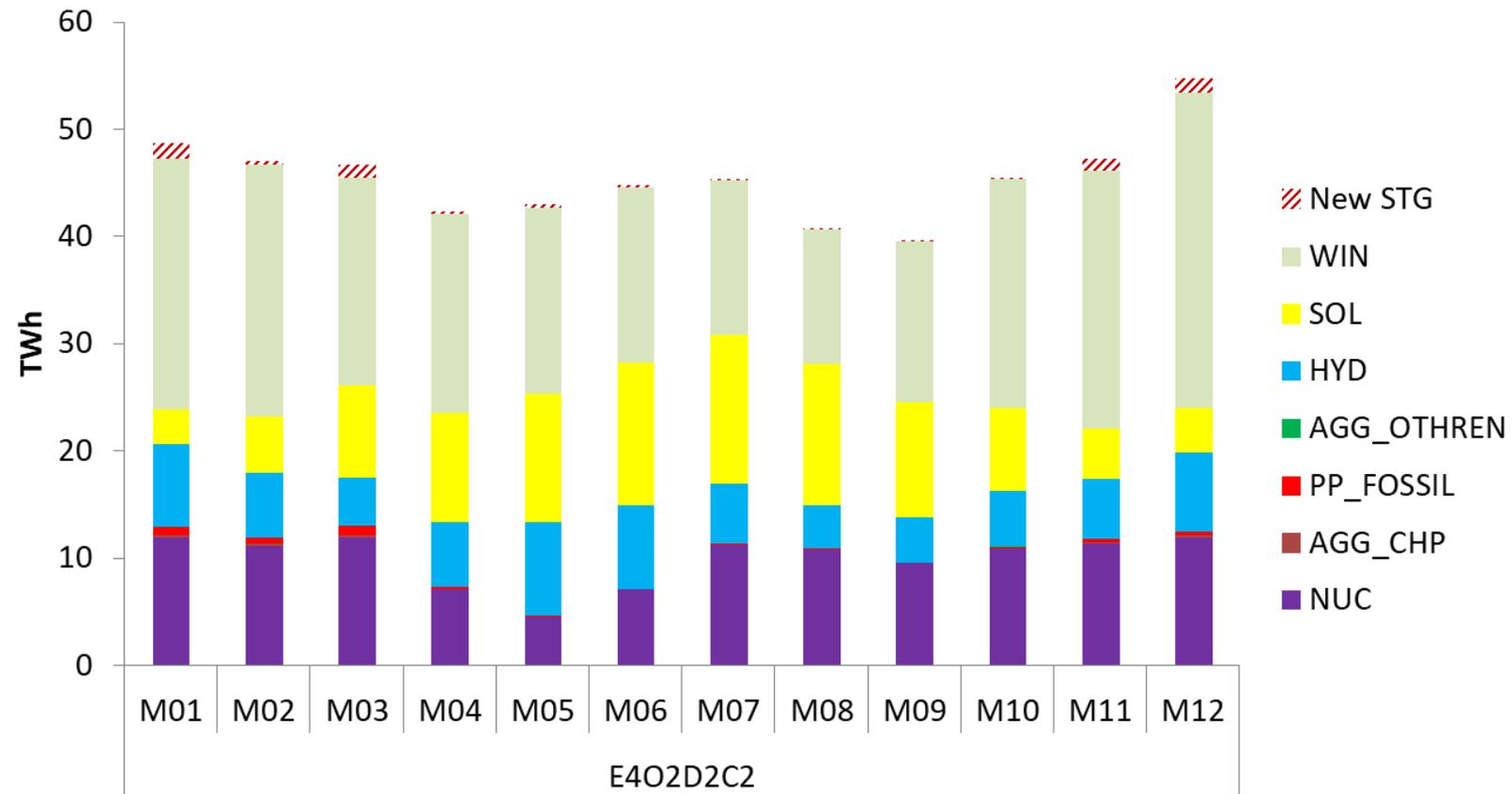
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité intra-annuelle



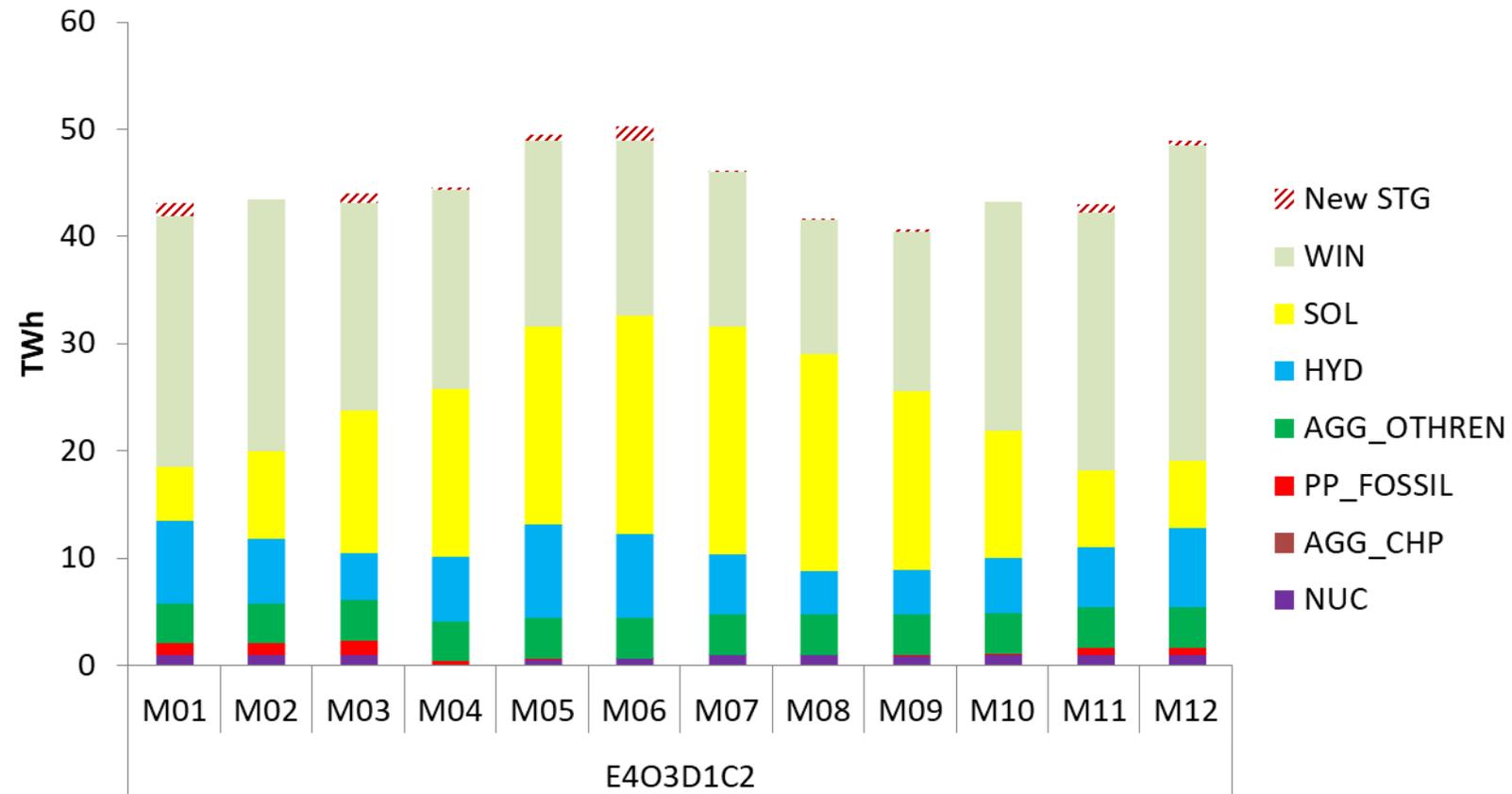
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité intra-annuelle: ELEC



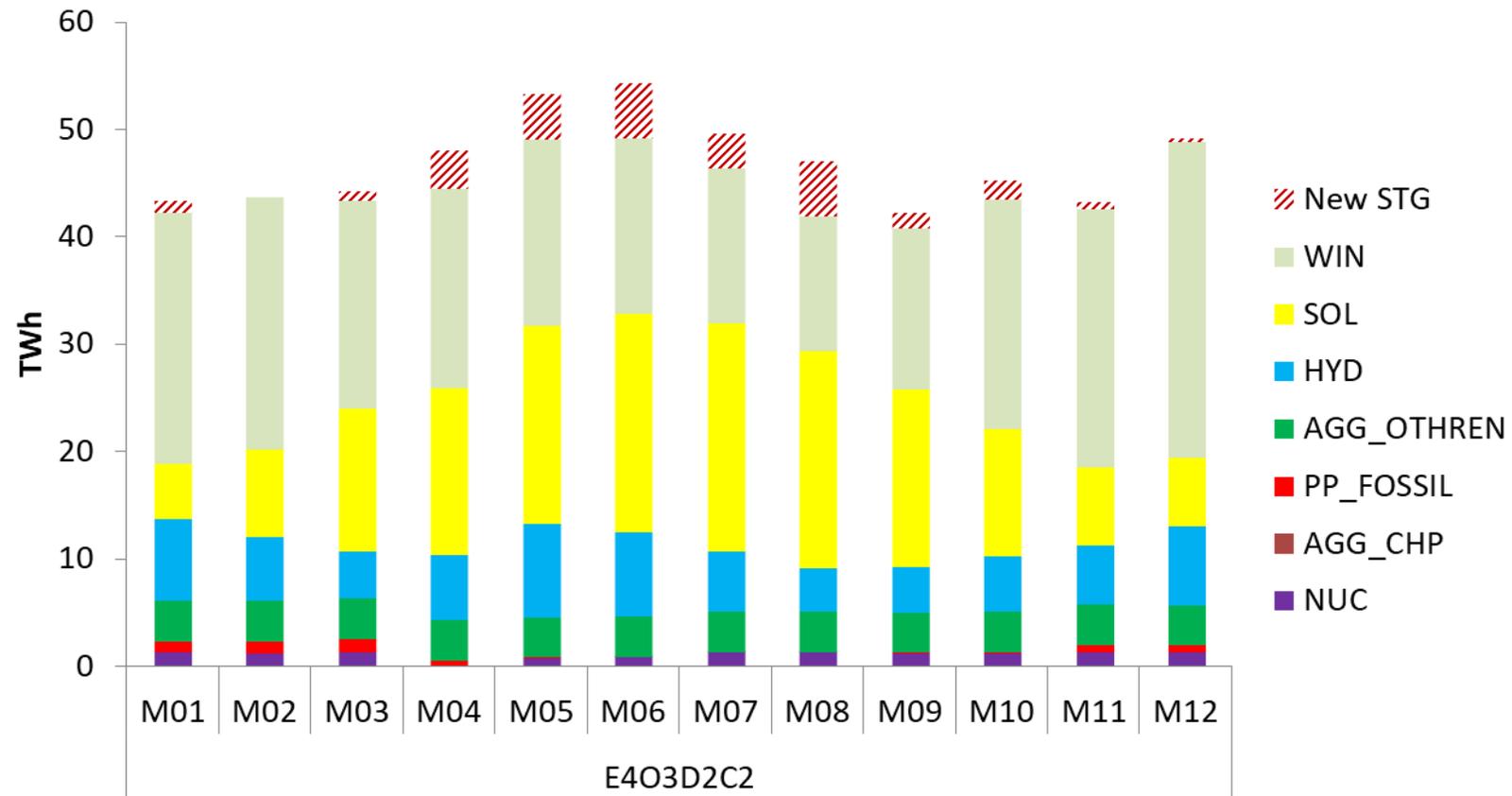
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité intra-annuelle



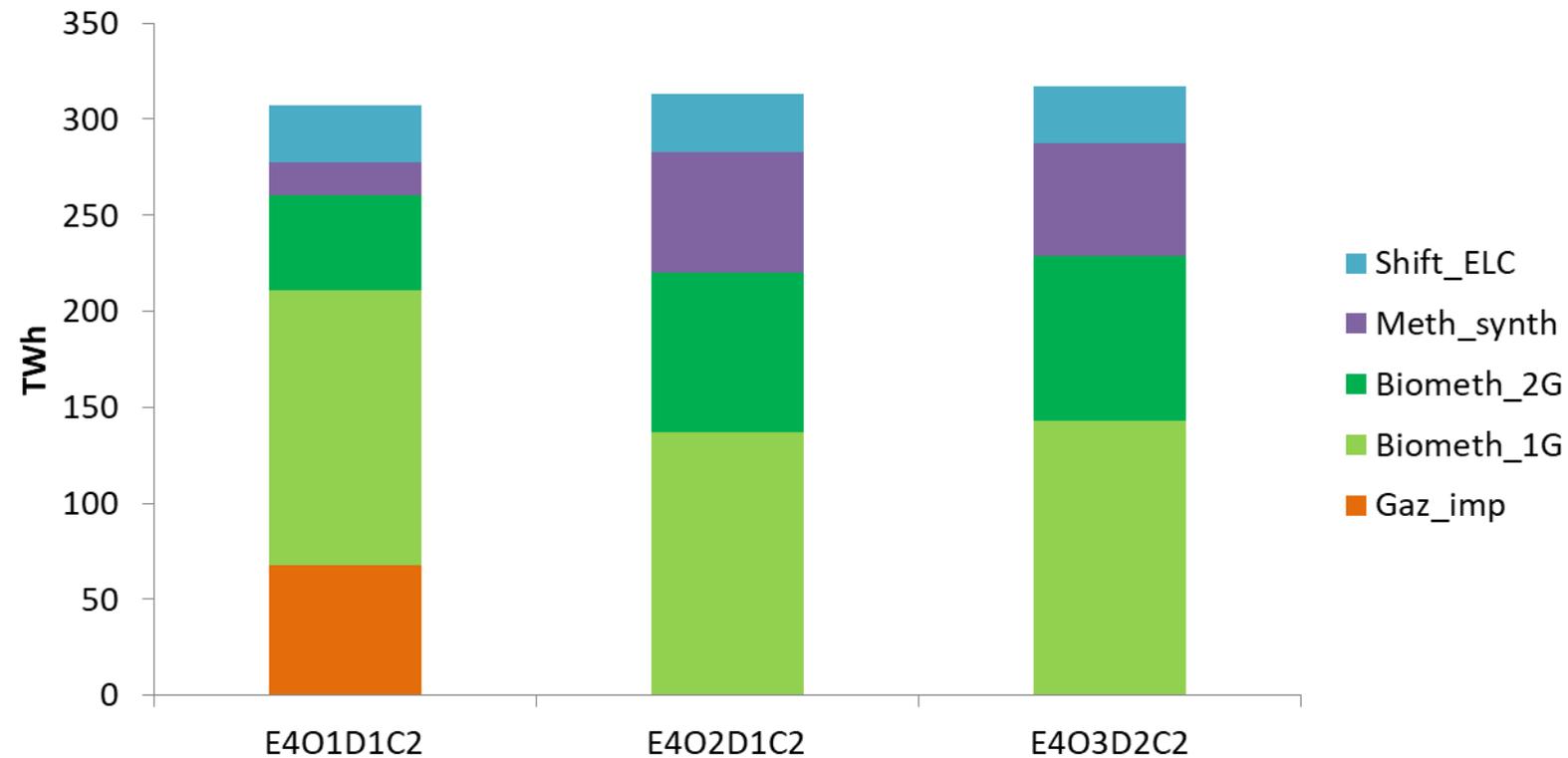
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité intra-annuelle



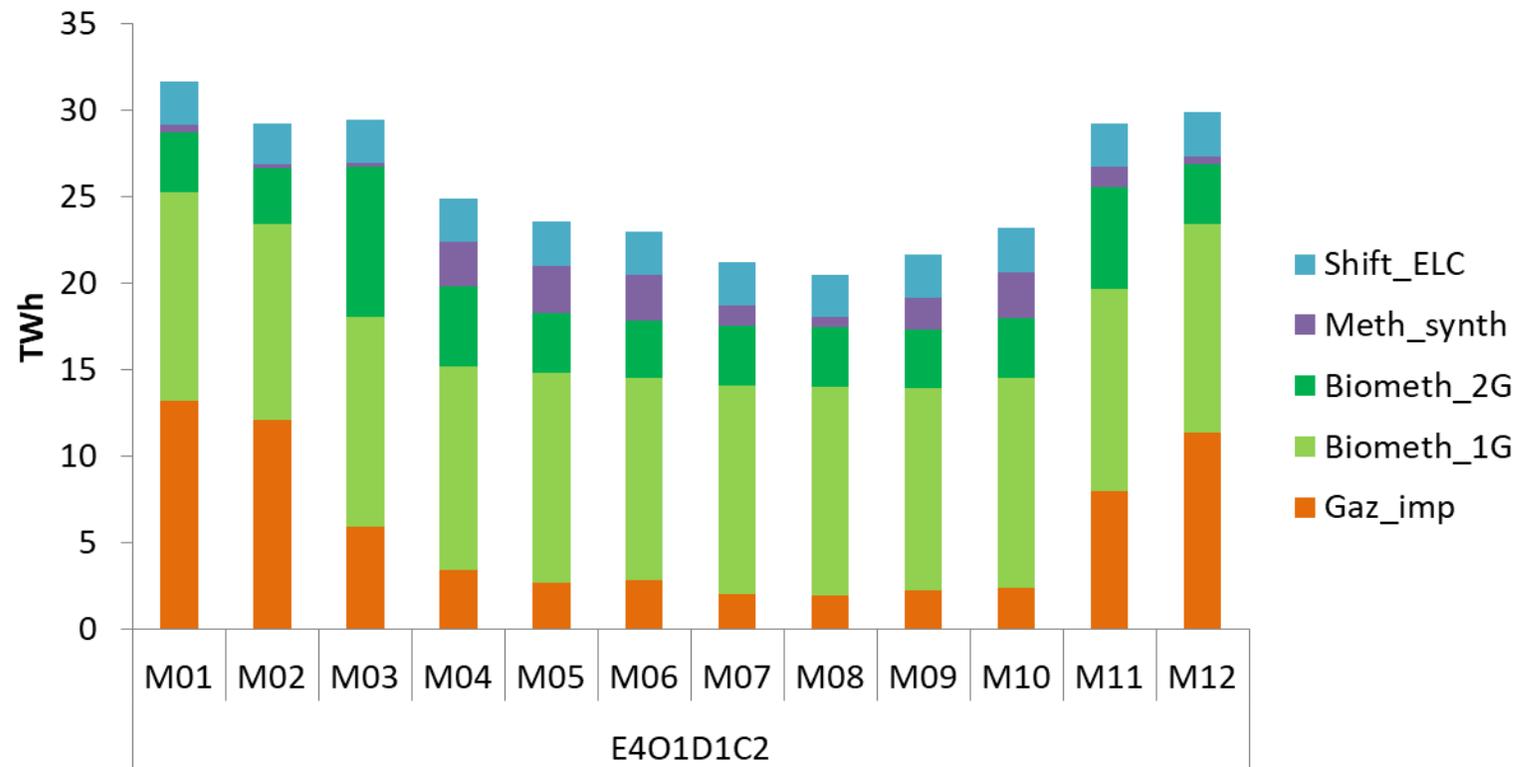
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité intra-annuelle: GAZ



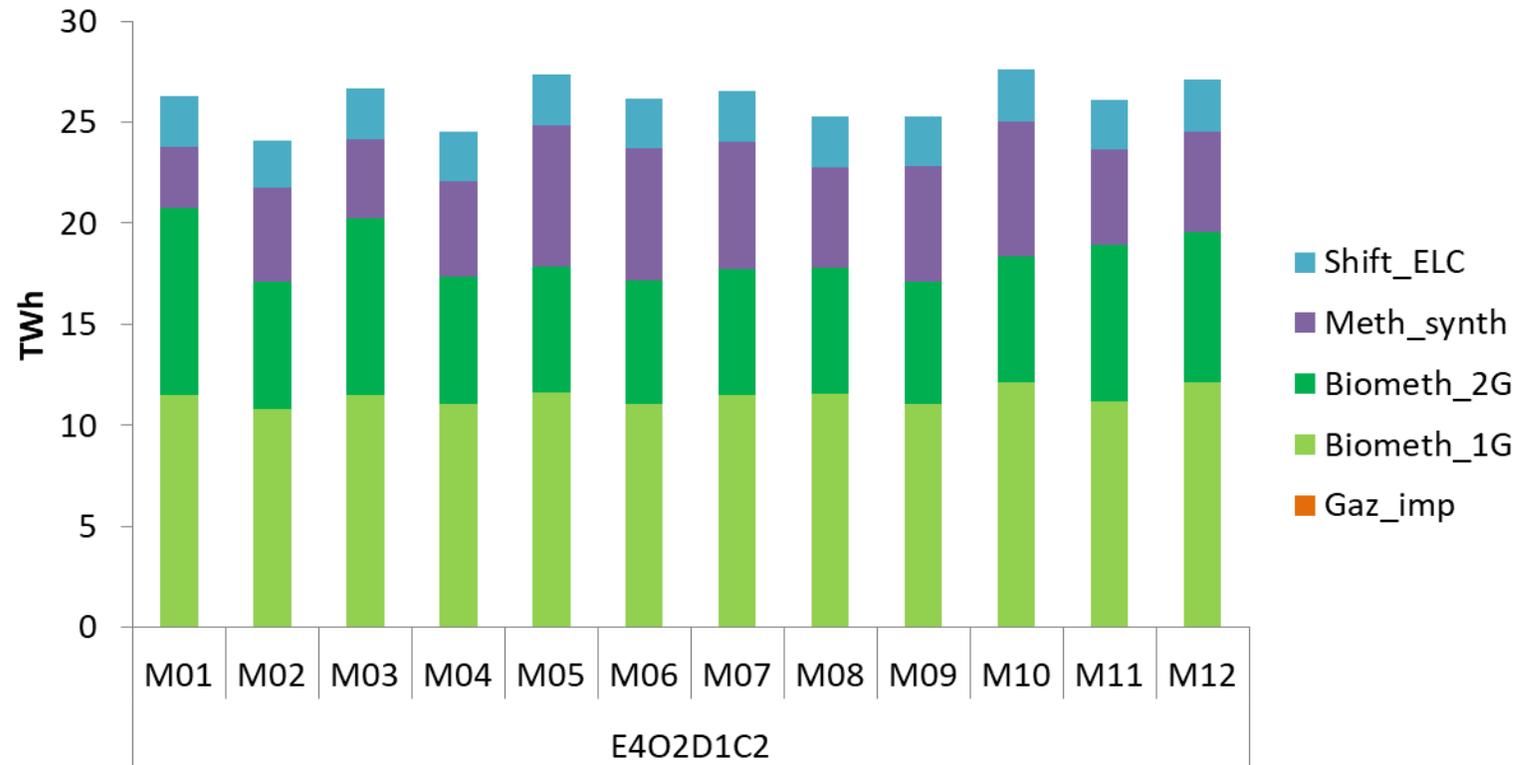
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité intra-annuelle: GAZ



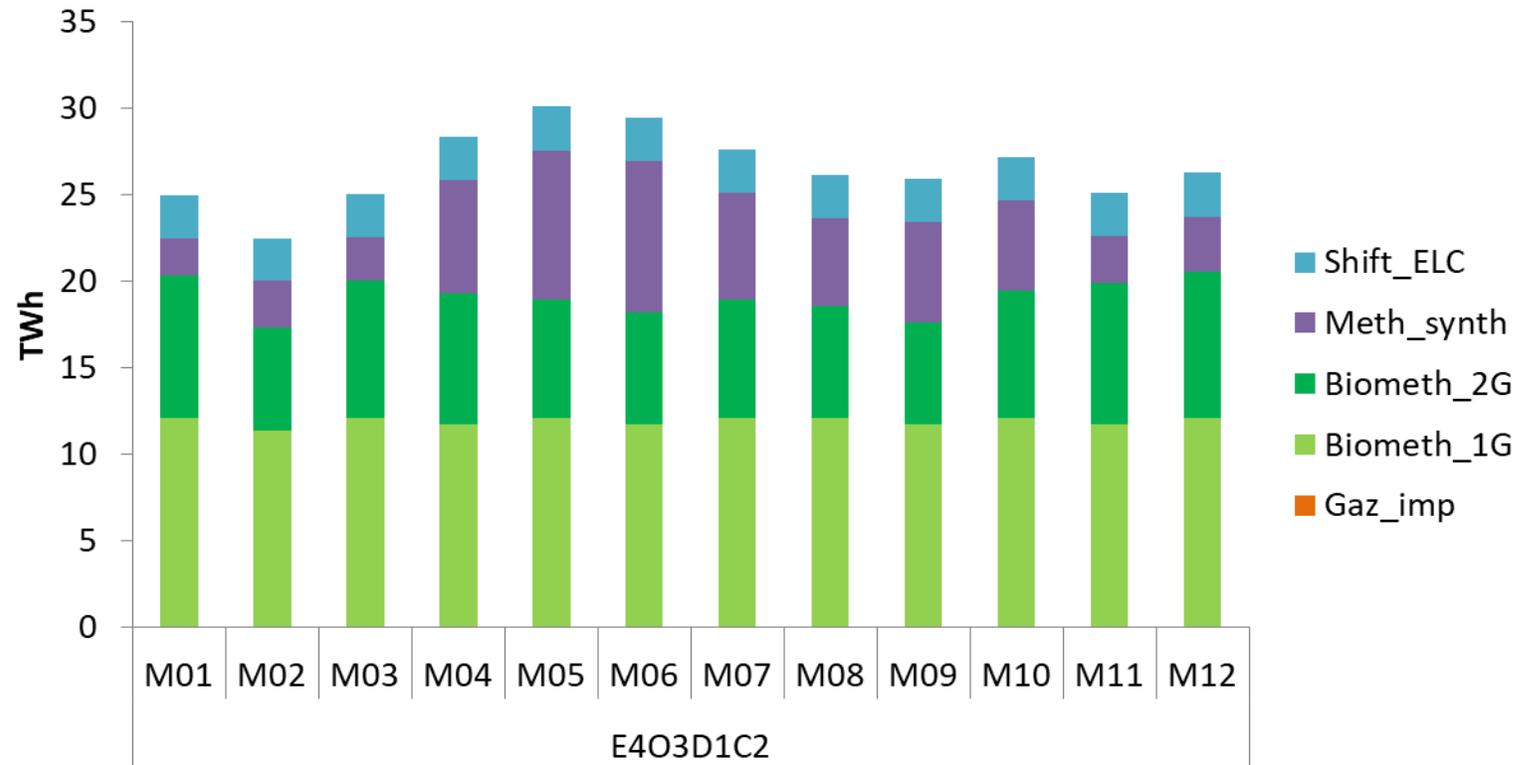
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité intra-annuelle: GAZ



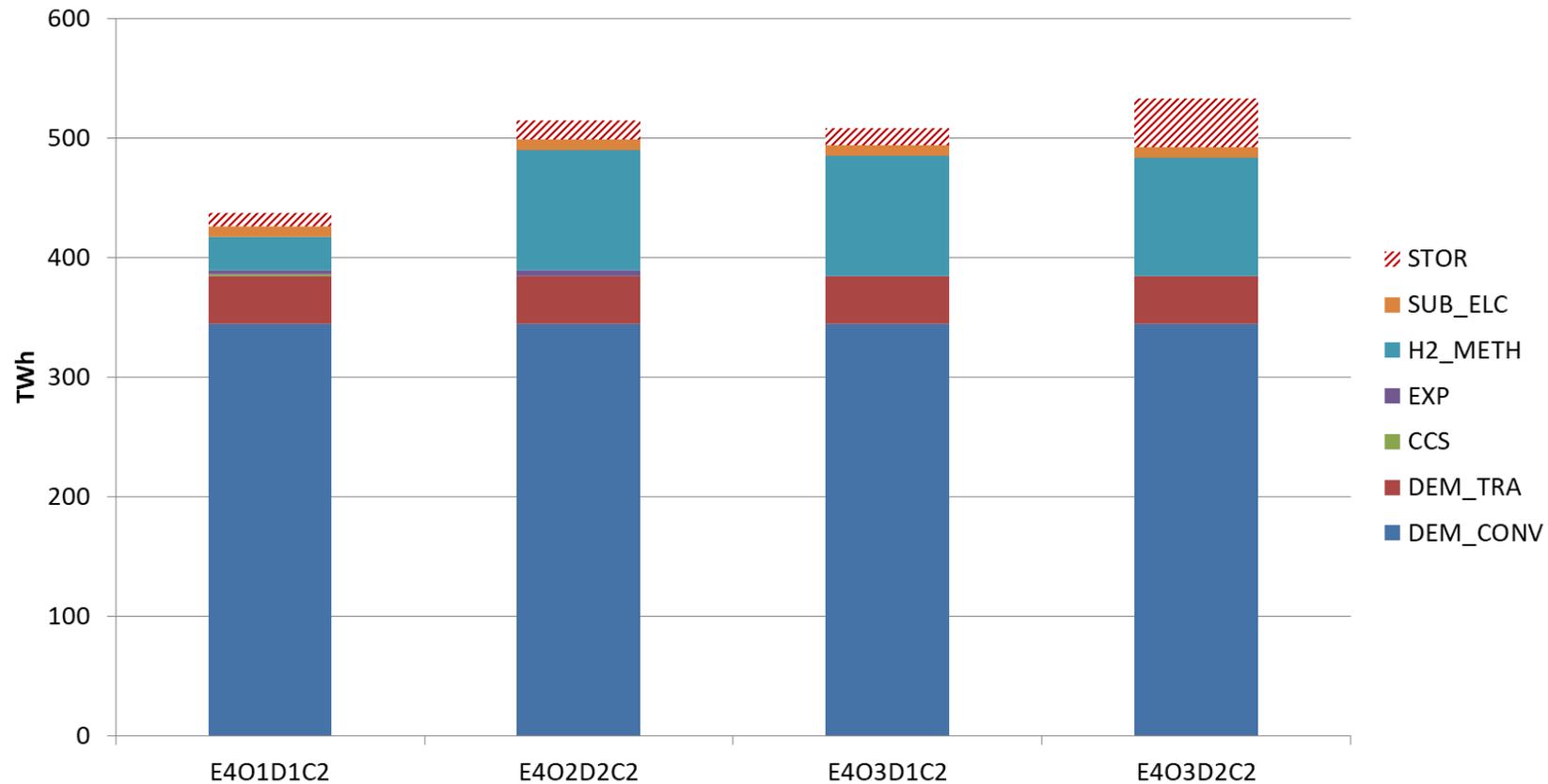
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité intra-annuelle: GAZ



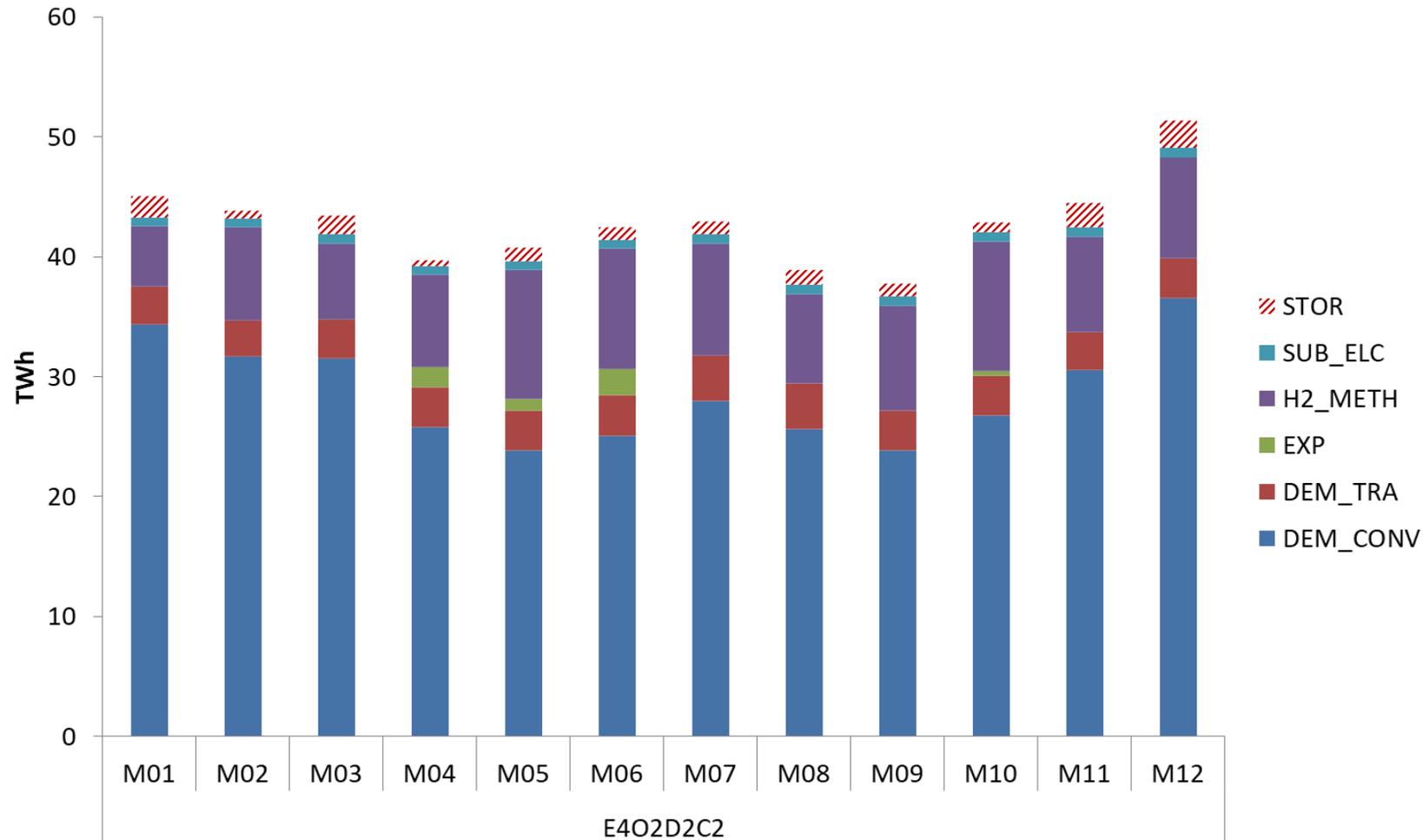
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité au niveau des usages: ELEC



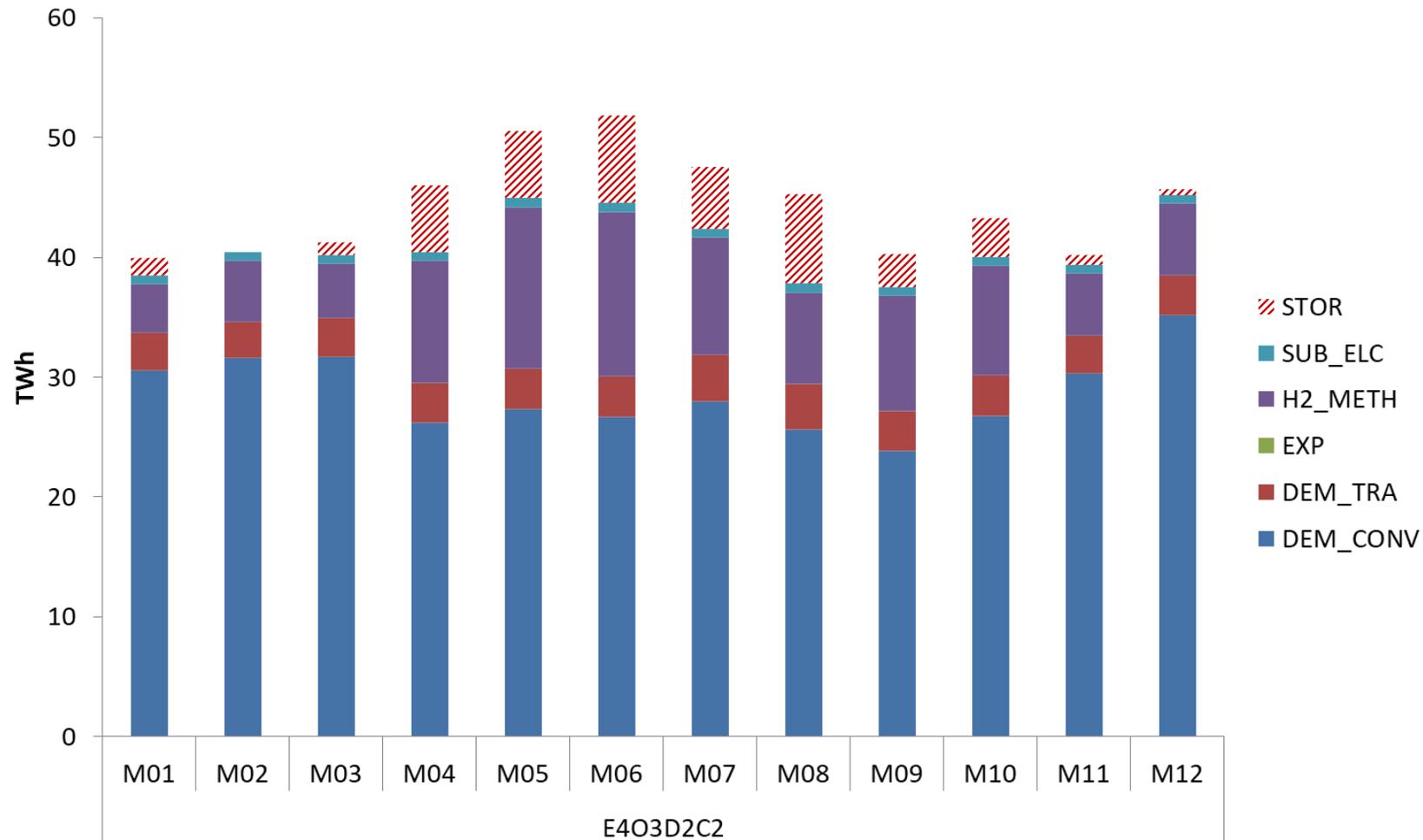
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité au niveau des usages: ELEC



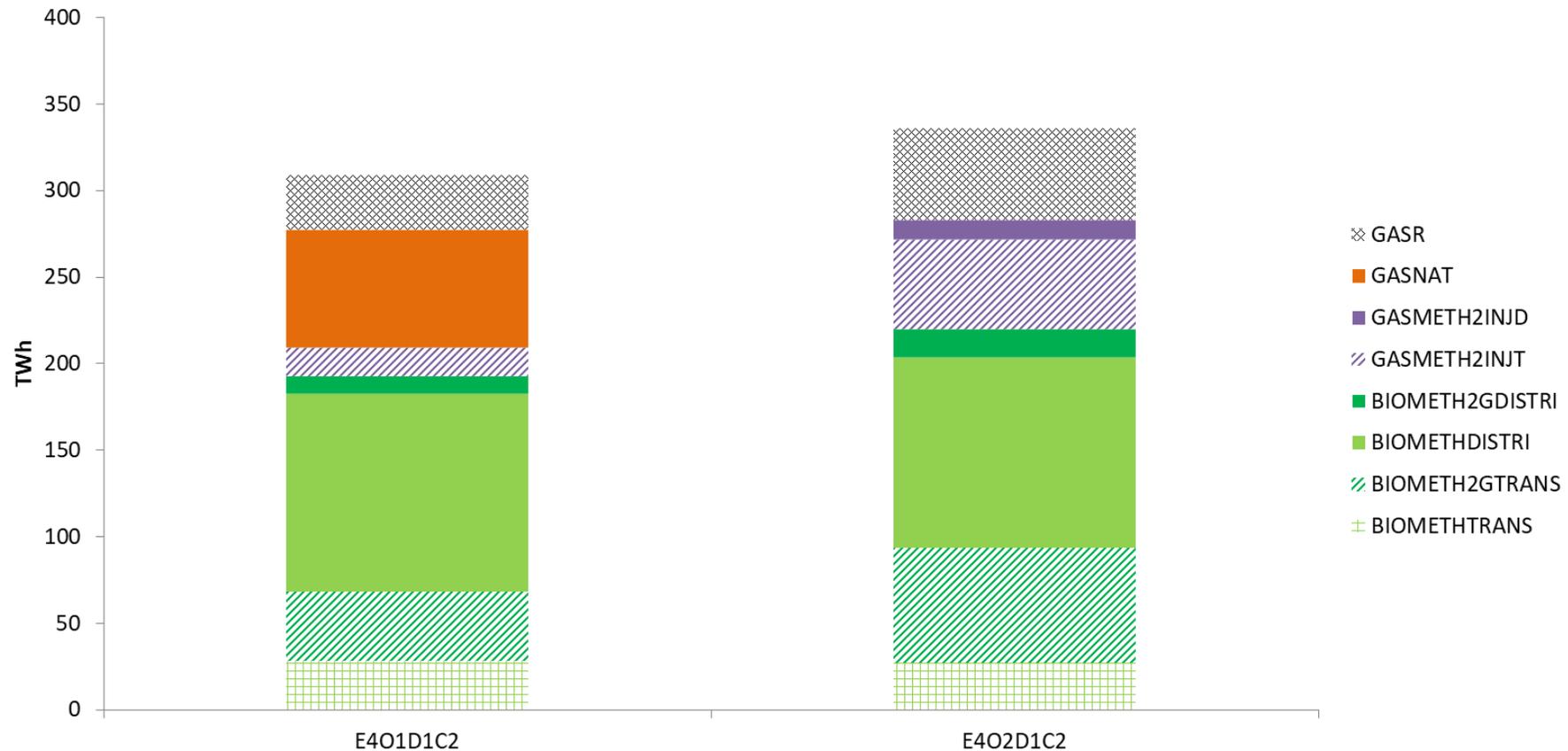
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité au niveau des usages: ELEC



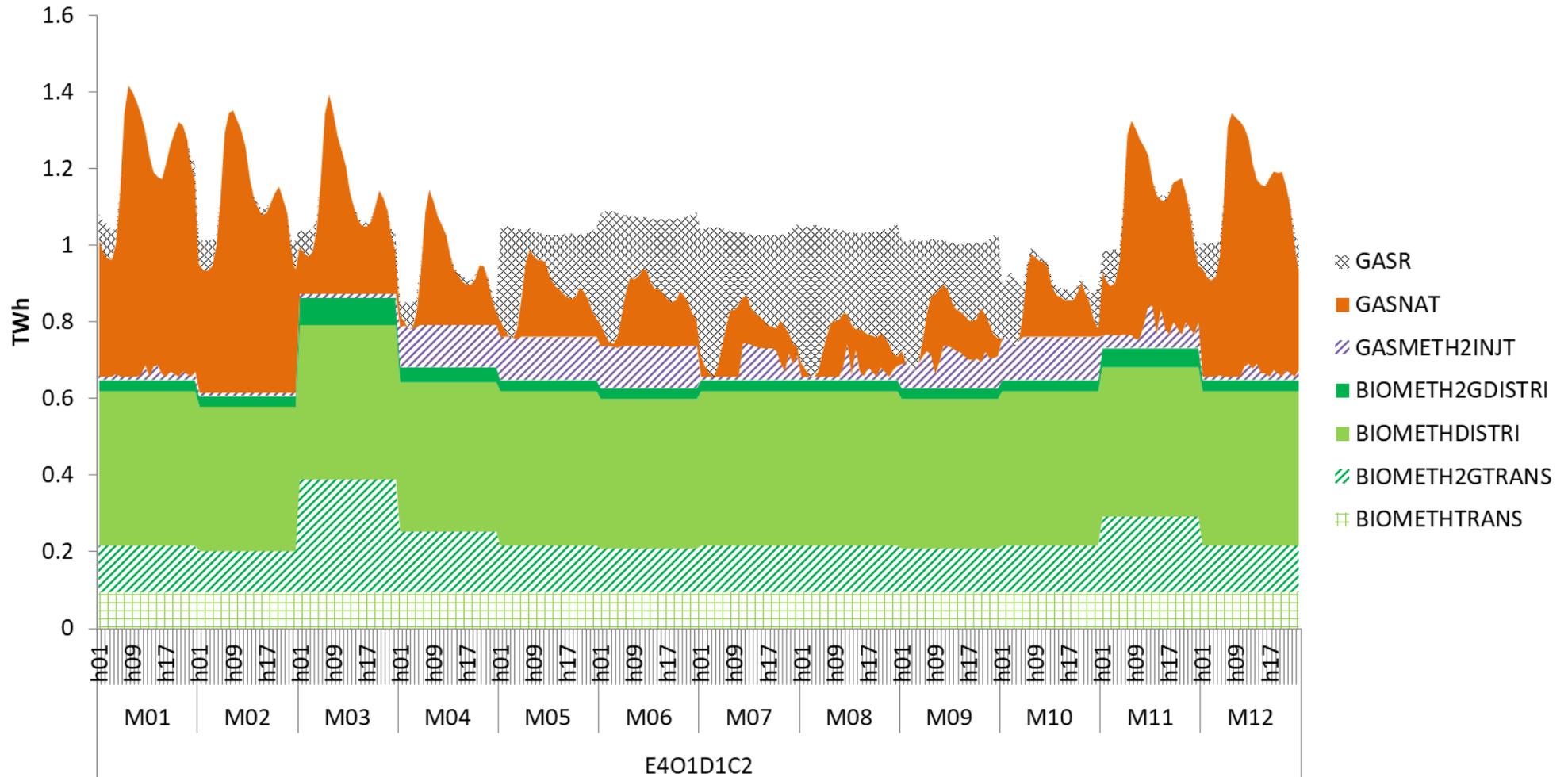
# Dimension prospective : quels enseignements?

## La flexibilité au niveau des usages: Gaz



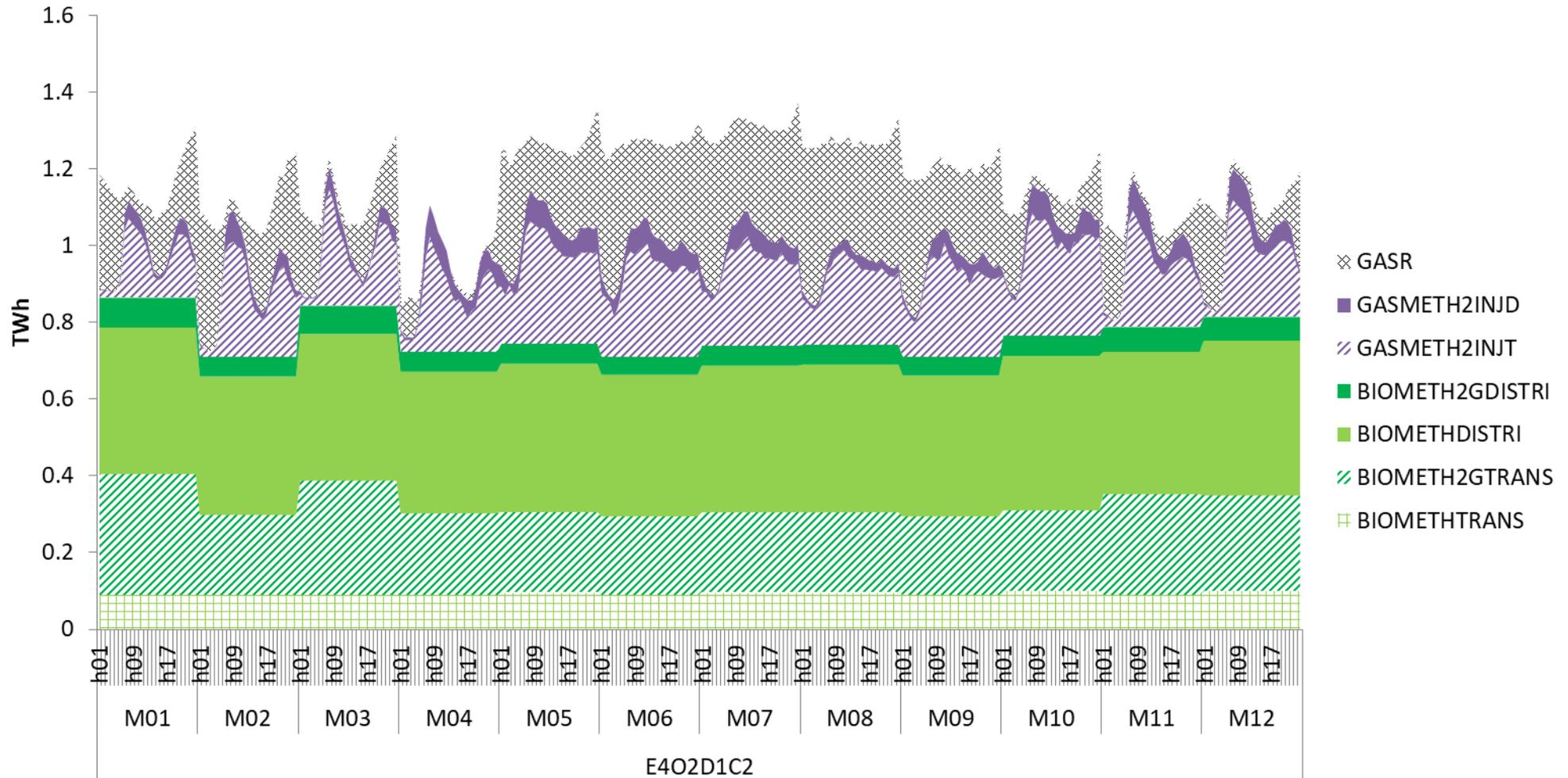
# Dimension prospective : quels enseignements?

## Flexibilité gaz 2060: rebours



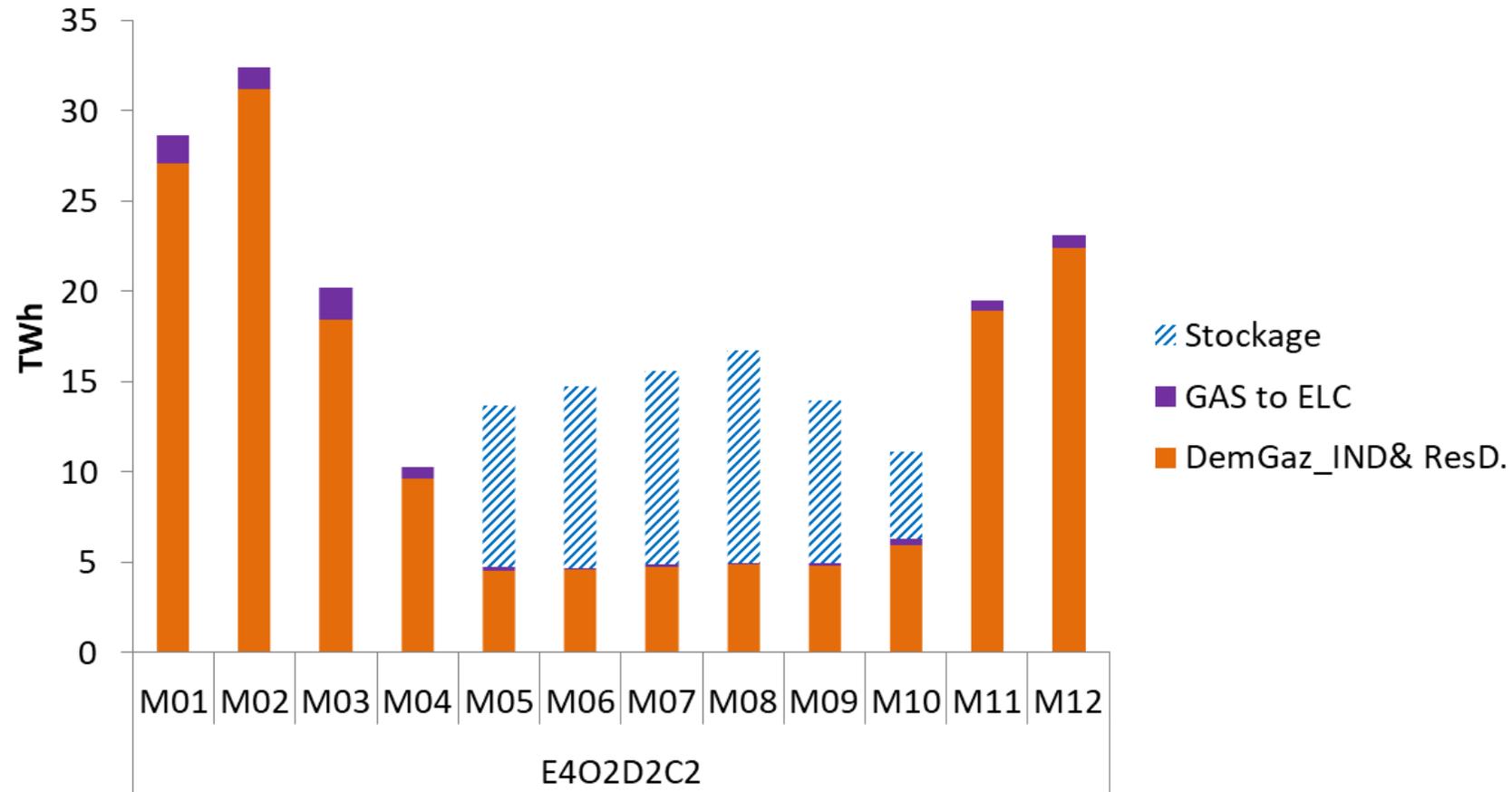
# Dimension prospective : quels enseignements?

## Flexibilité gaz 2060: rebours



# Dimension prospective : quels enseignements?

Flexibilité gaz 2060: stockage et affectation sur le réseau de transport



# Conclusion

---

- Co-optimiser les filières gaz et électricité est nécessaire pour évaluer la contribution relative des diverses options de flexibilité
- Pour les objectifs environnementaux les plus ambitieux la substitution d'une part de la demande gaz et le PtG complémentent le développement du biométhane
- L'hypothèse de disponibilité de la séquestration géologique est décisive pour le volume de PtG
- L'interaction des deux systèmes permet à l'échelle intra-annuelle:
  - de gérer la variabilité du système électrique et ce même pour des scénarios de faible acceptabilité du nucléaire. L'inertie du système gaz pourrait dans ce cas stabiliser le système électrique;
  - mettre en évidence le rôle que pourrait jouer le rebours sur le réseau de gaz et la disponibilité du stockage.
- Des extensions: ACV, demandes plus fortes, ENR + ou moins contraints

# Merci pour votre attention

[edi.assoumou@mines-paristech.fr](mailto:edi.assoumou@mines-paristech.fr)