



# **Caractérisation des besoins de flexibilité du système électrique en fonction de la pénétration des EnR**

17 Avril 2019 – Séminaire chaire MPDD  
Thomas Heggarty, R&D



# Sommaire

- Qu'est ce que la flexibilité ?
- Qui fournit la flexibilité aujourd'hui ?
- Comment le besoin de flexibilité va-t-il évoluer ?
- Quel rôle pour les interconnexions ?
- Quelle combinaison optimale de levier de flexibilité ?



1

**Qu'est ce que la flexibilité ?**



# Malgré une convergence progressive, toujours pas d'unanimité dans la définition

IAE, 2011:

*“the extent to which a **power system** can modify electricity production or consumption in response to variability, expected or otherwise. In other words, it expresses the capability of a power system to maintain reliable supply in the face of **rapid and large imbalances**, whatever the cause.”*

EPRI, 2016:

*“the ability to adapt to dynamic and changing conditions, for example, balancing supply and demand by the **hour or minute**, or deploying new generation and transmission resources **over a period of years**.”*

ENTSO-E, 2017:

*“the active management of **an asset** that can impact **system balance** or **grid power flows** on a **short-term basis**, i.e. from day-ahead to real-time.”*

CEER, 2018:

*“the capacity of the electricity system to respond to changes that may affect the **balance of supply and demand** at all times.”*

Holttinen et al, 2013:

*“the ability of a **power system** to respond to changes in power demand and generation.”*



# Malgré une convergence progressive, toujours pas d'unanimité dans la définition

IAE, 2011:

*“the extent to which a **power system** can modify electricity production or consumption in response to variability, expected or otherwise. In other words, it expresses the capability of a power system to maintain reliable supply in the face of **rapid and large imbalances**, whatever the cause.”*

EPRI, 2016:

*“the ability to adapt to dynamic and changing conditions, for example, balancing supply and demand by the **hour or minute**, or deploying new generation and transmission resources **over a period of years**.”*

ENTSO-E, 2017:

*“the active management of **an asset** that can impact **system balance** or **grid power flows** on a **short-term basis**, i.e. from day-ahead to real-time.”*

CEER, 2018:

*“the capacity of the electricity system to respond to changes that may affect the **balance of supply and demand** at all times.”*

Holttinen et al, 2013:

*“the ability of a **power system** to respond to changes in power demand and generation.”*



# Malgré une convergence progressive, toujours pas d'unanimité dans la définition

IAE, 2011:

*“the extent to which a **power system** can modify electricity production or consumption in response to variability, expected or otherwise. In other words, it expresses the capability of a power system to maintain reliable supply in the face of **rapid and large imbalances**, whatever the cause.”*

EPRI, 2016:

*“the ability to adapt to dynamic and changing conditions, for example, balancing supply and demand by the **hour or minute**, or deploying new generation and transmission resources **over a period of years**.”*

ENTSO-E, 2017:

*“the active management of **an asset** that can impact **system balance** or **grid power flows** on a **short-term basis**, i.e. from day-ahead to real-time.”*

CEER, 2018:

*“the capacity of the electricity system to respond to changes that may affect the **balance of supply and demand** at all times.”*

Holttinen et al, 2013:

*“the ability of a **power system** to respond to changes in power demand and generation.”*



# Malgré une convergence progressive, toujours pas d'unanimité dans la définition

IAE, 2011:

*“the extent to which a **power system** can modify electricity production or consumption in response to variability, expected or otherwise. In other words, it expresses the capability of a power system to maintain reliable supply in the face of **rapid and large imbalances**, whatever the cause.”*

EPRI, 2016:

*“the ability to adapt to dynamic and changing conditions, for example, balancing supply and demand by the **hour or minute**, or deploying new generation and transmission resources **over a period of years**.”*

ENTSO-E, 2017:

*“the active management of **an asset** that can impact **system balance** or **grid power flows** on a **short-term basis**, i.e. from day-ahead to real-time.”*

CEER, 2018:

*“the capacity of the electricity system to respond to changes that may affect the **balance of supply and demand** at all times.”*

Holttinen et al, 2013:

*“the ability of a **power system** to respond to changes in power demand and generation.”*

# Malgré une convergence progressive, toujours pas d'unanimité dans la définition

IAE, 2011:

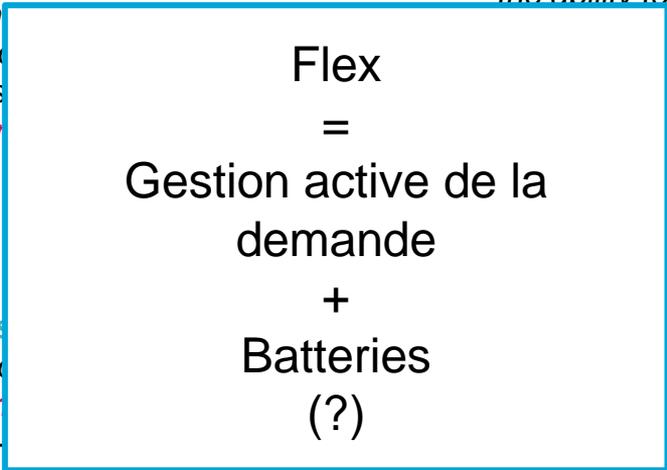
“the extent to which a **power system** can modify electricity production or consumption variability, expected or otherwise. In other words, it expresses the capability of a power system to ensure a reliable supply in the face of **rapid and unpredictable imbalances**, whatever the cause.”

ENTSO-E, 2017:

“the active management of **an asset** that can impact **system balance** and **grid power flows** on a **short-term basis**, i.e. from day-ahead to real-time.”

EPRI, 2016:

“the ability to adapt to dynamic and changing conditions, for example, balancing supply and demand by the **hour or minute**, or providing new generation and transmission capacity **over a period of years**.”



Holttinen et al, 2013:

“the ability of a **power system** to respond to changes in power demand and generation.”

may affect the **balance of supply and demand** at all times.”

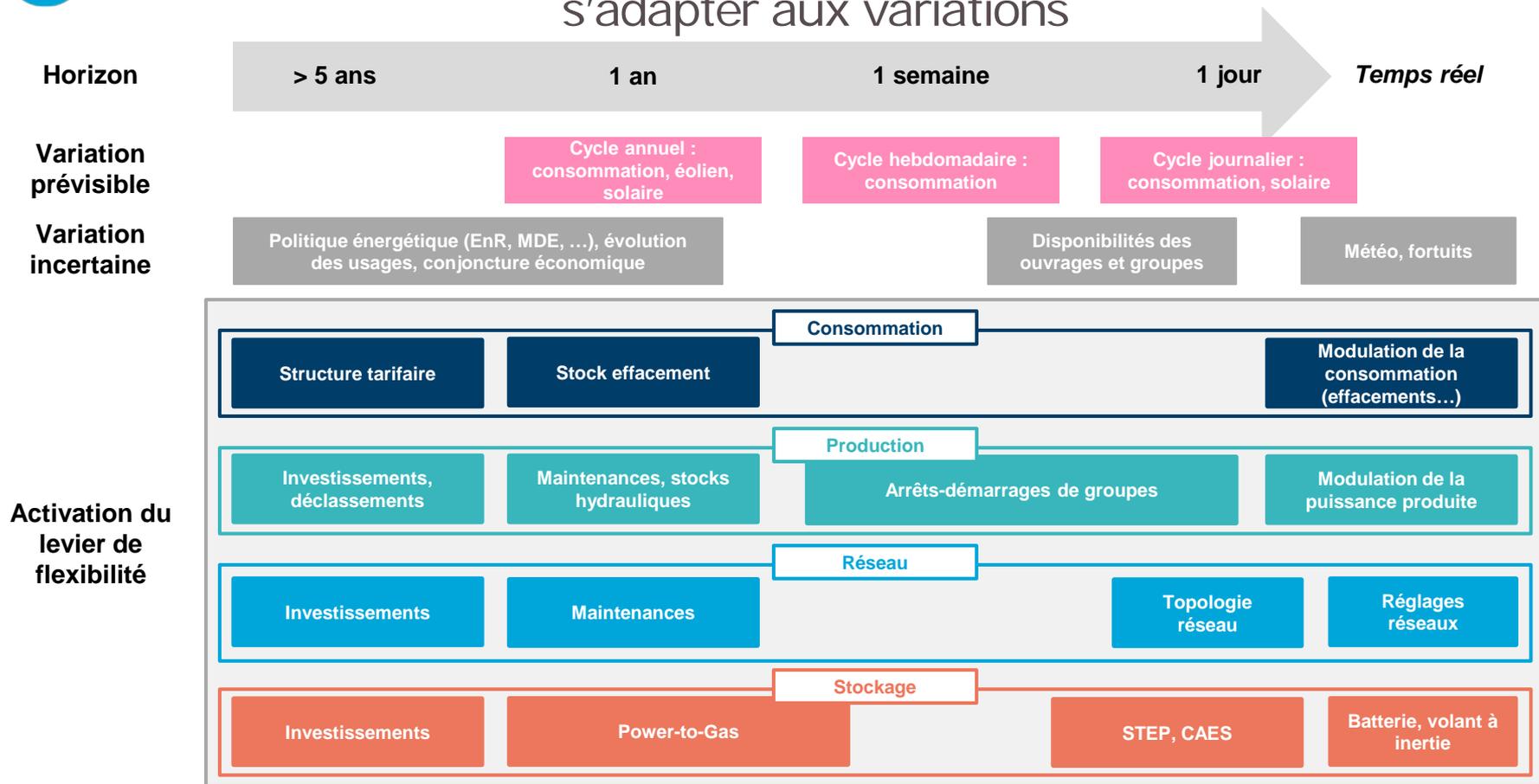
## Et à RTE, qu'est ce qu'on en pense ?

La flexibilité est comprise comme la capacité du système à s'adapter aux variations

- De consommations, de productions, et des flux qui résultent de leur répartition géographique ;
- Prévisibles ou incertaines ;
- À de nombreux horizons temporels.



# La flexibilité est comprise comme la capacité du système à s'adapter aux variations



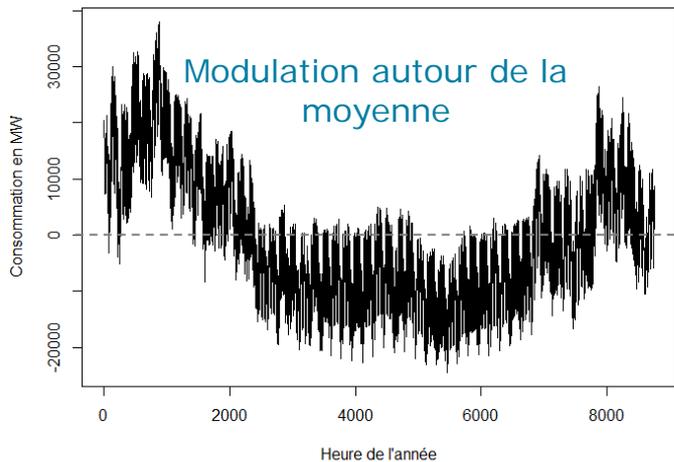


**2**

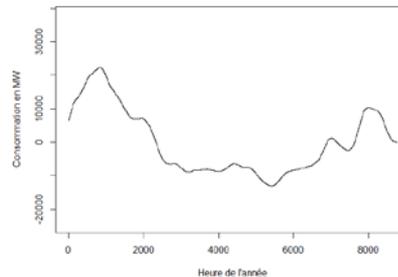
**Qui fournit la flexibilité  
aujourd'hui ?**



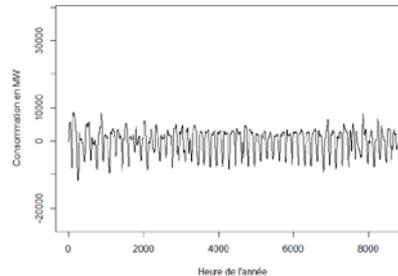
# Décomposition d'une courbe de charge



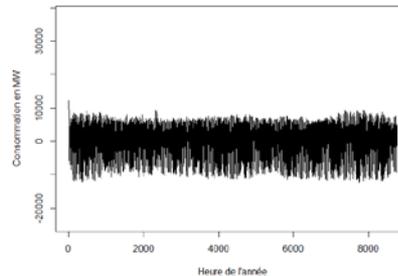
Modulation annuelle



Modulation hebdo

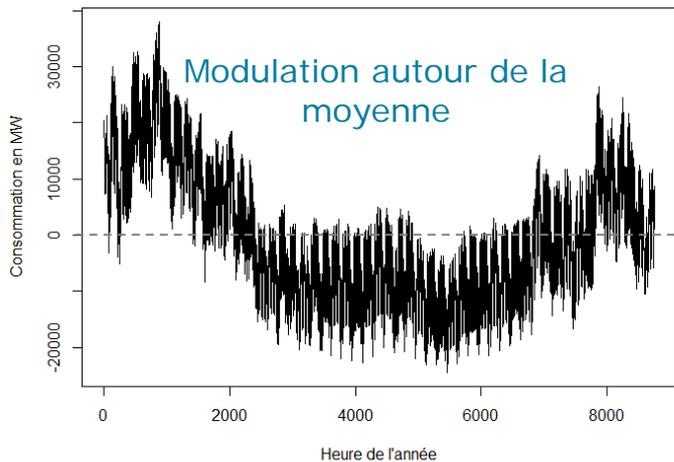


Modulation journalière

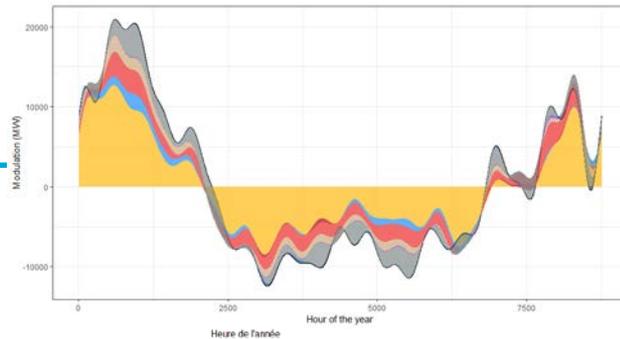




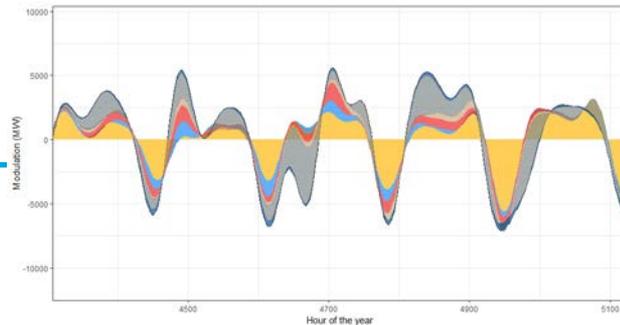
# Décomposition d'une courbe de charge



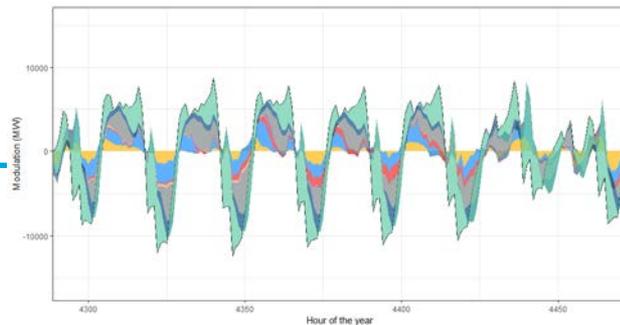
Modulation annuelle



Modulation hebdo

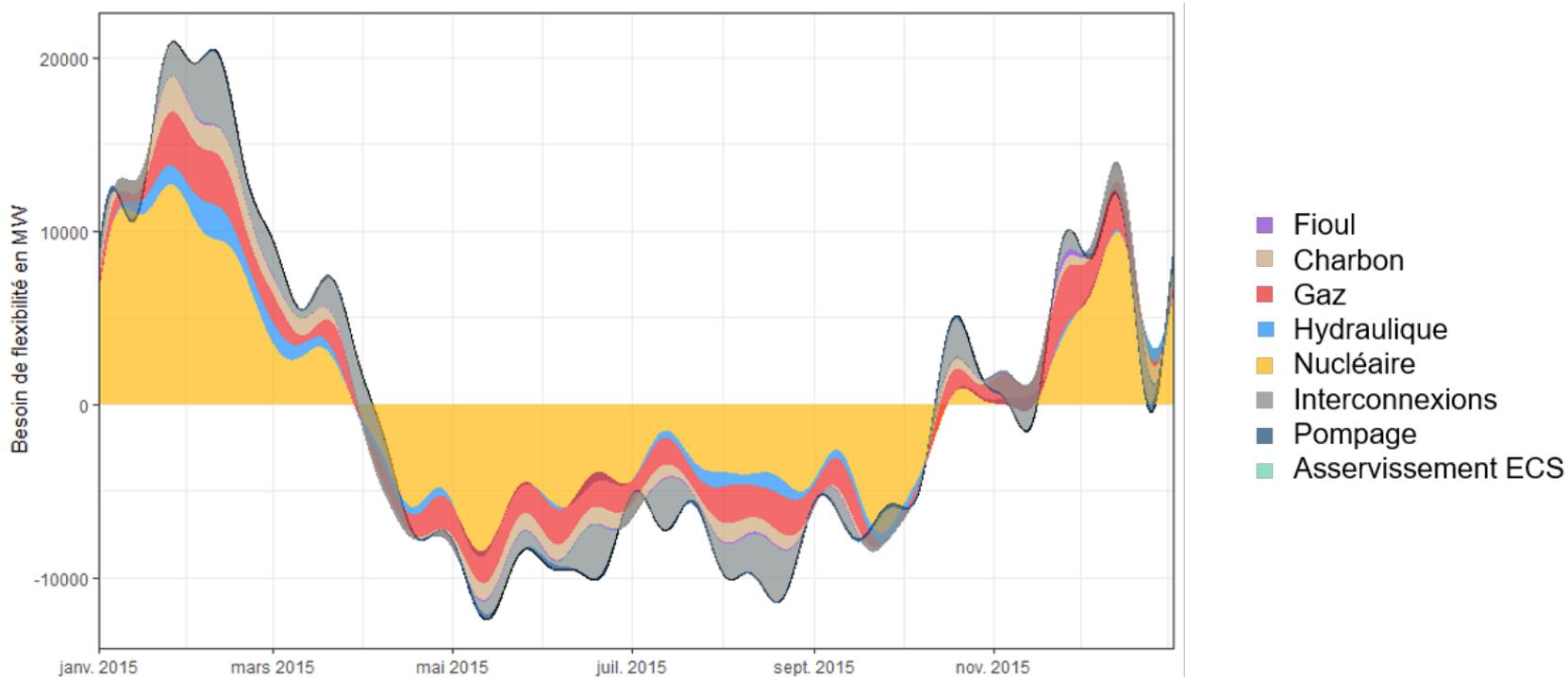


Modulation journalière





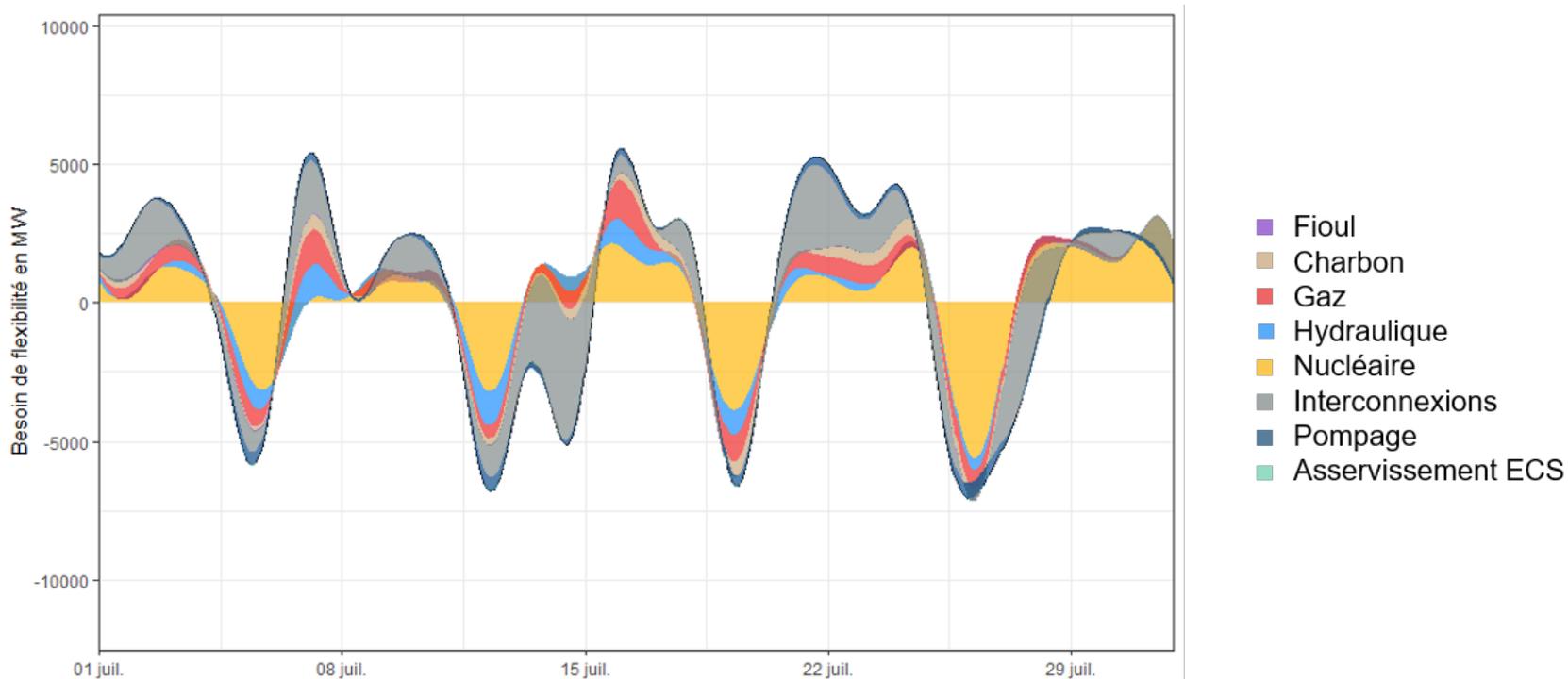
# En France, le besoin annuel est majoritairement couvert par le nucléaire



Données de réalisé 2015



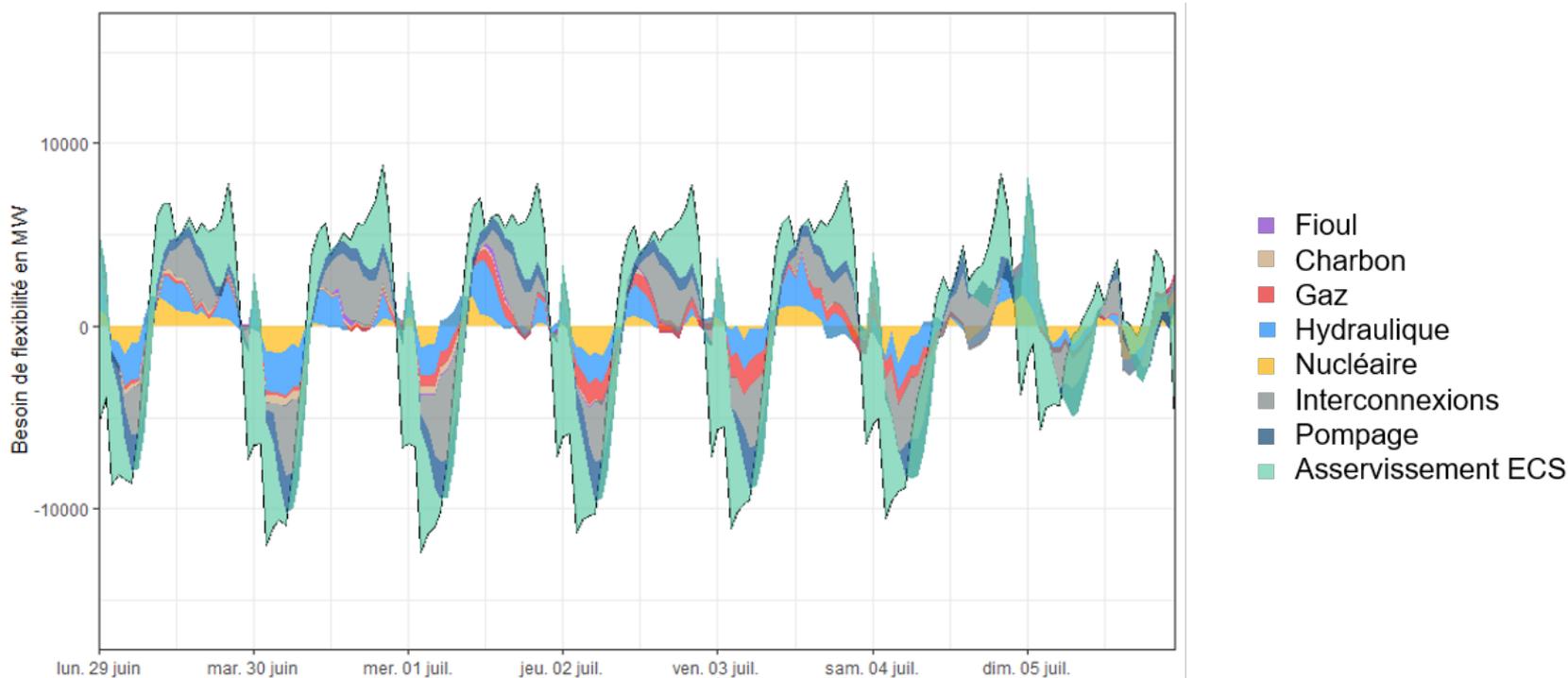
# Le besoin hebdomadaire est couvert principalement par le nucléaire, les interconnexions et le gaz



Données de réalisé 2015



# Le besoin journalier est principalement couvert par l'asservissement tarifaire



Données de réalisé 2015

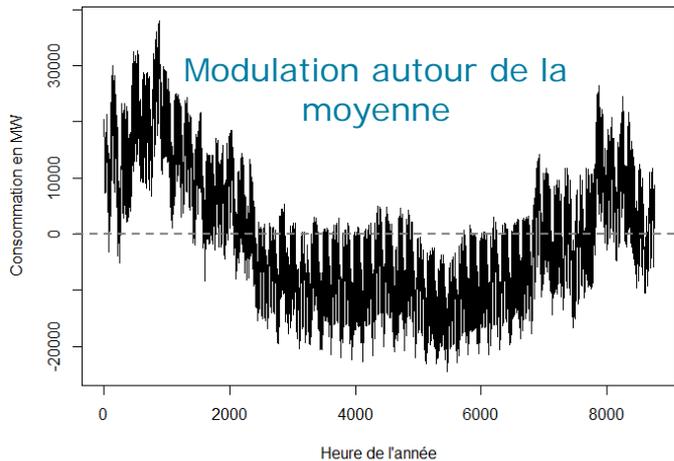


**3**

**Comment le besoin de  
flexibilité va-t-il évoluer ?**



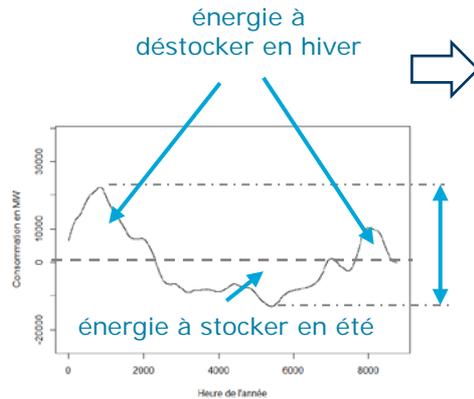
# Indicateurs des besoins en énergie et en puissance



Modulation annuelle

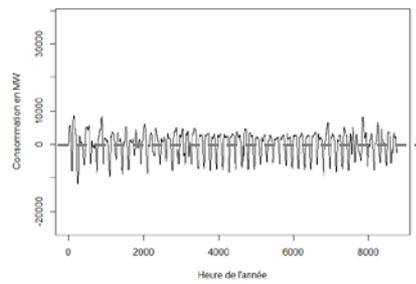
Modulation hebdo

Modulation journalière

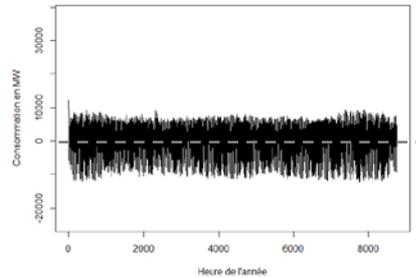


Besoin annuel dimensionné en énergie et en puissance

Écart  $P_{max} - P_{min}$



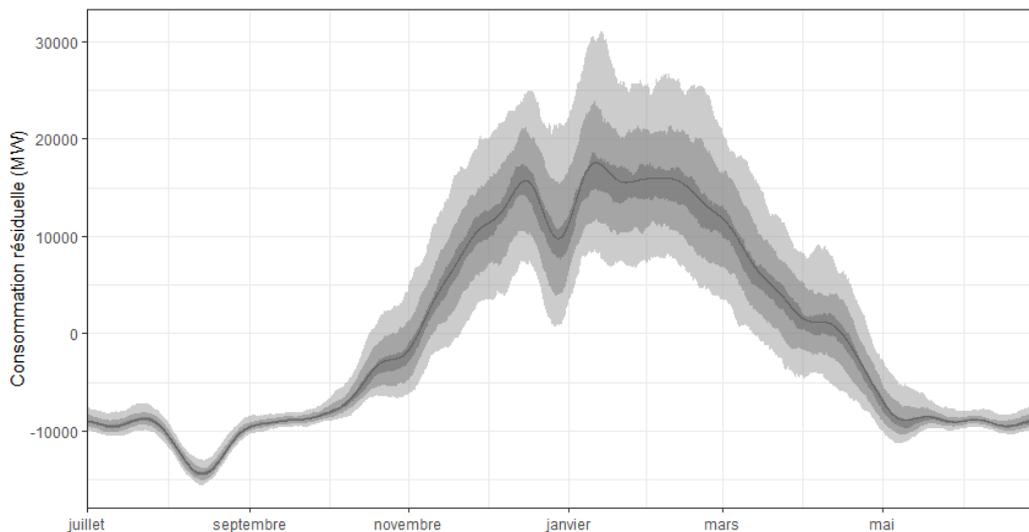
Besoin hebdo dimensionné en énergie et en puissance



Besoin journalier dimensionné en énergie et en puissance

# Description des données utilisées

200 années de séries temporelles de consommation et de productions solaire et éoliennes, au pas horaire.



Composante annuelle de la consommation française 2017, sur la base des 200 années simulées

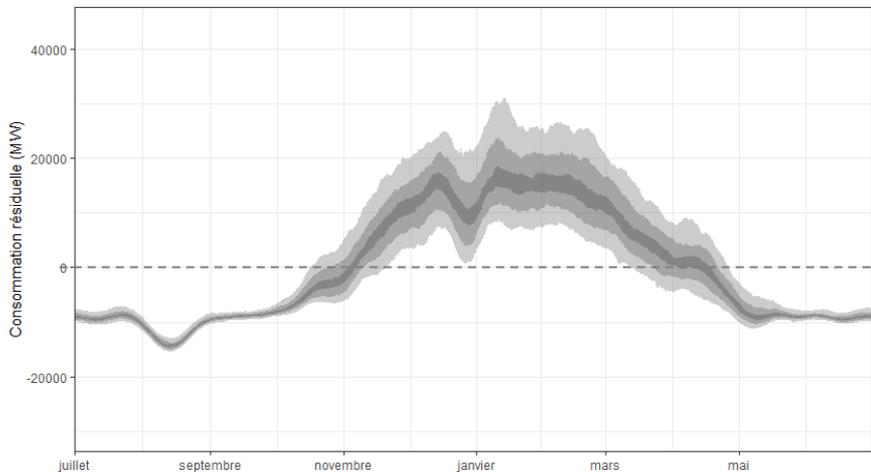


# Effet de l'éolien et du PV sur le besoin de flexibilité Mesuré sur la demande résiduelle (consommation – productions fatales)

## Composante annuelle

### Effet du photovoltaïque

Pénétration du solaire à 0 %



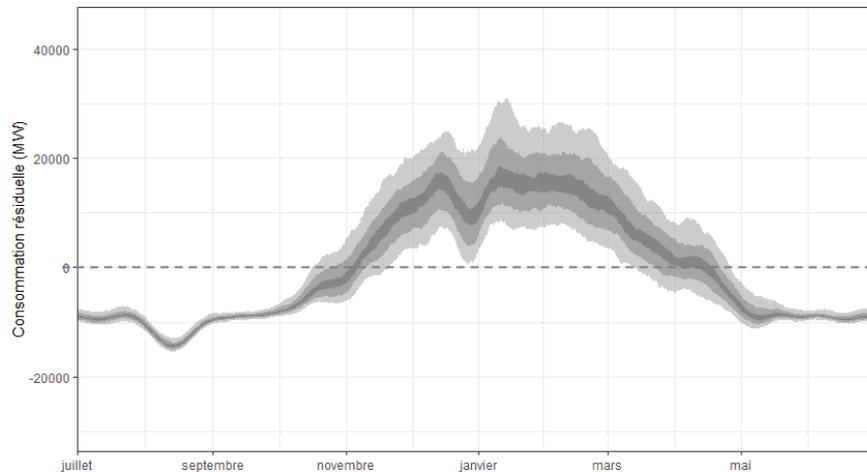
Besoin en puissance : ↗

Besoin en énergie : ↗

Consommation résiduelle française,  
sur la base des 200 années

### Effet de l'éolien

Pénétration de l'éolien à 0 %



Besoin en puissance : ↗

Besoin en énergie : ↘

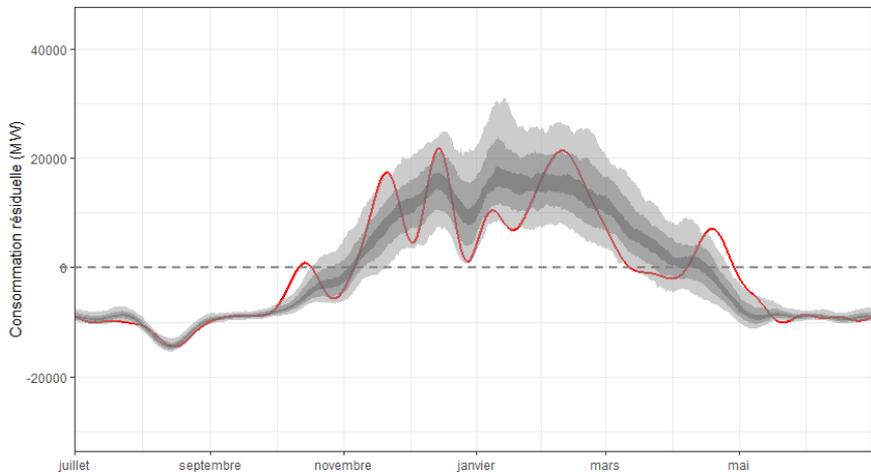
# Effet de l'éolien et du PV sur le besoin de flexibilité

Mesuré sur la demande résiduelle (consommation – productions fatales)

## Composante annuelle

### Effet du photovoltaïque

Pénétration du solaire à 0 %



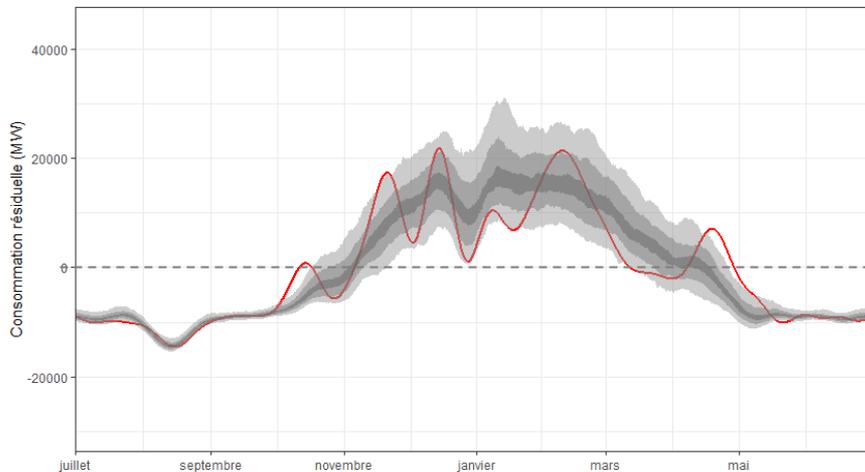
Besoin en puissance : ↗

Besoin en énergie : ↗

Consommation résiduelle française,  
sur la base des 200 années

### Effet de l'éolien

Pénétration de l'éolien à 0 %



Besoin en puissance : ↗

Besoin en énergie : ↘

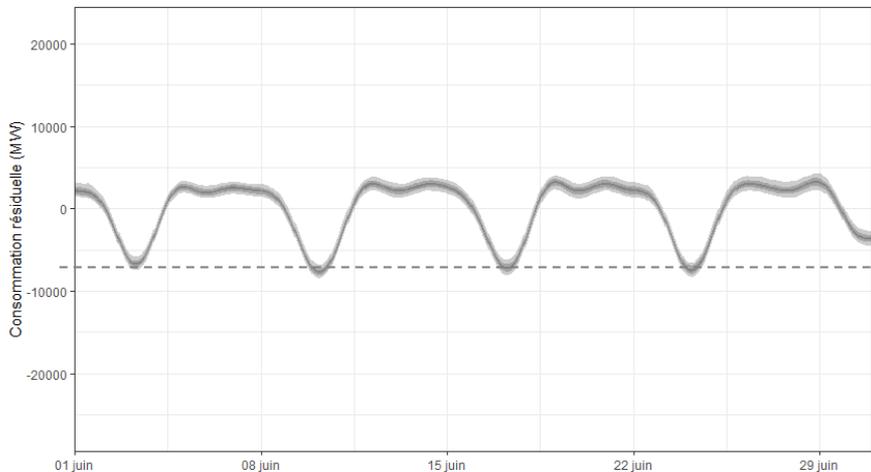


# Effet de l'éolien et du PV sur le besoin de flexibilité Mesuré sur la demande résiduelle (consommation – productions fatales)

## Composante hebdomadaire

### Effet du photovoltaïque

Pénétration du solaire à 0 %



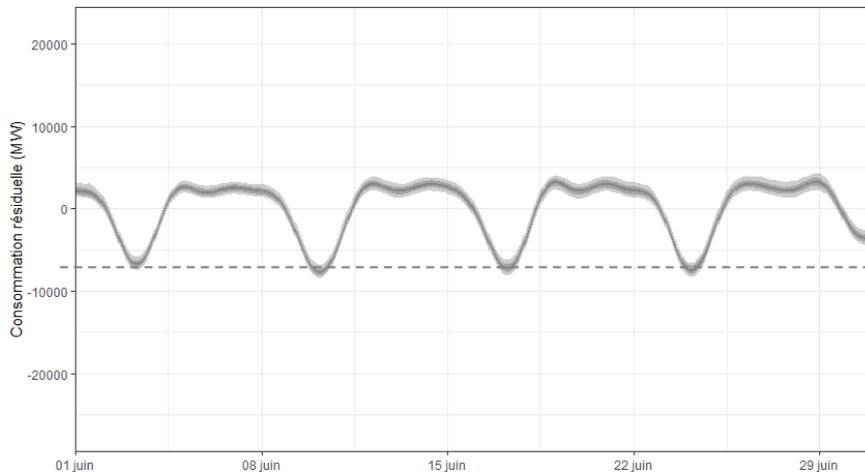
Besoin en puissance :  $\approx$

Besoin en énergie :  $\approx$

Consommation résiduelle française,  
sur la base des 200 années

### Effet de l'éolien

Pénétration de l'éolien à 0 %



Besoin en puissance : ↗

Besoin en énergie : ↗

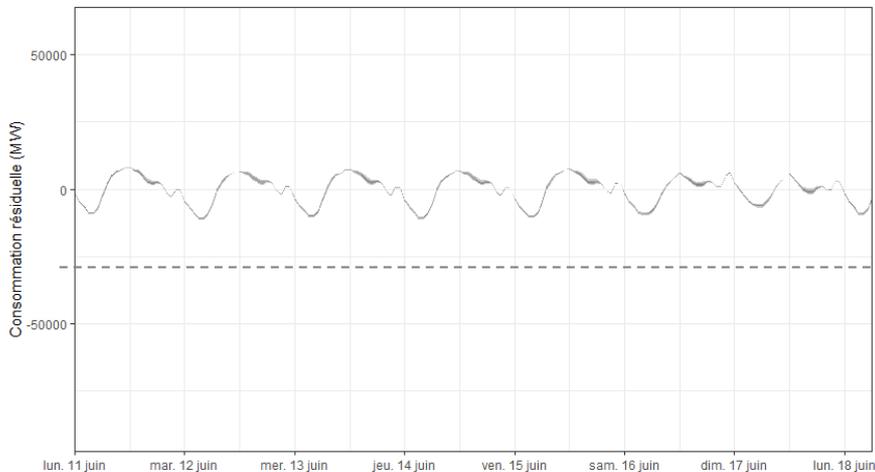


# Effet de l'éolien et du PV sur le besoin de flexibilité Mesuré sur la demande résiduelle (consommation – productions fatales)

## Composante journalière

### Effet du photovoltaïque

Pénétration du solaire à 0 %



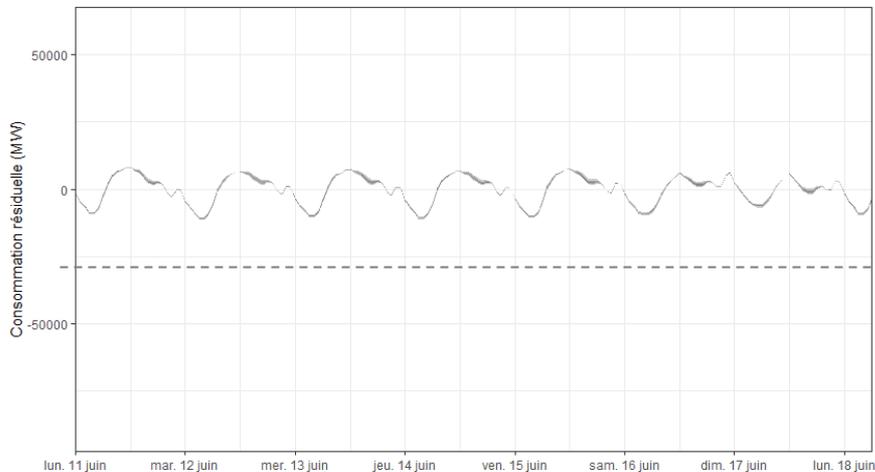
Besoin en puissance : ↗

Besoin en énergie : ↗

Consommation résiduelle française,  
sur la base des 200 années

### Effet de l'éolien

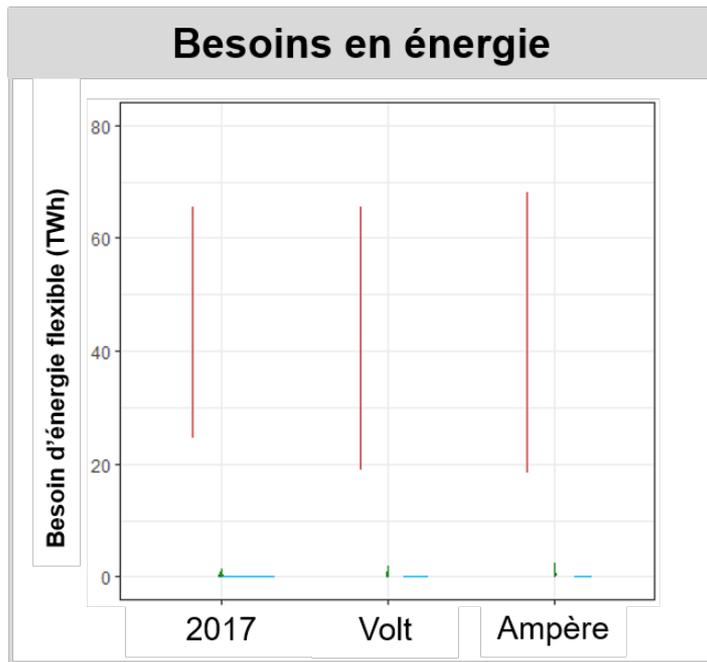
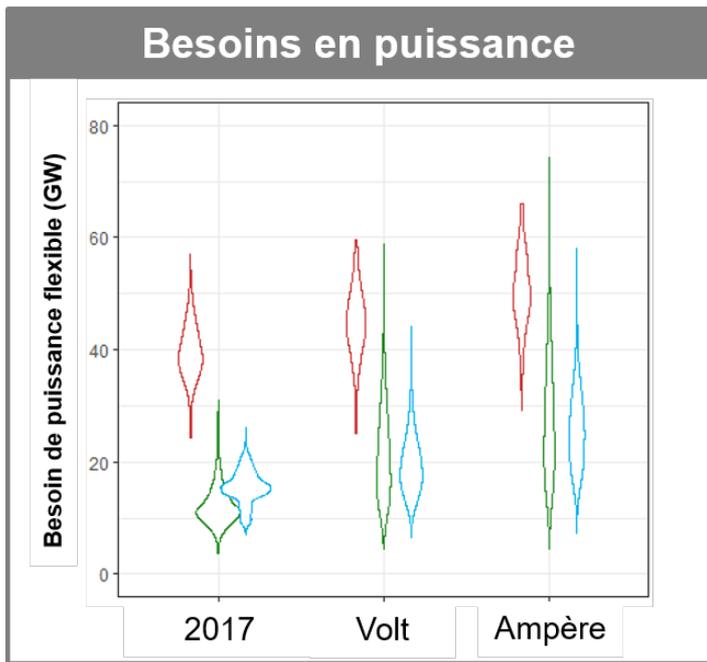
Pénétration de l'éolien à 0 %



Besoin en puissance : ≈

Besoin en énergie : ≈ 26

# Besoin de flexibilité en 2017 et en 2036



□ **annuel**     
 □ **hebdo**     
 □ **journalier**

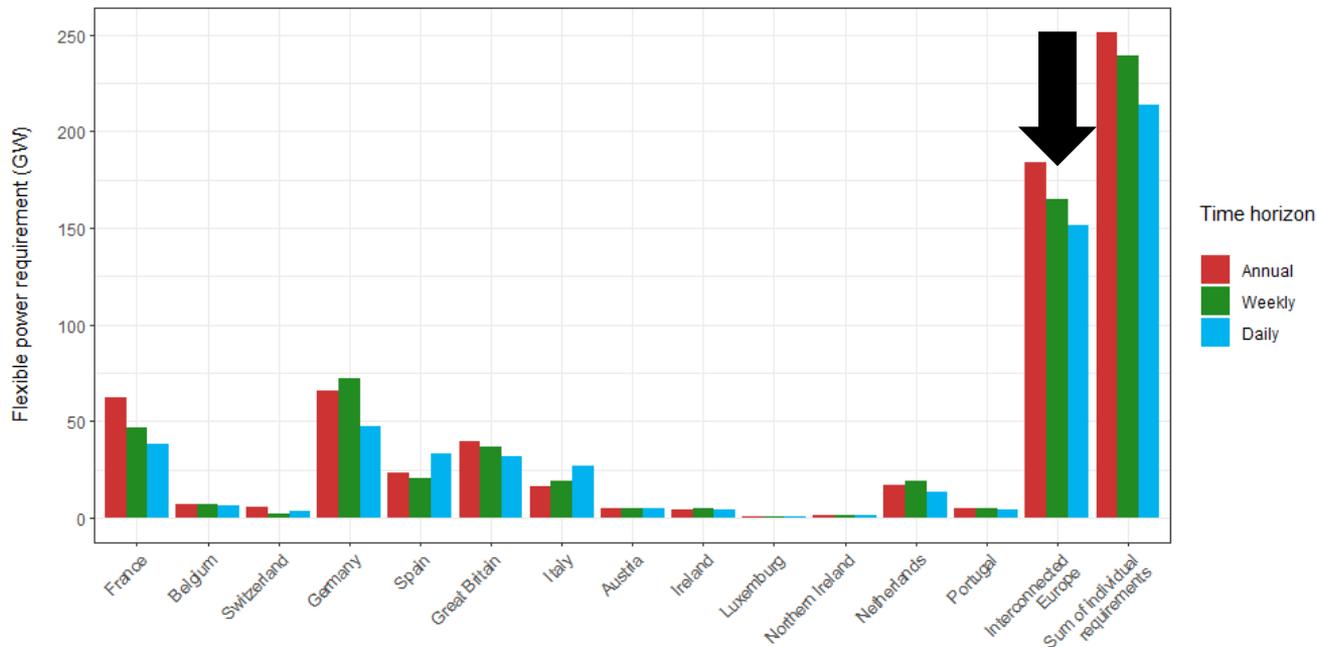


4

**Quel rôle pour les  
interconnexions ?**



En 2036, l'interconnexion en plaque de cuivre de l'Europe de l'ouest réduirait le besoin de flexibilité d'environ 30%

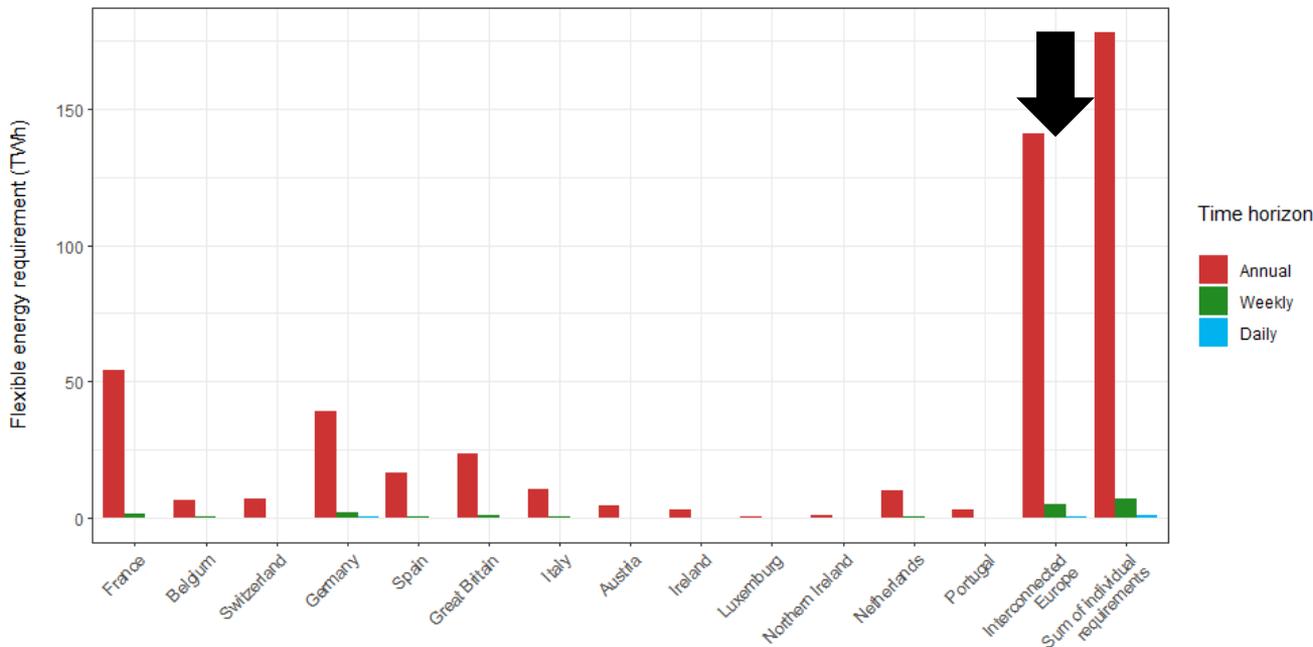


## Besoins de puissance flexible

95<sup>ème</sup> percentile du besoin de flexibilité, évalué sur la base des 200 années dans le scénario Ampère en 2036



En 2036, l'interconnexion en plaque de cuivre de l'Europe de l'ouest réduirait le besoin de flexibilité d'environ 30%



## Besoins d'énergie flexible

95<sup>ème</sup> percentile du besoin de flexibilité, évalué sur la base des 200 années dans le scénario Ampère en 2036



**5**

**Quelle combinaison optimale de leviers de flexibilité ?**

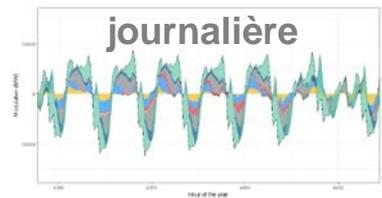
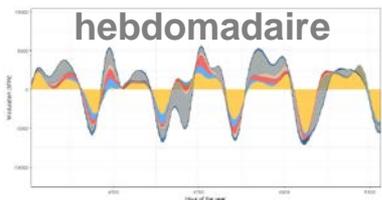
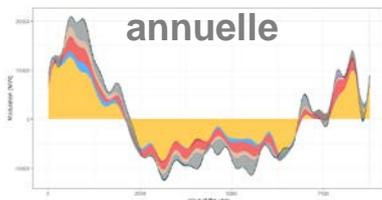
# O S M O S E

Optimal System-Mix Of flexibility Solutions for European electricity

BUDGET	PARTNERS	PROJECT TEAM	PROJECT PERIOD
			
28 million €	33 partners from 9 countries	An equivalent of 60 people full time	A 4 years project (2018-2021)

# En résumé : évolution des besoins de flexibilité liés aux ENR

## Composante



## Evolution du besoin

**Augmentation (en puissance seulement) due à l'éolien**

**Augmentation forte due quasi-intégralement à l'éolien**

**Augmentation forte due très majoritairement au solaire**

La mutualisation des productions et consommations avec nos voisins européens permet de limiter cette augmentation du besoin de flexibilité

# Merci pour votre attention !

Les résultats présentés ici ont donné lieu à la publication de deux articles :

- Le stockage : un levier de flexibilité parmi d'autres, *La Revue de l'Énergie*
- Multi-temporal assessment of power system flexibility requirement, *Applied Energy*

[thomas.heggarty@rte-france.com](mailto:thomas.heggarty@rte-france.com)