



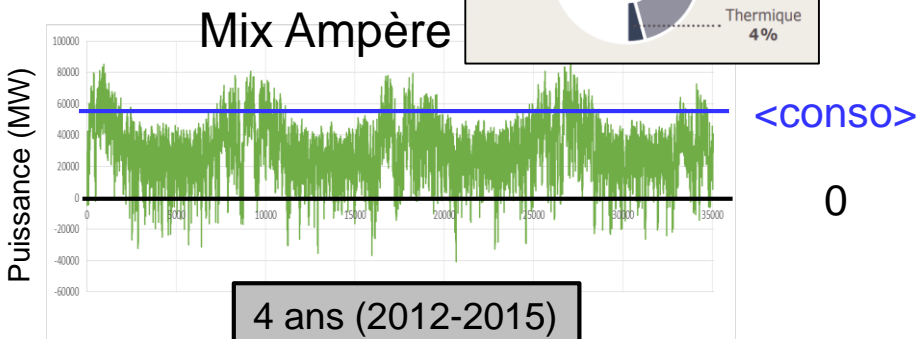
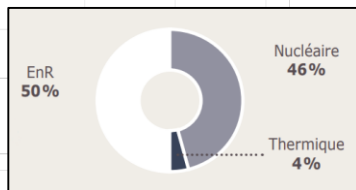
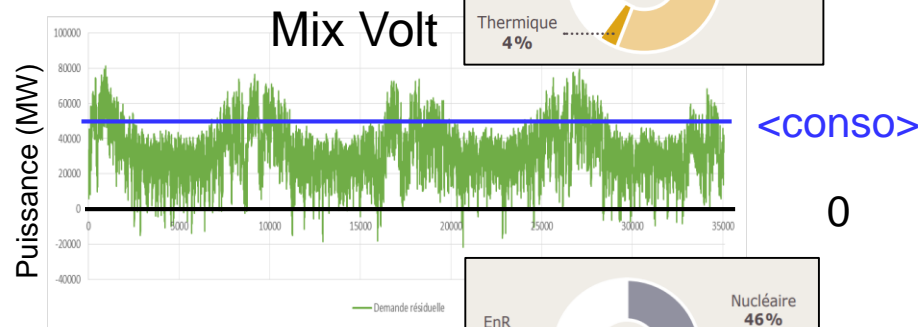
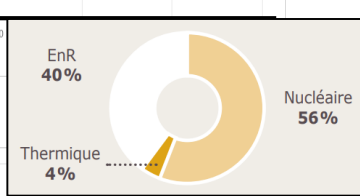
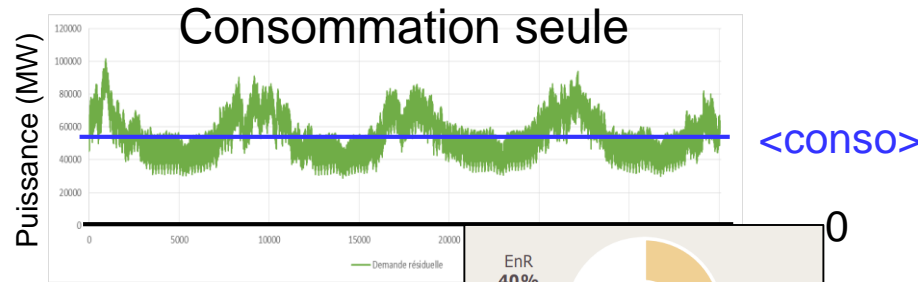
# LE STOCKAGE D'ENERGIE ELECTRIQUE

10<sup>ème</sup> journée I-tésé 19/06/2018

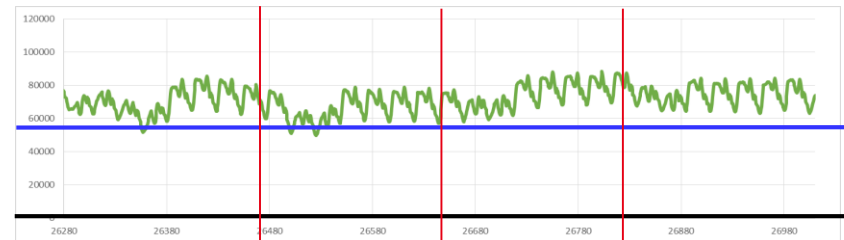
Fabien Perdu (DEHT)  
Elvire Leblanc (I-tésé)

# BESOINS DE FLEXIBILITÉ CROISSANTS

- Introduction d'intermittence supplémentaire par PV+éolien  
Séries temporelles de demande résiduelle = conso - PV - éolien

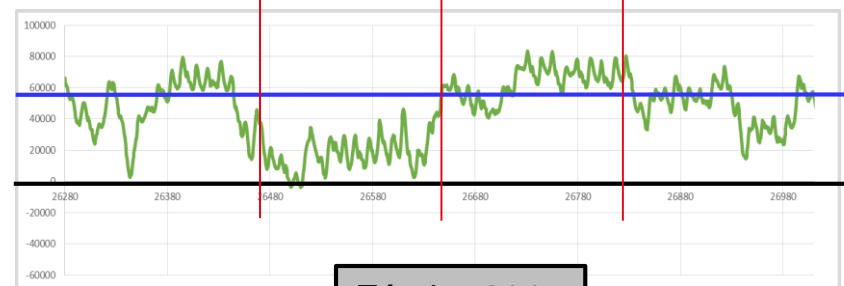
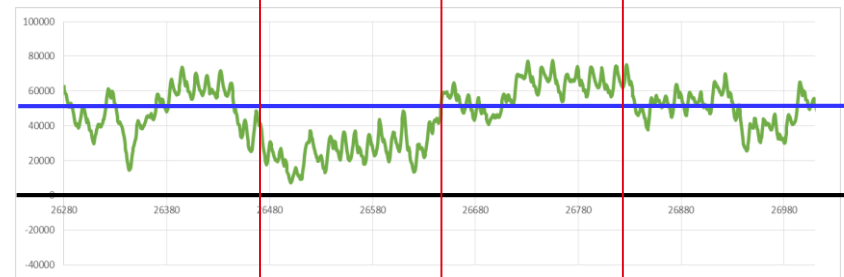


4 ans (2012-2015)



Semaine avec vent

Semaine sans vent



Février 2015

# BESOINS DE FLEXIBILITÉ CROISSANTS

- **Flexibilité à apporter par**

- Production pilotable (nucléaire, thermique à flamme, barrages)
- Gestion de la demande (tarifs différenciés, effacement)
- Stockage

Nombre d'heures de consommation à déplacer	Sans ENRi	Mix Volt	Mix Ampère
Pour lisser sur 1 jour	1 h	2 h	2.5 h
Pour lisser sur 1 semaine	7 h	15 h	20 h
Pour lisser sur 1 mois	35 h	60 h	70 h
Pour lisser sur 1 an	800 h	800 h	800 h

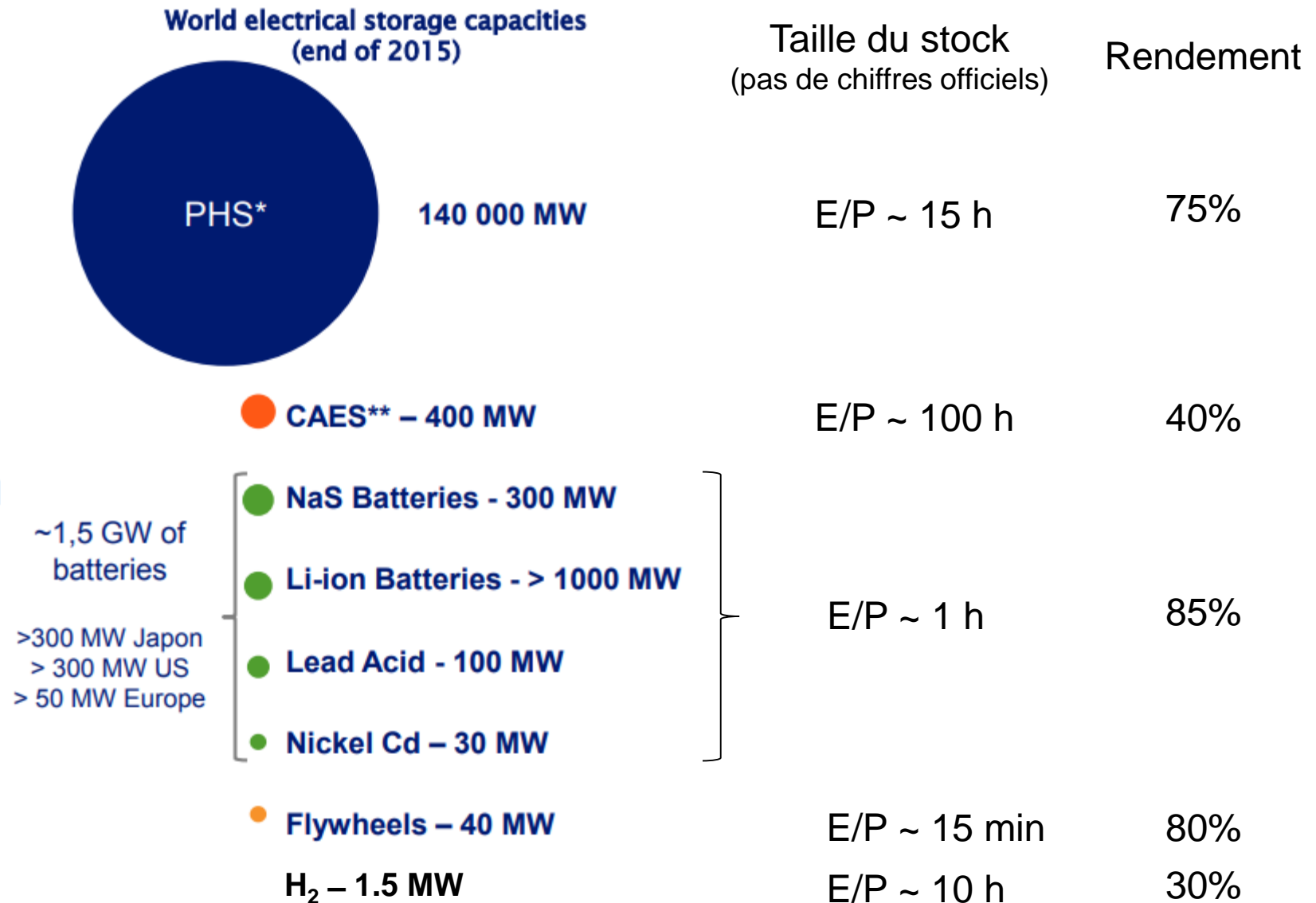
Le stock nécessaire croît très vite avec la durée considérée et avec le taux de pénétration d'ENRi

Tout l'effacement en 2017	1,2 h de conso
Stock des STEP	2 h de conso
Stock des barrages	30 h de conso
<b>Arrêt du nucléaire 10% du temps</b>	<b>1000 h de conso</b>

sur les deux mécanismes NEBEF + ajustement, selon le bilan électrique RTE

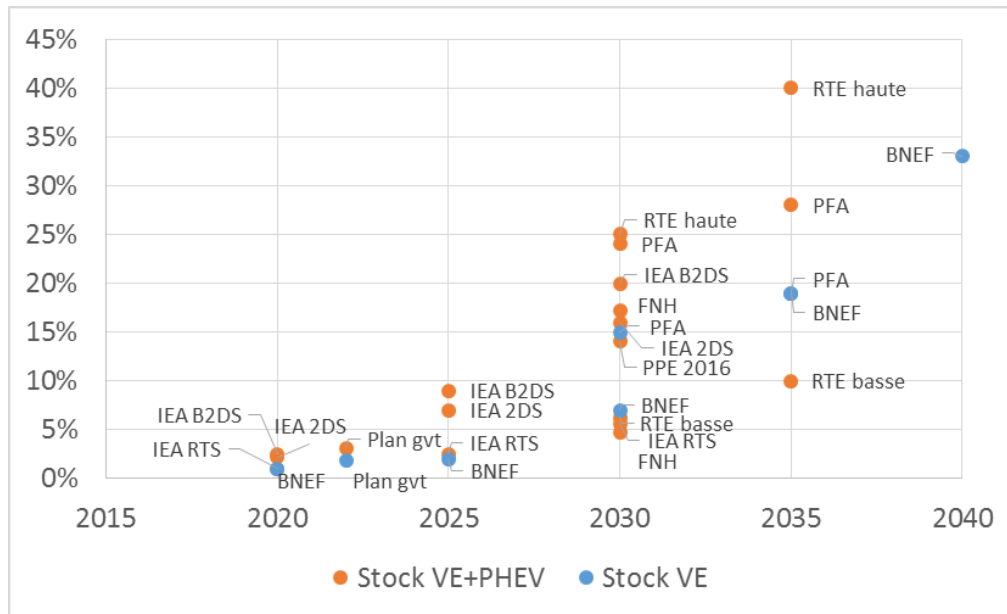
Entre le niveau haut et le niveau bas d'une même année

# COMMENT STOCKER L'ÉLECTRICITÉ ?





## Les véhicules électrifiés



*Exemple 30% de véhicules électrifiés (sur 32 millions de VP + 8 millions de VUL)*

- consommation annuelle : 25-30 TWh = **4 tranches nucléaires**
- stock batteries : 200-500 GWh ( VE / PHEV de 25%-75% à 75%-25%)  
soit 4 à 9 h de conso -> **pertinent pour le lissage à la journée**
- puissance d'échange avec le réseau : 30 - 100 GW  
(pénétration de la charge rapide : de 0 à 10%, 20% à 50% de véhicules non connectés)

## Les véhicules électrifiés

	Trajets courts (<50km)	Trajets longs (>50km)
Batterie	5-10 kWh	50 kWh et plus
Cycles	~1 cycle/jour	Usage occasionnel
Recharge	Lente 3kW suffit	Charge rapide occasionnelle
Kilométrage	70%	30%

Pour faire les derniers 30% de service en tout électrique, les 40 kWh de batterie additionnelle coûtent à la fabrication

- ~10000 €

- ~8 kg de cobalt (critique)

- ~50 GJ<sub>prim</sub> (~15 MWh<sub>prim</sub>)

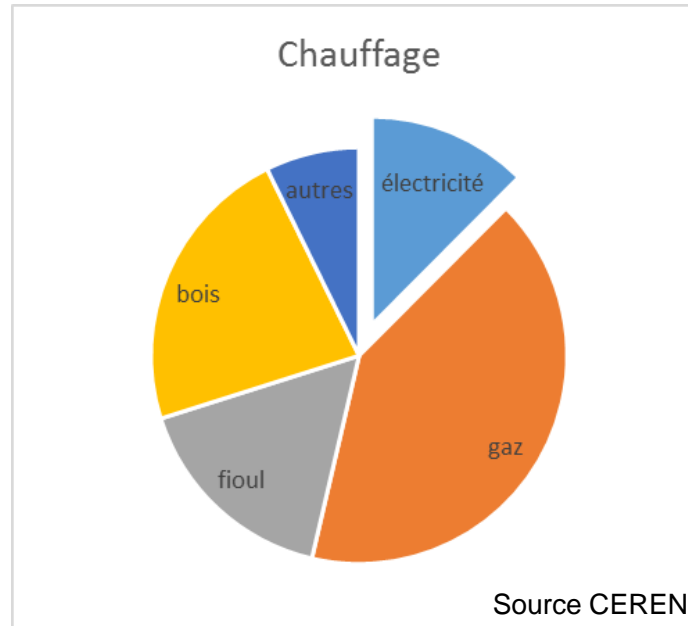
- ~5 t<sub>CO2</sub>

Le coût additionnel des bornes de recharge rapide (renforcement réseau) reste à évaluer.

**Ces considérations incitent à envisager le PHEV comme une solution potentiellement plus vertueuse que le véhicule tout électrique.**

## La chaleur

Le chauffage représente 425 TWh<sub>th</sub> (2016, résidentiel et tertiaire)  
dont **53 TWh<sub>elec</sub>** qui créent la saisonnalité de la demande



Electrifier *par exemple* 30% des usages gaz et fioul représenterait  
~30 TWh<sub>elec</sub>/an = **4 tranches nucléaires** (pompe à chaleur de COP=3, en incluant cuisson et ECS)

Et de nouveaux défis de stockage... (500h de consommation)

## La chaleur

La source de variabilité saisonnière est thermique.

Le stockage saisonnier pourrait-il être thermique plutôt que électrique ?

rendement ~ 60% en saisonnier (Bauer et al 2010)

coût du stockage ~ 5-10 centimes / kWh<sub>th</sub> (Mangold 2007)

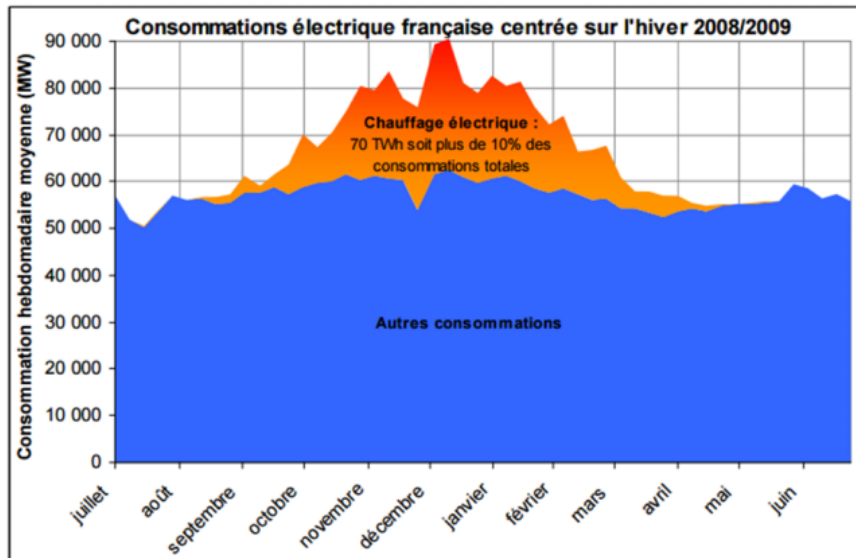


Figure 7 : variation saisonnière de la consommation d'électricité en France liée au chauffage électrique  
Source : Données RTE, analyse association négaWatt





## CONCLUSION

Nombre d'heures de consommation à déplacer	Sans ENRi	Mix Volt	Mix Ampère
Pour lisser sur 1 jour	1 h	2 h	2.5 h
Pour lisser sur 1 semaine	7 h	15 h	20 h
Pour lisser sur 1 mois	35 h	60 h	70 h
Pour lisser sur 1 an	800 h	800 h	800 h



Les nouveaux usages électriques, outre une consommation supplémentaire, pourraient aussi apporter des solutions de flexibilité au réseau pour aider à l'équilibre offre-demande