Analyse des enjeux technico-économiques associés à l'intégration des voitures électriques (VGI) aux réseaux

Maria Juliana SUAREZ FORERO

31 mai 2023

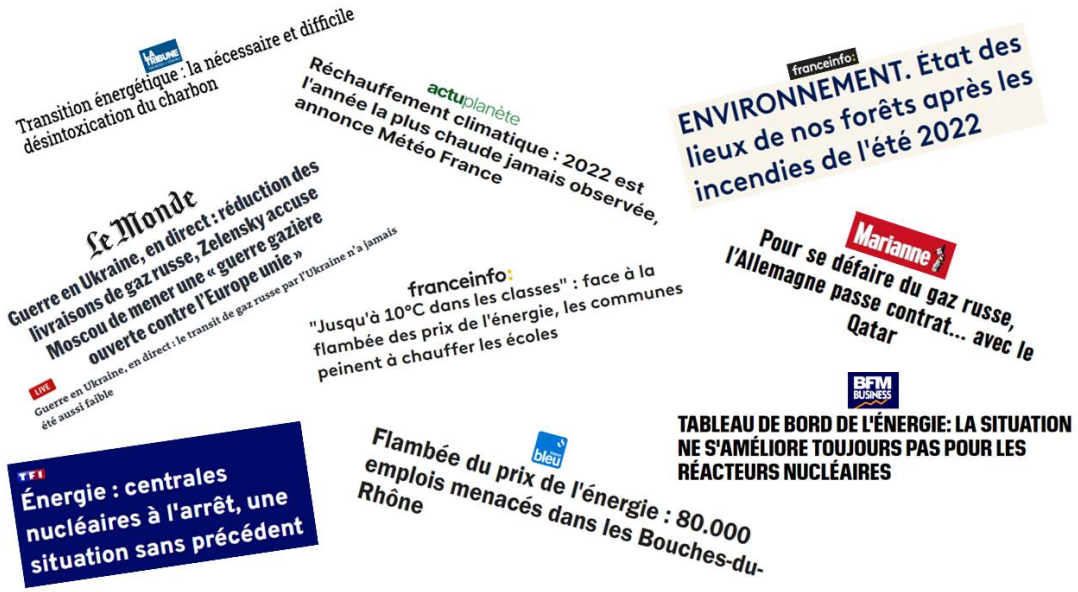
AGENDA

1. Contexte et questions de recherche
2. Le VGI dans un réseau national
3. L’impact du VGI sur les marchés d’électricité
4. Conclusion générale

1. CONTEXTE ET QUESTIONS DE RECHERCHE

Les secteurs du transport et de l'électricité sont responsables de respectivement 23% et 40% des émissions CO_2 provenant de l'énergie

CONTEXTE



Plus d'énergies renouvelables

Plus de voitures électriques

--> plus de variations et moins de prévisions pour les réseaux

--> plus de demande d'électricité

LE « VEHICLE GRID INTEGRAION » PERMET LA LIAISON ENTRE LE SECTEUR DU TRANSPORT ET LES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES

QUESTIONS DE RECHERCHE

- Quels enjeux technico-économiques associés au VGI ?
  - pour la gestion du système électrique (besoin de stockage pour l'intermittence) ?
  - pour les véhicules électriques (en intégrant le comportement des automobilistes) ?

- Les axes de recherche définis: les conditions de valorisation du VGI
  1. *le processus optimal de charge et de décharge*
  2. *dans le cadre d'un système local*
  3. *dans le cadre d'un système national*

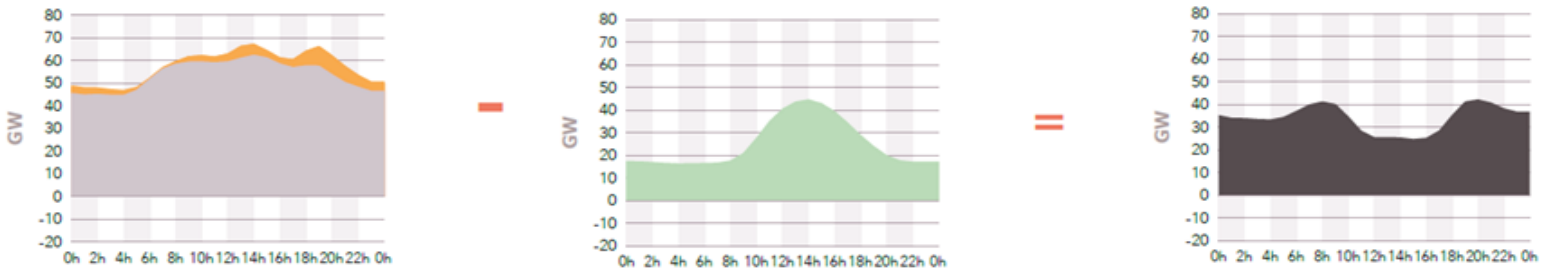
Première recherche : *Kempton W., Letendre S., 1997, Electric Vehicles as a new power electric utilities source for electric utilities, Transportation Research Part D : Transport and Environment, vol. 2, no. 3, pp. 157–175*

2. LE VGI DANS UN RÉSEAU NATIONAL

La demande résiduelle est la consommation moins la production fatale. C’est la puissance appelée aux centrales conventionnelles

BESOINS DE FLEXIBILITE

consommation – production fatale = demande résiduelle



Source : RTE, Electromobility report, May 2019

- Avec un mix plus renouvelable, le système aura besoin de plus de FLEXIBILITE
- Les VE pourraient offrir une modulation à une échelle nationale ou régionale. Cela en réduisant les variations à court terme de la demande résiduelle
- Le nucléaire et les EnR pourraient être optimisés en réduisant l'appel aux centrales thermiques

OPTIMISATION DE LA CHARGE

En France -> variations saisonnières comme conséquence du chauffage électrique très répandu

En Allemagne -> variations à court terme à cause de la production des EnR

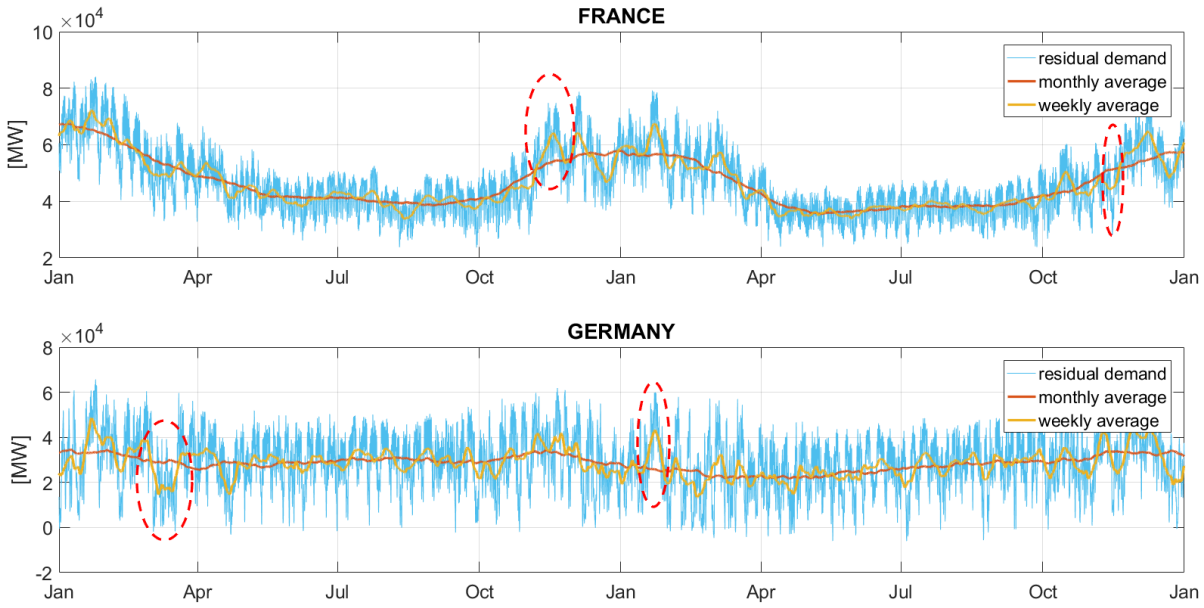


Fig. 1 : courbes de demande résiduelle en France et Allemagne en 2019

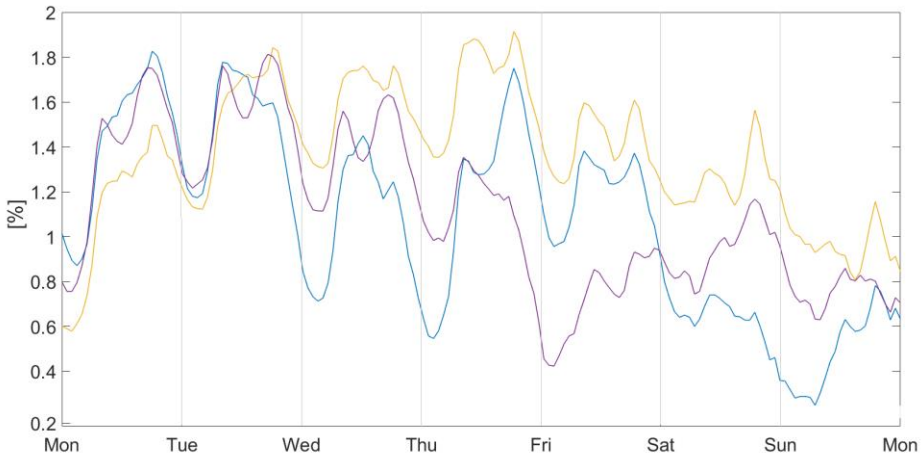


Fig. 2: demande résiduelle de 3 semaines d'hiver en 2021 en Allemagne

La demande résiduelle dans un mix avec beaucoup d'EnR ne suit aucun pattern. C'est pour cela que l'optimisation de la charge des VE est faite sur la base d'une moyenne glissante centrée sur 7 jours

VALEURS DE RÉFÉRENCE DE LA CHARGE OPTIMALE

1. Référence en énergie

Etat de charge (SOC) cible à la fin de la période de charge

$$\mathcal{E}_T = \sum \overline{y_t} - y_t \mid t = tr + 1$$

2. Référence en puissance

Variable de contrôle $\boldsymbol{x_t}$

$$min \quad \mathcal{J}_{x,y,z,t} = \sum_1^T |\overline{y_t} - z_t|^2 = \sum_1^T |\overline{y_t} - (y_t + P_t)|^2$$

$$s_{n,0} = b \qquad s_{n,T} = \mathcal{E} \cdot B_n \qquad p_{n,0} = 0$$

$$s_{n,t} = s_{n,t-1} + p_{n,t} \cdot u_{n,t} - c_{n,t}$$

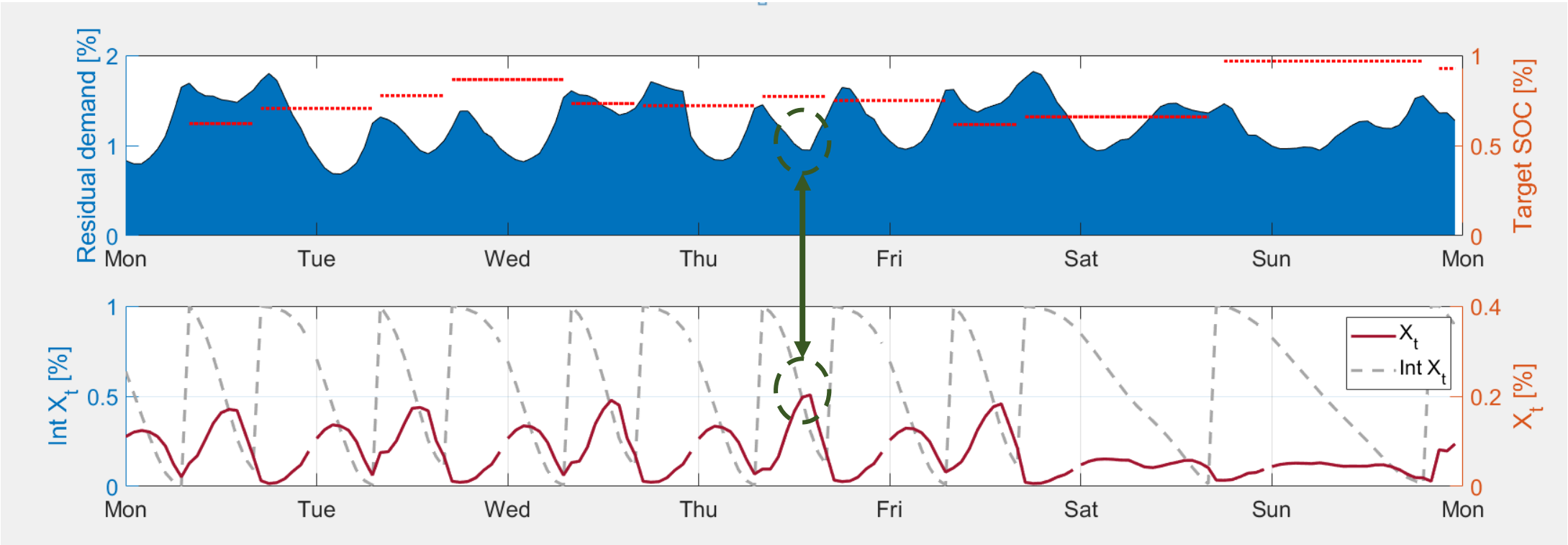
$$p_{n,t} = Q_{n,t} \cdot (\mathcal{E}_T - s_{n,t}) \cdot \frac{x_t}{\sum_0^T x_t - \sum_0^t x_t}$$

$$\dot{s}_{n,t} = p_{n,t}$$

ε : SOC cible à la fin de la période de charge
y : signal d'entrée (demande résiduelle)
$\bar{y}$: moyenne glissante sur 7 jours
t : pas de temps (1 heure)
tr : début de la période de charge
z : nouvelle demande résiduelle (avec la charge des VE incluse)
n : chaque VE
p : puissance totale appelée par VE
s : SOC
p : puissance de charge
u : disponibilité d'un point de recharge
c : consommation de la batterie
Q : puissance maximal disponible
$\boldsymbol{x}$: variable de contrôle

La puissance de charge p suit la variable de contrôle $\boldsymbol{x}$

VALEURS DE RÉFÉRENCE DE LA CHARGE OPTIMALE



Celui-ci est un exemple des valeurs de référence envoyées à la batterie virtuelle qui répondent aux variations hebdomadaires de la demande résiduelle

LE DEVELOPPEMENT DE L'OUTIL DE SIMULATION

Les déplacements

- On a utilisé l'ENTD de 2008 pour construire les profils de déplacement de ~10000 voitures représentatives de la flotte totale
- Les profils décrivent une semaine de déplacements en pas horaire
- On extrait l'information sur :
  - Heures de départ / arrivée
  - Motif du déplacement
  - Distance parcourue
- A partir de cette analyse on peut déterminer quelles voitures sont utilisées pour les trajets au travail (commuter)

Les branchements

- *Si la batterie est au-dessous d'un certain SOC, la VE se charge à puissance maximale.*
- Les VE se branchent uniquement à la maison ou au travail (s'il y a une prise disponible)
- Si la VE est commuter, on privilégie la charge au travail. Elle se charge à la maison s'il y a un long trajet à venir.
- Les VE non commuter se branchent pas pendant la journée sauf si elles acceptent la réception d'une consigne du TSO / DSO

OUTIL DE SIMULATION

Exemples de résultats en Allemagne

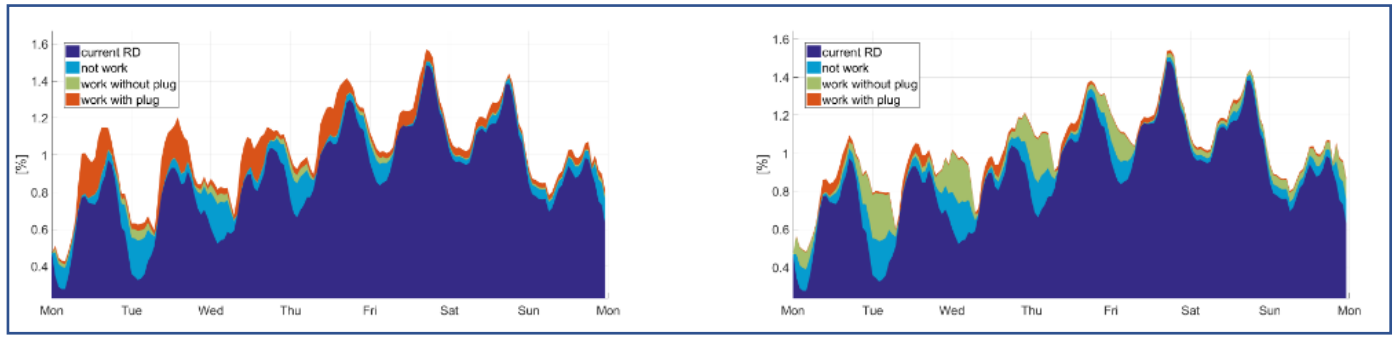


Fig. 1 : simulation d'une semaine aléatoire <u>en hiver</u> avec une disponibilité de points de recharge au travail de 85% (à gauche) et 25% (à droite)

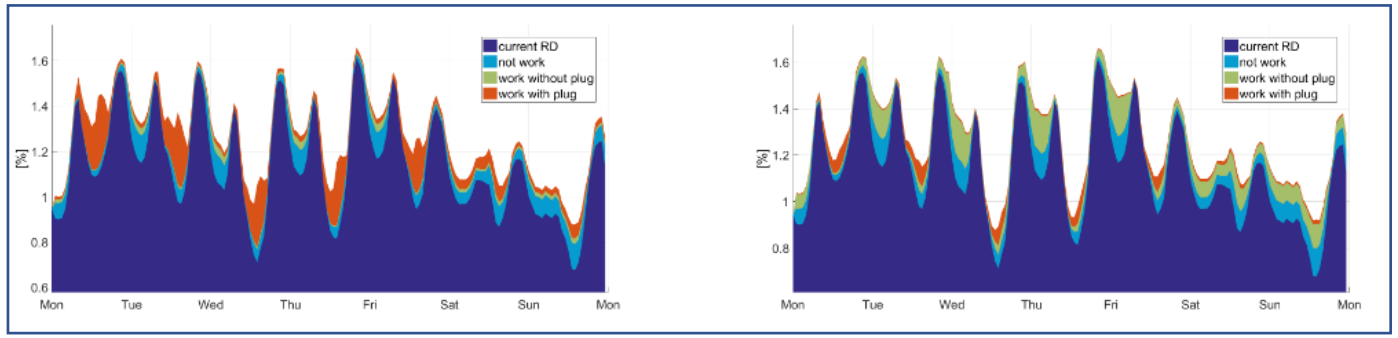
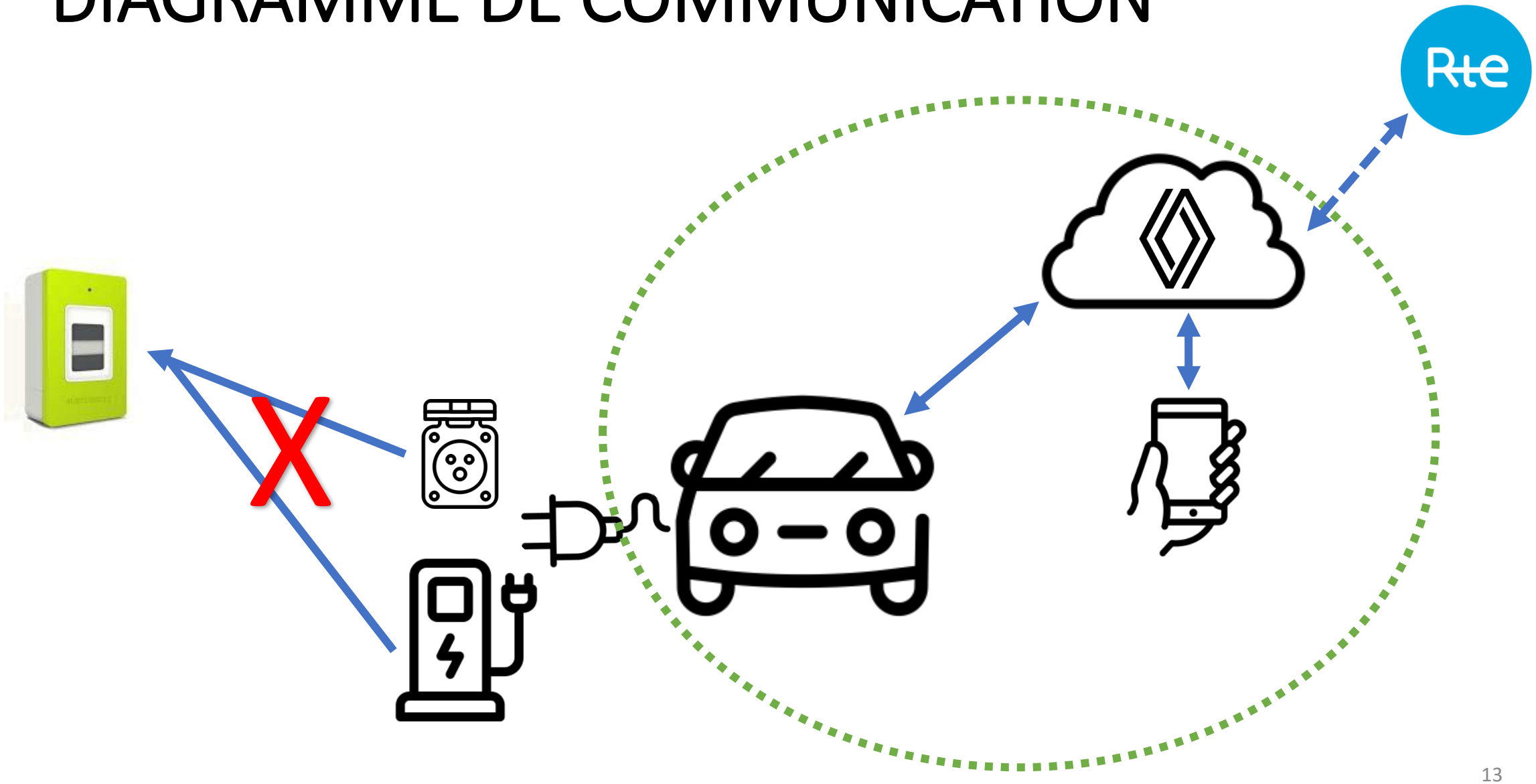


Fig. 2 : simulation d'une semaine aléatoire <u>en été</u> avec une disponibilité de points de recharge au travail de 85% (à gauche) et 25% (à droite)

La recharge des VE va changer la demande résiduelle. Il faut l'adapter aux conditions du réseau

DIAGRAMME DE COMMUNICATION



CONCLUSION PARTIELLE

- Il est impératif de **garantir et faciliter l'accessibilité** aux points de recharge
  - Renforcer les obligations dictées par la Loi d'Orientation des Mobilités (LOM)

- Favoriser une installation répandue de points de recharge à **puissances faibles** qui ont des prix plus abordables

- Utiliser un système de charge optimale qui n'endommage pas les bénéfices offerts au réseau à cause d'un prix très élevé

3. L’IMPACT DU VGI SUR LES MARCHÉS D’ÉLECTRICITÉ

850 000 VE qui se chargent à 7kW ont la même capacité de flexibilité que les centrales STEP installées en Allemagne (6 000 MW)

LA RELATION DEMANDE - PRIX

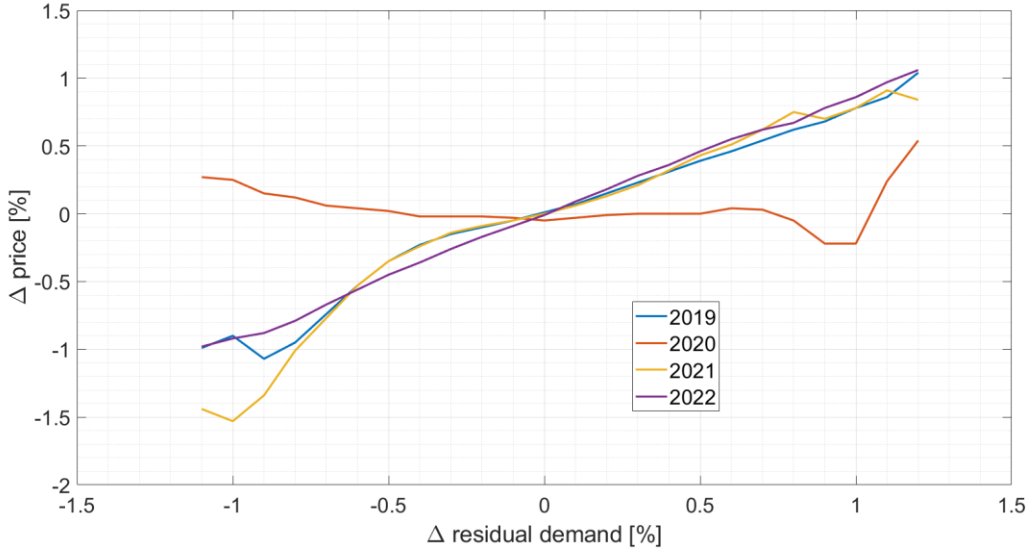


Fig. 1 : relation entre les variations du prix du marché et de la demande résiduelle

En analysant les données de 2019 à 2022 on a trouvé une relation étroite entre la demande résiduelle et les prix du marché *day-ahead*

Si la charge des VE change la courbe de demande résiduelle, les prix du marché *day-ahead* sont aussi susceptibles de changer.

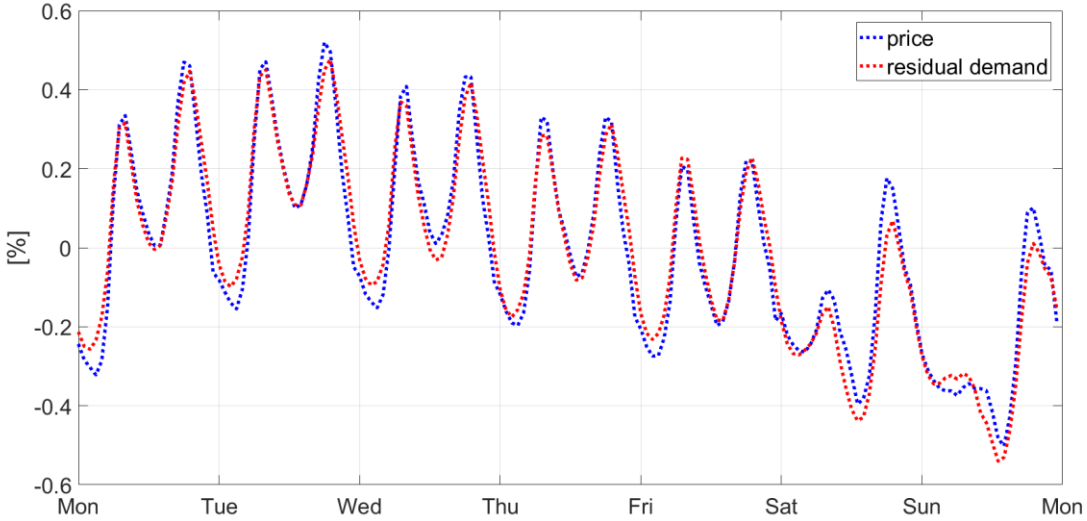


Fig. 2 : valeur moyenne du prix du marché et de la demande résiduelle entre août 2021 et juin 2022

CHARGE NATURELLE VS CHARGE OPTIMALE

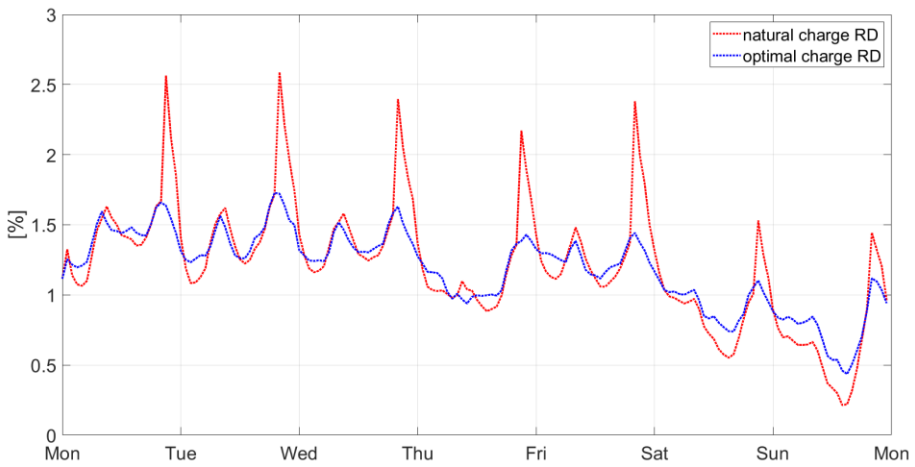


Fig. 1 : demande résiduelle résultante en charge naturelle et en charge optimale

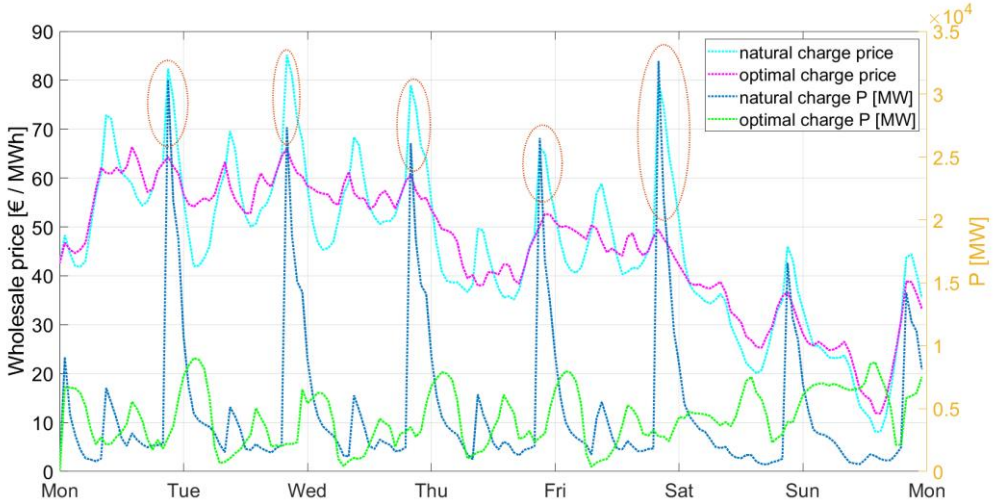


Fig. 2 : exemples des prix du marché pour une semaine avec charge naturelle et charge optimale

Prix moyen pour la recharge des VE :

- Charge naturelle → 57 € / MWh
- Charge optimale → 43 € / MWh

→ une réduction de -25%

Sans aucune action sur la charge des VE l'impact négatif sur le réseau et sur les prix peut être important. L'électricité sera plus chère et le mix sera plus difficile à décarboner

CONCLUSION PARTIELLE

- Utiliser massivement un système de charge intelligente des VE peut **offrir de la flexibilité** au réseau, **limiter les pics des prix** et diminuer la quantité d'heures à prix négatif

- Avec une grande flotte de VE, la charge optimale ne peut pas être basée sur des signaux tarifaires qui produiraient simplement un **effet rebond**

5. CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

- Au long de la recherche une analyse macro a été menée. Elle porte sur un scénario qui semble inévitable si les voitures thermiques sont appelées à ne plus être commercialisées. On ne peut pas négliger l'impact des VE puisque l'ensemble d'une petite partie d'un grand nombre de batteries de VE devient très significatif.

- Un algorithme comme celui développé au cours de cette recherche pourrait entrer dans le cadre du règlement *(UE) 2019/94316 et la directive (UE) 2019/94417*

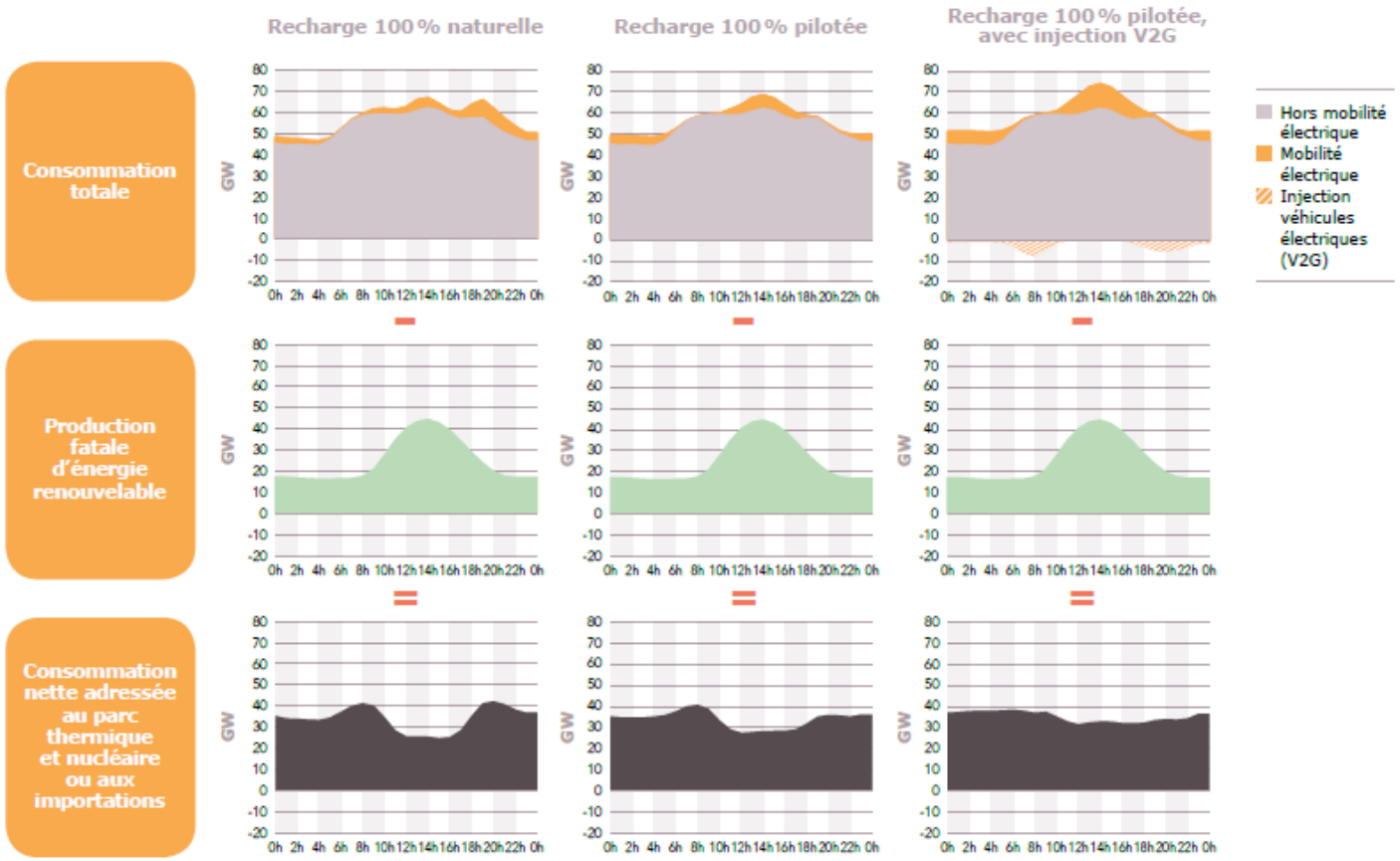
*« qui exige … de **renforcer les signaux** que les consommateurs et les acteurs du marché reçoivent en ce qui concerne **la part d'électricité produite à partir de sources renouvelables** et l'intensité des émissions de gaz à effet de serre de l'électricité fournie …*

*Cela permettrait de soutenir davantage le déploiement de modèles commerciaux et de **solutions numériques innovants**, **capables de relier la consommation à l'état des énergies renouvelables dans le réseau électrique** et, dès lors, d'encourager les investissements appropriés dans les réseaux afin de soutenir la transition vers une énergie propre »*

merci
thank you
danke
gracias
obrigado
go raibh maith agat
спасибо
dziękuję
sukriya
teşekkür ederim
mauruuru
grazie
taiku
mochchakkeram
dakujem
ngiyabonga
arigatô
bedankt
barka
terima kasih
dank je
leat
sagolun
chokrane
謝謝
takk
tapadh
hvala
vinaka
ευχαριστώ
Баярлалаа
kiitos
dankie
sobodi
dankon
manana
tenki
murakoze
kop khun
najis tuke
paldies
faafetai lava
kam sah hamnida
nanni
trugarez
asante
xièxie
köszönöm
blagodaram
хвала
rahmet
kop khun krap
mercé
didi madloba
mahalo
nandri
krap
gràçie
mèsi
dhanyavadagalu
matondo
misaotra
gratias ago
welalin
enkosi
teşekkü ederim
gràcies
spas
shukriya
dhanyavad
tanemirt
mersi
diolch
grazzi
мерси
dëkuji
bayarlalaa
djiere dieuf
chnorakaloutioun
kia ora
ありがとう
rahmat
tau
akun
aciû
sulpáy
tack
mamnun

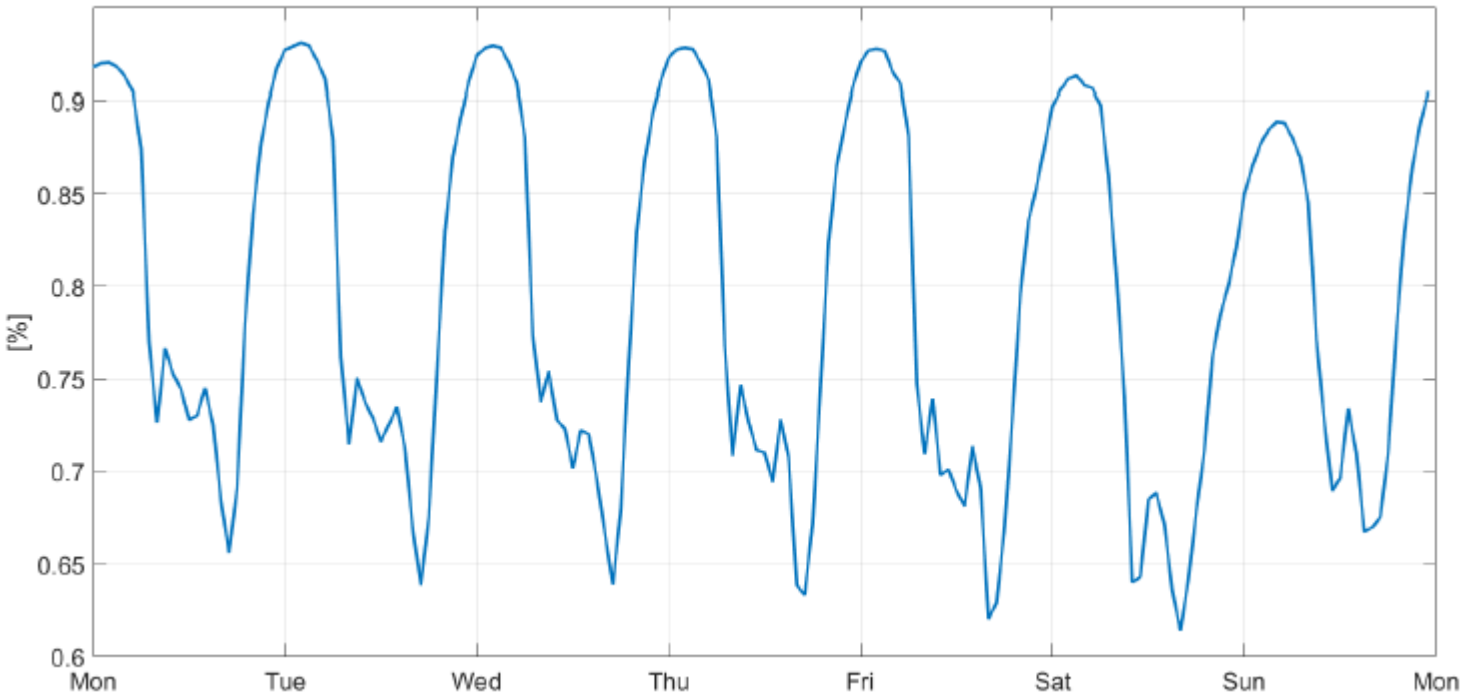
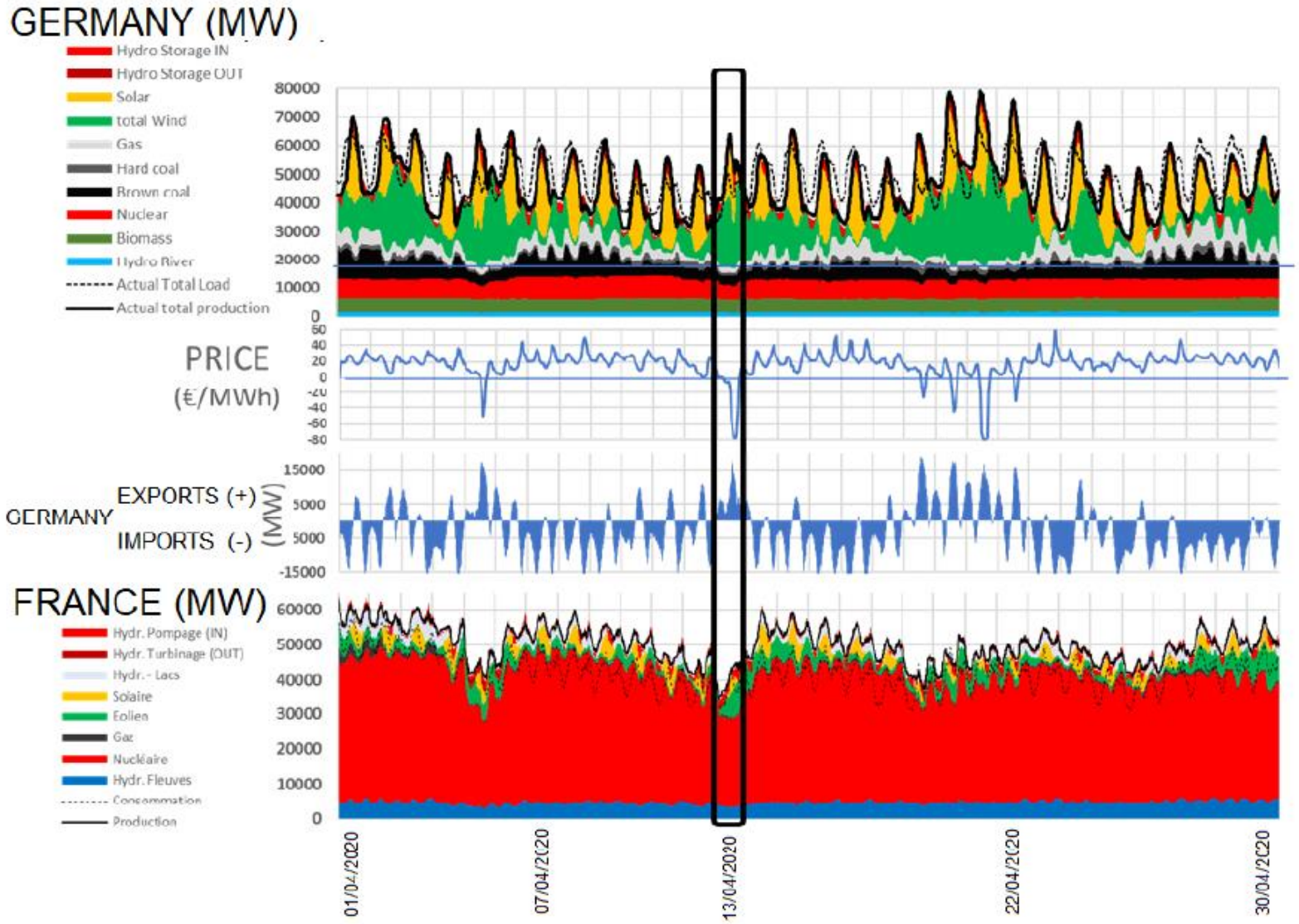
ANNEXES

DU RAPPORT SUR L'ÉLECTROMOBILITÉ RTE 2019



Source: RTE

PRÉSENCE DE VE PENDANT UNE SEMAINE (MAISON+TRAVAIL)



MIX DE PRODUCTION, IMPORTS/EXPORTS ET PRIX