

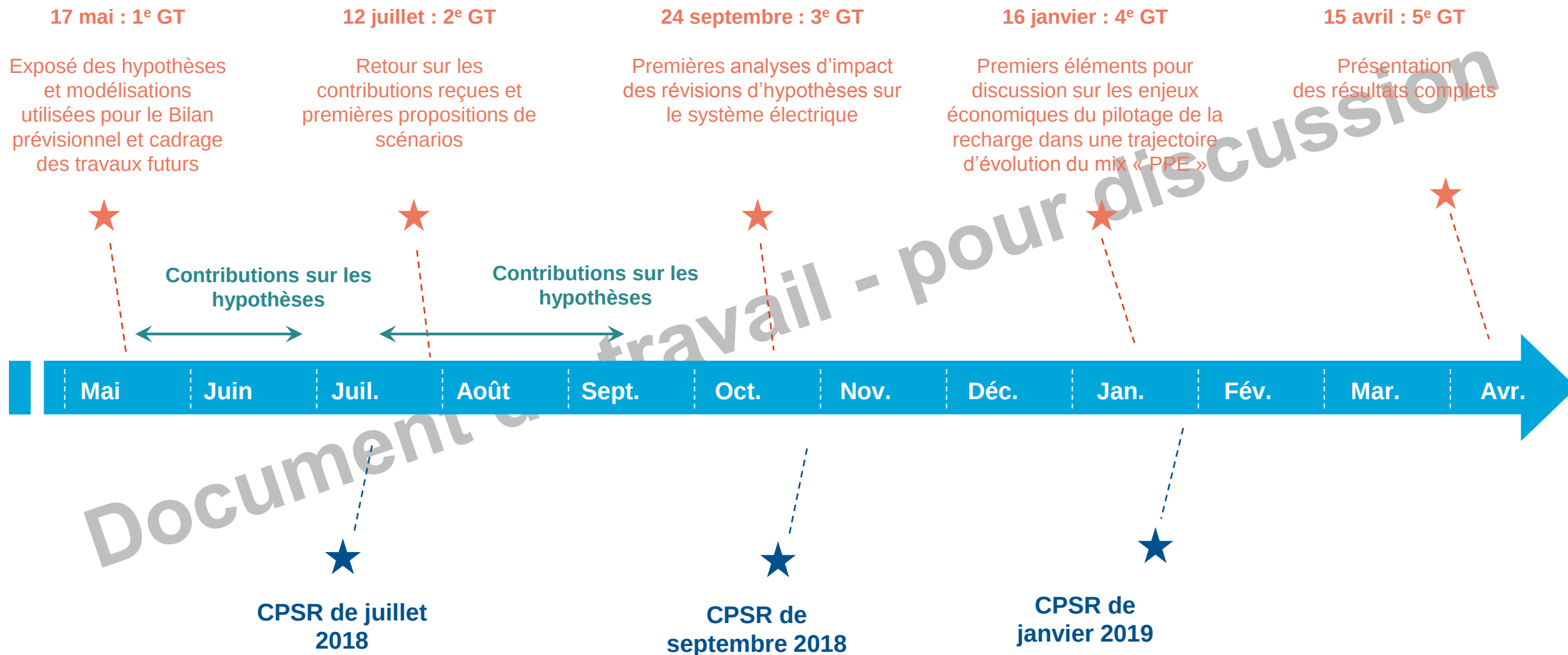


15/04/2019

Intégration de l'électromobilité dans le système électrique

GT RTE-AVERE

Rappel des travaux présentés et état d'avancement

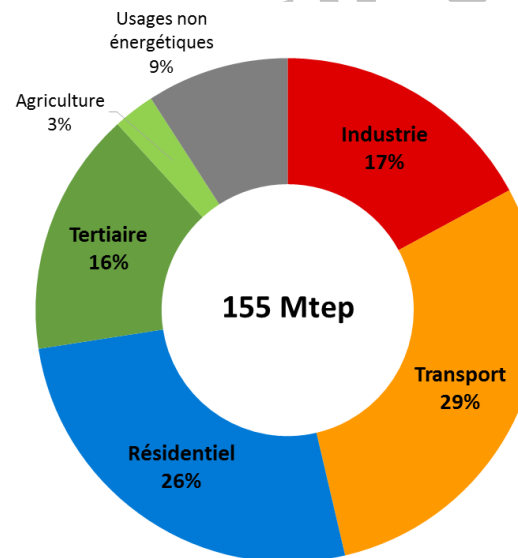




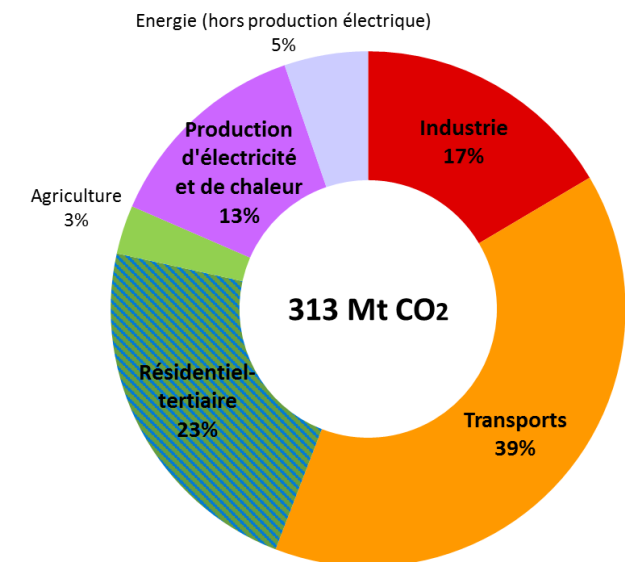
Contexte

Un développement massif de la mobilité électrique pour répondre aux enjeux environnementaux posés par les transports routiers

- Le secteur des transports représente une consommation énergétique importante, essentiellement carbonée. **Les émissions « directes » (au pot d'échappement) du transport routier représentent ~120 MtCO₂/an**, de l'ordre de 40% des émissions de la France
- Pour atteindre ses objectifs de décarbonation (neutralité carbone en 2050), **le transport routier doit évoluer pour réduire son empreinte carbone.**
- La mobilité électrique constitue la principale solution envisagée** pour répondre aux défis environnementaux du transport routier



Consommation énergétique finale française



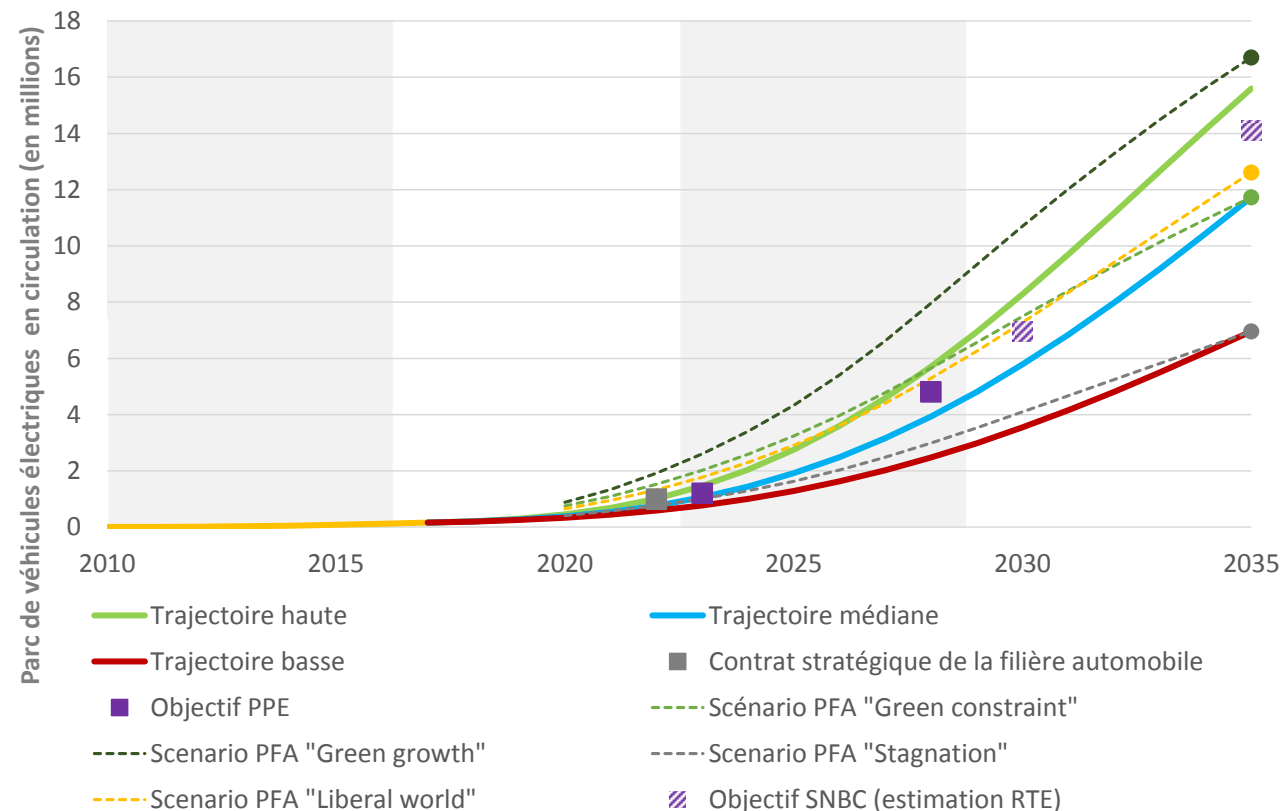
Emissions de CO₂ liées à la consommation d'énergie en France

Bilan 2017 – source Bilan de l'énergie (MTES)

Des ambitions de développement du VE qui se renforcent

- **Les ambitions publiques** et projections des constructeurs ont été **revues à la hausse** ces derniers mois:
 - Le contrat stratégique de la filière automobile prévoit à l'horizon 2022 de multiplier par 5 les ventes de VEB et un parc de 1 M de VEB+VHR en circulation.
 - Les objectifs de la PPE à 2028-2030 sont revus à la hausse : 4,8 millions en 2028 (vs 4,4 millions en 2030 dans la PPE actuelle)
 - La SNBC repose sur un recours massif au véhicule électrique qui correspond à ~14 millions en 2035 (estimation RTE)
 - Les scénarios de constructeurs automobiles ont été revus à la hausse (entre 7 M et 17,7 M) à l'horizon 2035

Trajectoires de développement des VE et comparaison avec des objectifs publics ou sources externes



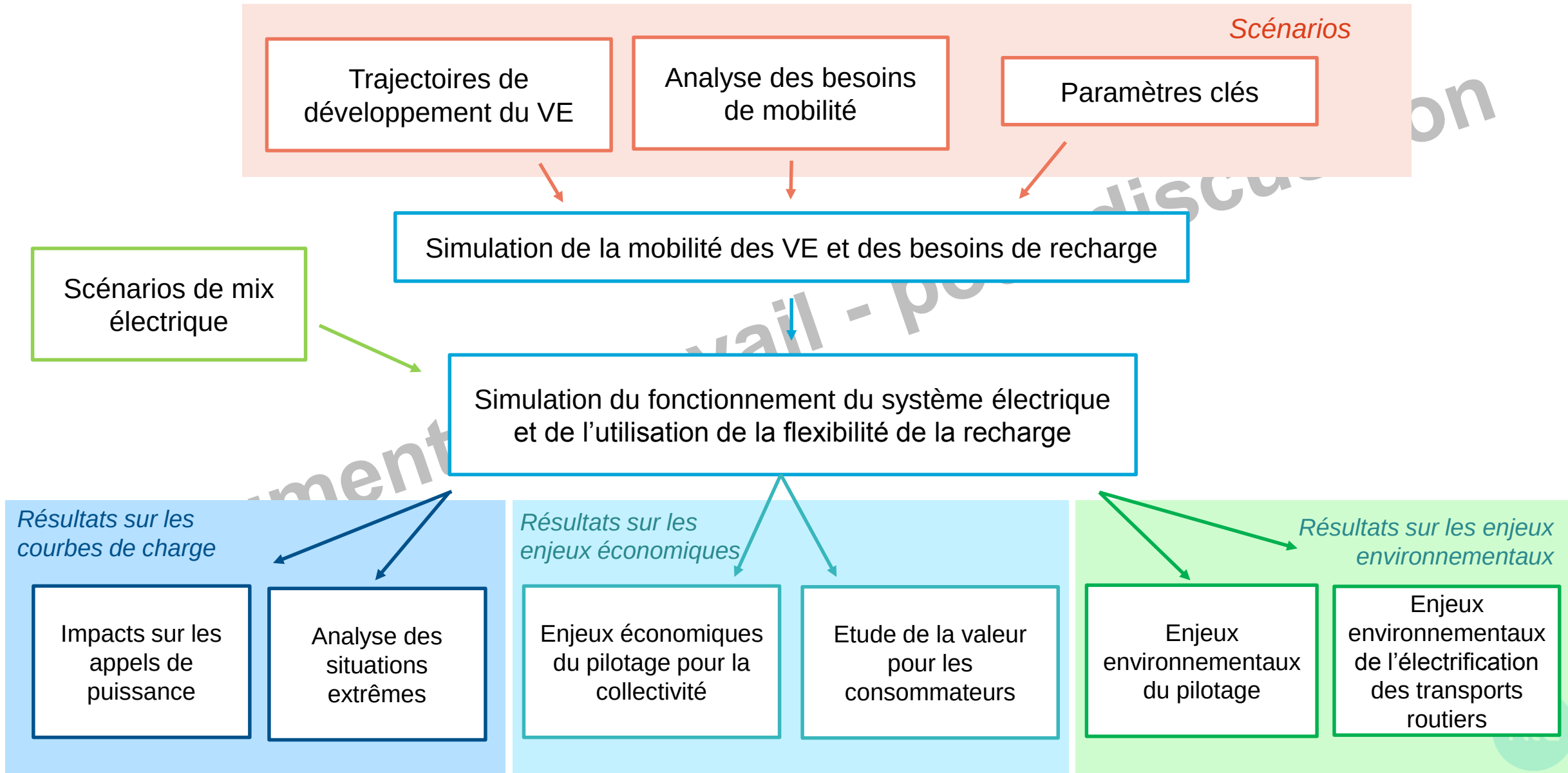
⇒ Les analyses se concentrent sur l'**étude du scénario Green Constraint** de la PFA (i.e. scénario « médian ») et d'**un scénario « haut »**



2

Cadre d'analyse

Méthodologie et organisation des travaux



Une représentation de la mobilité, des besoins de recharge et du fonctionnement du système électrique européen pour évaluer les impacts et opportunités pour le système électrique

Représentation des besoins de mobilité

Déplacements (heures de départ, distances, vitesses, motifs)

- Représentation basée sur ENTD 2008
- Scénarisation de la répartition de la mobilité électrique au sein de la population (actif/inactif, urbains/ruraux, etc.)

Représentation des possibilités de recharge

Accès aux bornes, puissance, comportement (fréquence)
« de connexion »

Scénarisation des hypothèses

Caractéristiques techniques des véhicules

Consommation kilométrique, capacité de stockage,
rendement de la batterie

- Sensibilité de la conso à la vitesse et la température
- Scénarisation de l'évolution de la capacité de stockage

Simulation des recharges « non pilotées » et représentation de la flexibilité disponible

Appels de puissance, suivi du niveau de stock des batteries
et caractérisation de la modulation possible

Simulation du système électrique européen

Production heure par heure des moyens de production
d'électricité en Europe et mobilisation de la flexibilité pour le
système

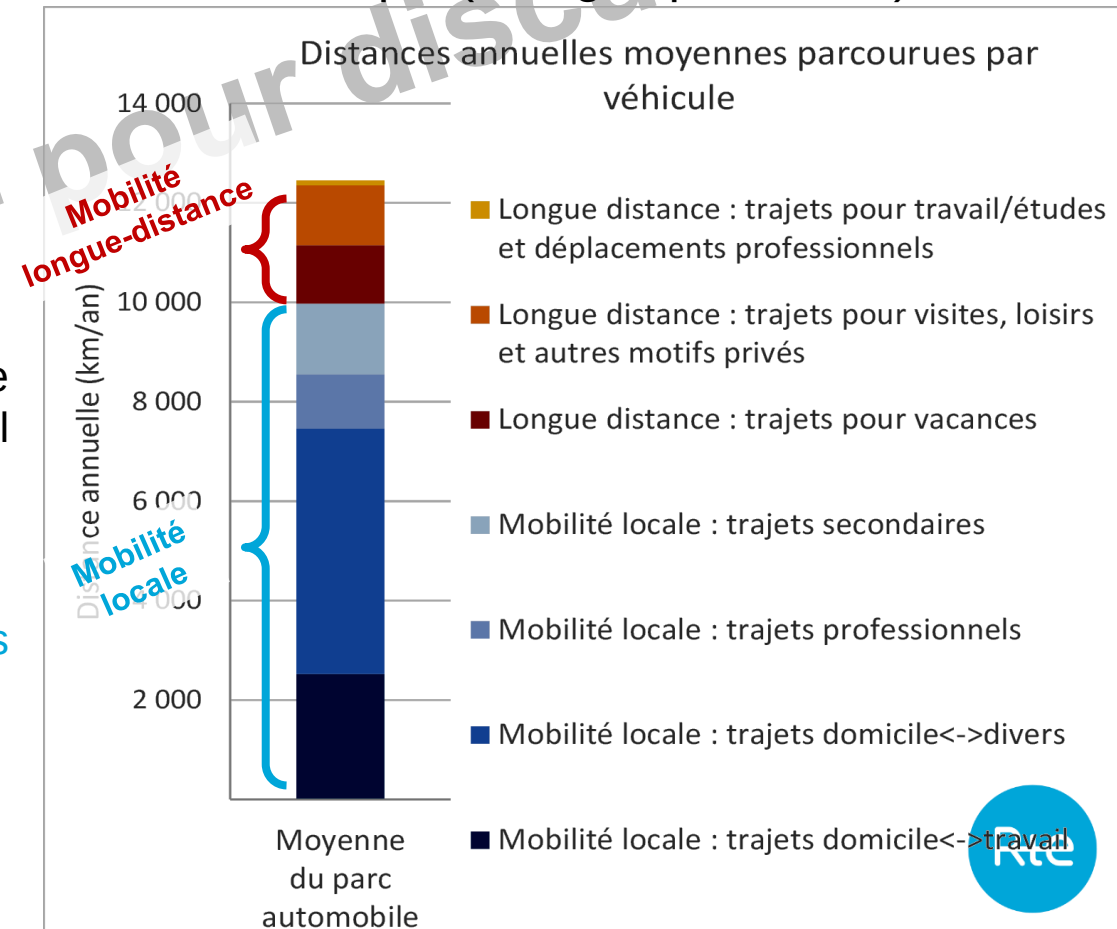
1000 scénarios au pas horaire à la maille Europe

Simulation des stratégies de recharge pertinentes pour l'utilisateur

Stratégies de recharge pour minimiser la facture d'électricité

Une représentation détaillée des habitudes de mobilité

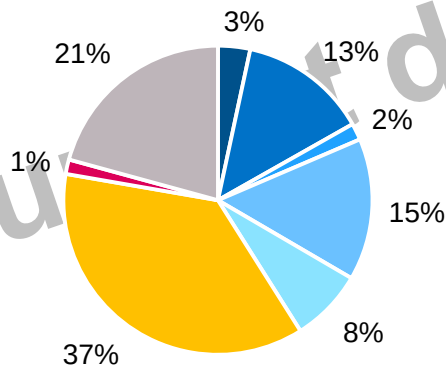
- Dans le Bilan prévisionnel 2017, la modélisation de la mobilité était simplifiée, et centrée sur la pointe journalière de consommation résultant des trajets domicile ↔ travail. Ceci suffisait pour dégager des ordres de grandeurs sur développement de la mobilité électrique (énergie, puissance)
- Pour cette étude, RTE intègre une représentation affinée de la mobilité, fondée sur une analyse approfondie de l'**Enquête Nationale Transports Déplacements 2008** (dernière enquête transports nationale) :
 - Analyse de **tous les motifs de déplacements**, avec une représentation de profils de mobilité journaliers (travail uniquement, travail et loisirs, professionnels...)
 - Analyse de la mobilité des **weekends**
 - Analyse des **origines-destinations** des déplacements, **distances** parcourues, **heures de départ et d'arrivée**
 - Analyse des déplacements **longue-distance** par motif



Une représentation détaillée des habitudes de mobilité

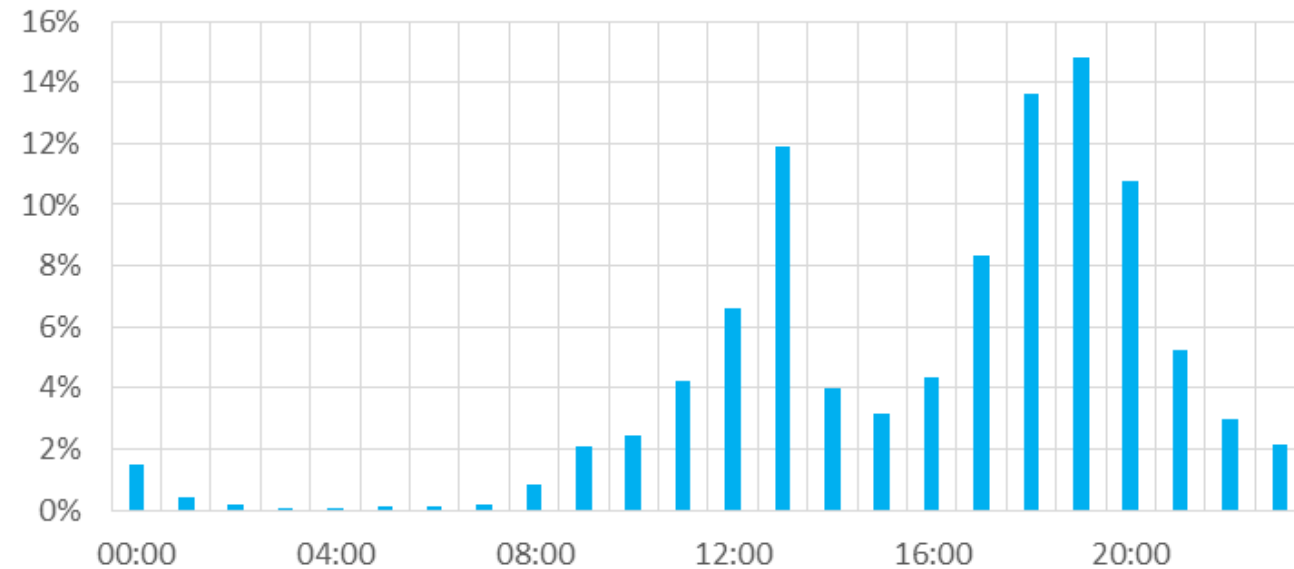
- Une représentation de différents profils d'utilisation des véhicules basés sur les statistiques de l'enquête nationale transports-déplacements :
 - Déplacements et leur enchaînements au sein de la journée
 - Origine et destination
 - Heures de départ
 - Vitesses

Profils de mobilité moyens des véhicules français, un jour du lundi au vendredi [calcul à partir des données ENTD 2008]



- Domicile-travail uniquement, midi au domicile
- Domicile-travail uniquement
- Domicile-travail-divers, midi au domicile
- Domicile-travail-divers
- Professionnel
- Domicile-divers
- Déplacements longue distance
- Pas de déplacements

Distribution des heures d'arrivée à domicile des véhicules du lundi au vendredi [calcul à partir des données ENTD 2008]



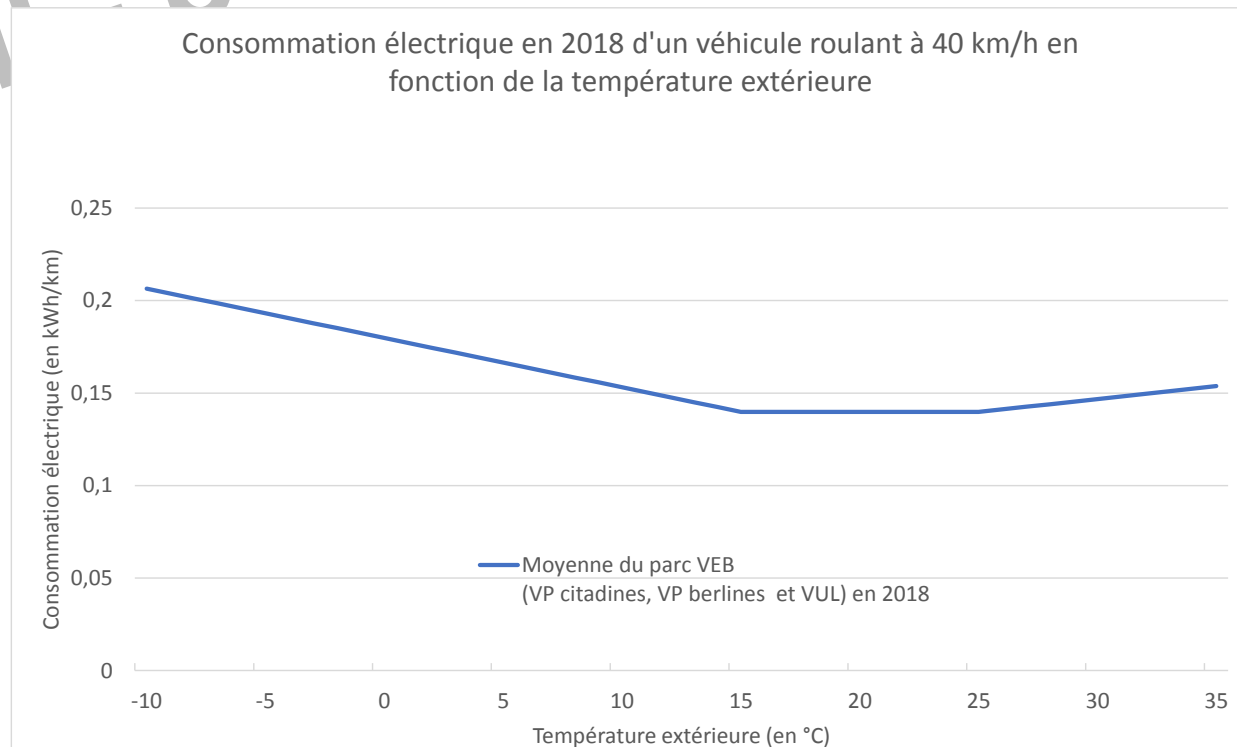
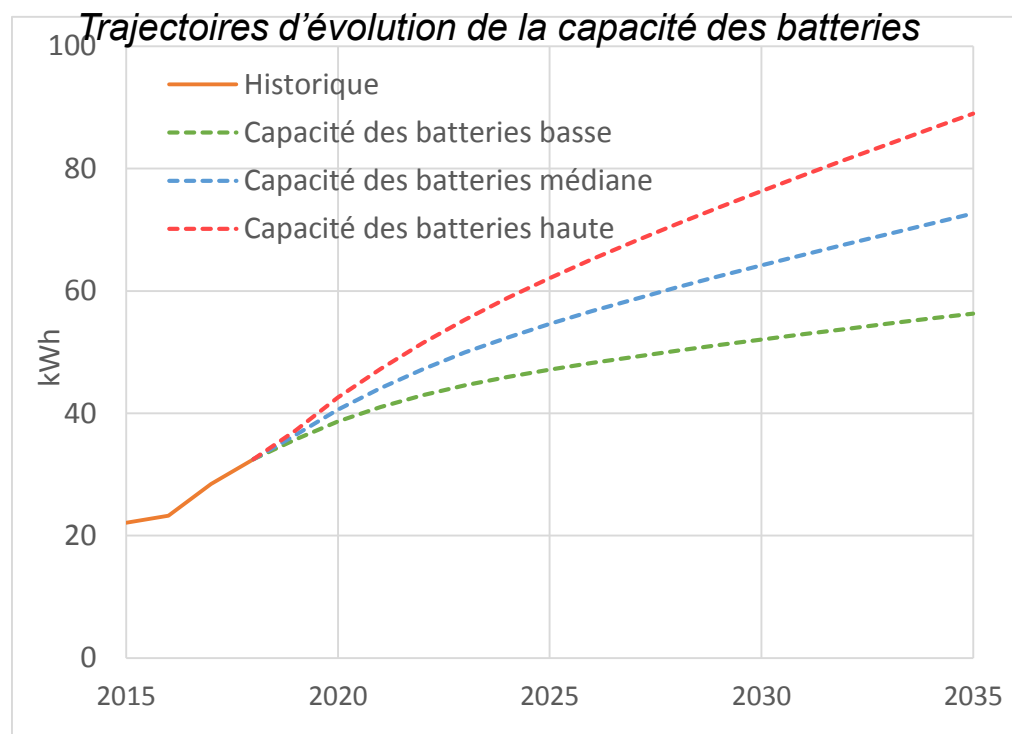
La prise en compte des caractéristiques des véhicules électriques et des incertitudes associées

- L'évaluation des appels de puissance et de la flexibilité sur la recharge nécessite aussi de représenter les caractéristiques de véhicules :

- Consommation kilométrique et dépendance aux conditions d'utilisation.

La vitesse et la température extérieure conditionnent de façon importante la consommation des véhicules

- La capacité des batteries



Des hypothèses différenciées sur les paramètres clés de la mobilité électrique pour représenter les incertitudes

Parc de véhicules légers

Répartition socio de la mobilité élec.

Parc de véhicules lourds

Part de VHR

Capacité des batteries

Accès aux points de charge

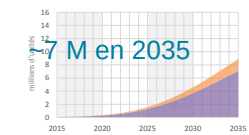
Puissance des points de charge

Besoins de mobilité

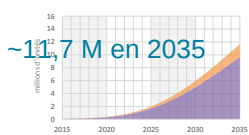
Habitudes de connexion

Pilotage de la charge

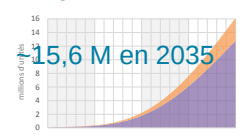
Trajectoire basse



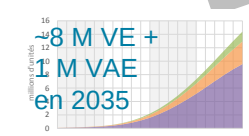
Trajectoire médiane



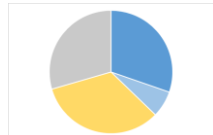
Trajectoire haute



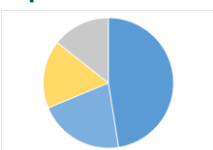
Trajectoire avec véh. autonomes



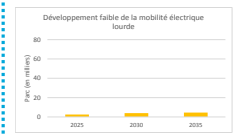
Développement uniforme



Développement marqué chez les actifs



Trajectoire basse
~50 000 en 2035



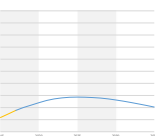
Trajectoire médiane
~110 000 en 2035



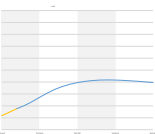
Trajectoire haute
~150 000 en 2035



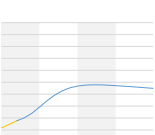
VHR bas
22% VHR



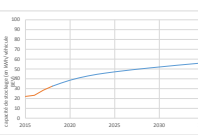
VHR médian
38% VHR



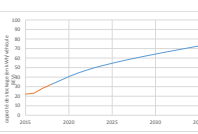
VHR haut
46% VHR



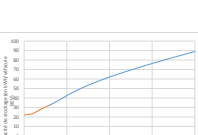
Scénario bas
56 kWh pour les VE en 2035



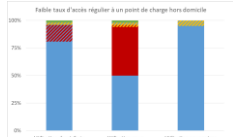
Scénario médian
73 kWh pour les VE en 2035



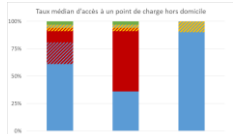
Scénario haut
89 kWh pour les VE en 2035



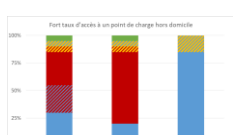
Faible accès hors domicile



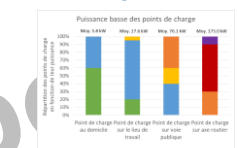
Accès médian hors domicile



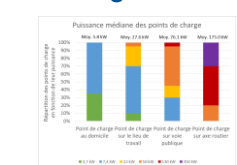
Fort accès hors domicile



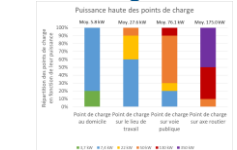
Puissance points de charge basse



Au domicile : 40% 7 kW
Puissance points de charge médiane

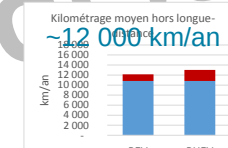


Au domicile : 65% 7 kW
Puissance points de charge haute

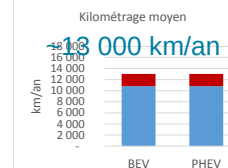


Au domicile : 80% 7 kW

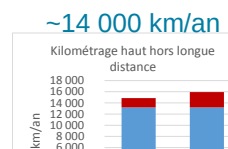
Scénario médian hors LD



Scénario médian



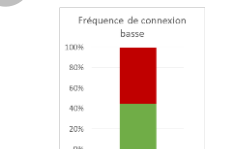
Scénario haut hors LD



Scénario haut

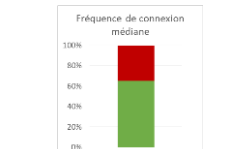


Fréquence basse



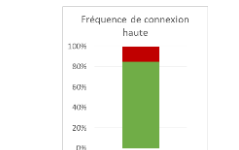
45% se connectent dès que possible

Fréquence médiane



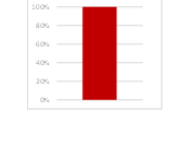
65% se connectent dès que possible

Fréquence haute

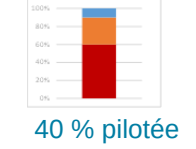


85% se connectent dès que possible

Aucun pilotage

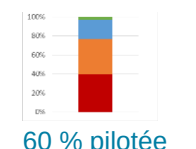


Pilotage bas



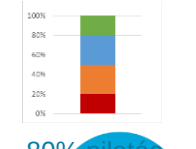
40 % pilotée sans V2G

Pilotage médian



60 % pilotée dont 3% V2G

Pilotage haut



80% pilotée dont 20% V2G



4 scénarios contrastés établis en croisant de façon cohérente les différentes hypothèses sur les paramètres clés

« A » - Consensus



Un scénario où les principaux paramètres représentent un consensus/point d'équilibre entre les différentes parties

- Développement du VE médian ou haut (2 variantes)
- Accès significatif à la recharge sur lieu de travail
- Développement du VE parmi les « gros rouleurs » mais plus faible utilisation pour la longue-distance
- Dev. significatif du pilotage (60% sous diverses formes)

« B » - Fort services au système électrique



Un scénario conçu comme favorable au système électrique, via l'accès à des points de charge hors domicile et la flexibilité

- Développement du VE médian ou haut (2 variantes)
- Accès important à la recharge au travail / hors domicile
- Développement du VE parmi les « gros rouleurs » mais faible utilisation pour la longue-distance
- Dev. important du pilotage et V2G (80% sous diverses formes)

« C » - Stress système électrique



Un scénario conçu comme potentiellement stressant pour le système électrique

- Développement du VE médian ou haut (2 variantes)
- Accès essentiellement à des recharges à domicile (7 kW)
- Développement du VE parmi les « gros rouleurs » y compris pour la longue distance (batteries de taille importante)
- Faible développement du pilotage (40% sous diverses formes)

« D » - Rupture sur la mobilité



Un scénario de rupture sur les besoins de mobilité, avec notamment le développement du véhicule autonome

- Développement du VE modéré.
- Développement important du véhicule électrique autonome partagé (robot-taxis) qui se substituent en partie à des véhicules particuliers.
- Dev. significatif du pilotage (60% sous diverses formes)

Des principes de construction et d'analyse des scénarios qui permettent la comparaison

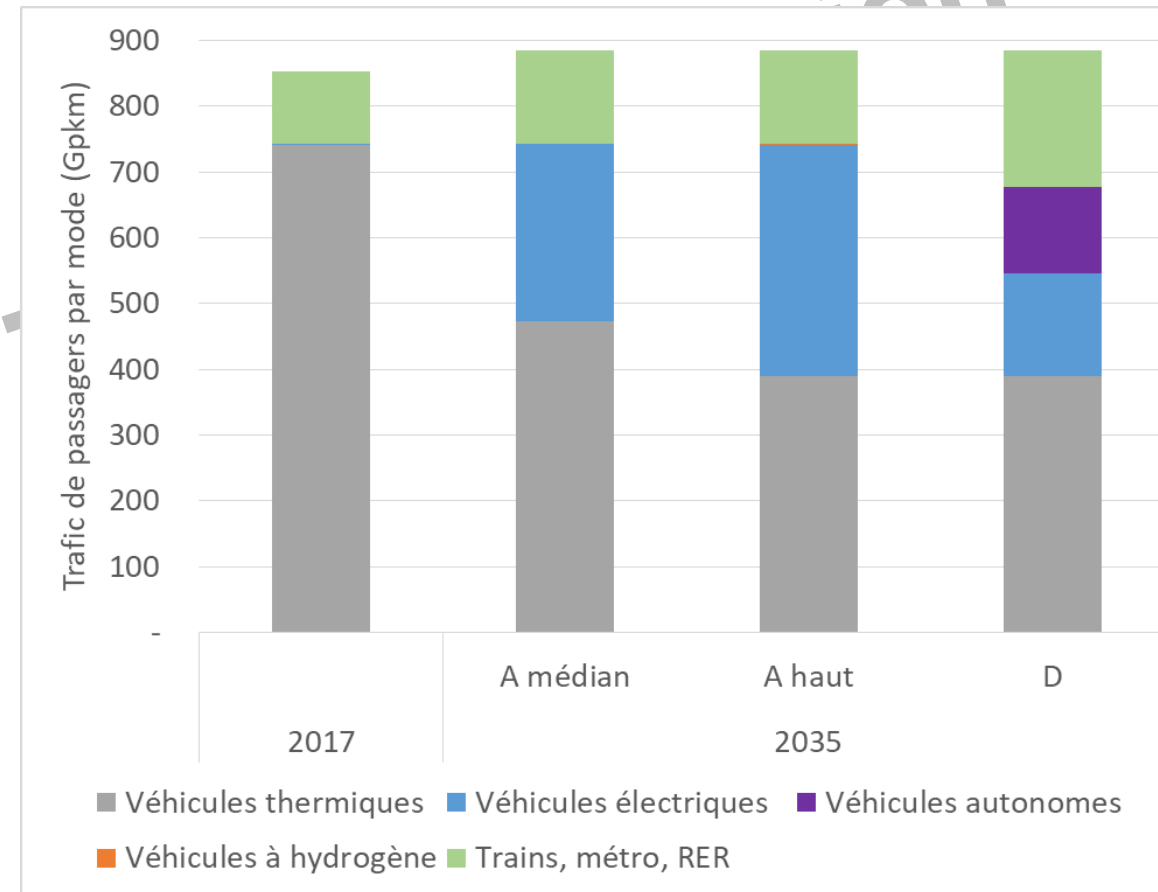
- Tous les scénarios ont les mêmes besoins en mobilité
 - Les scénarios A, B et C existent en deux variantes de développement de la mobilité électrique :
 - Développement « **médian** » : **11,7 M VL élec.** + 0,11 M PL élec. → scénario PFA « **Green Constraint** »
 - Développement « **haut** » : **15,6 M VL élec.** + 0,15 M PL élec.
- ⇒ Pour chaque variante, les scénarios A, B et C sont comparables (même nombre de VE)
- Les analyses détaillées portant sur les enjeux du pilotage sont basées sur les scénarios A médian et A haut

Scénario D : un scénario de rupture sur la mobilité, construit pour permettre la comparaison aux autres scénarios

La logique du scénario D est une recomposition partielle de la mobilité, basée sur une **rupture technologique accompagnée d'une politique publique favorisant les transports en commun** :

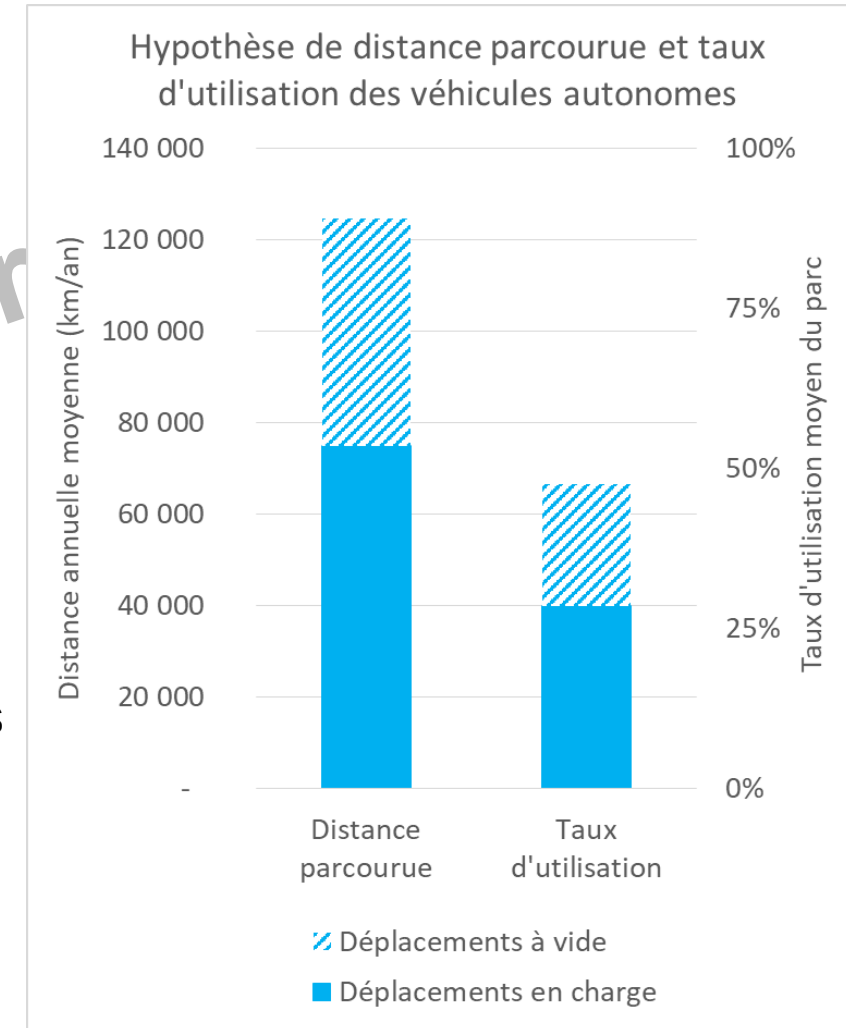
- développement de 1 million de véhicules autonomes (VA) utilisés de façon partagée sous forme de robots taxis
- ... dont le développement est articulé de façon complémentaire avec les transports en commun. P.e. utilisation des VA pour se rendre à la gare, plutôt que de faire tout le trajet en véhicule particulier
- Les niveaux de développement du VA et des véhicules électriques « classiques » sont déterminés pour atteindre le même objectif de réduction du parc de véhicules thermiques que le scénario A haut

⇒ Le scénario D peut être comparé au scénario A haut pour évaluer l'intérêt d'une solution de mobilité basée sur le véhicule autonome, couplé avec les transports en commun



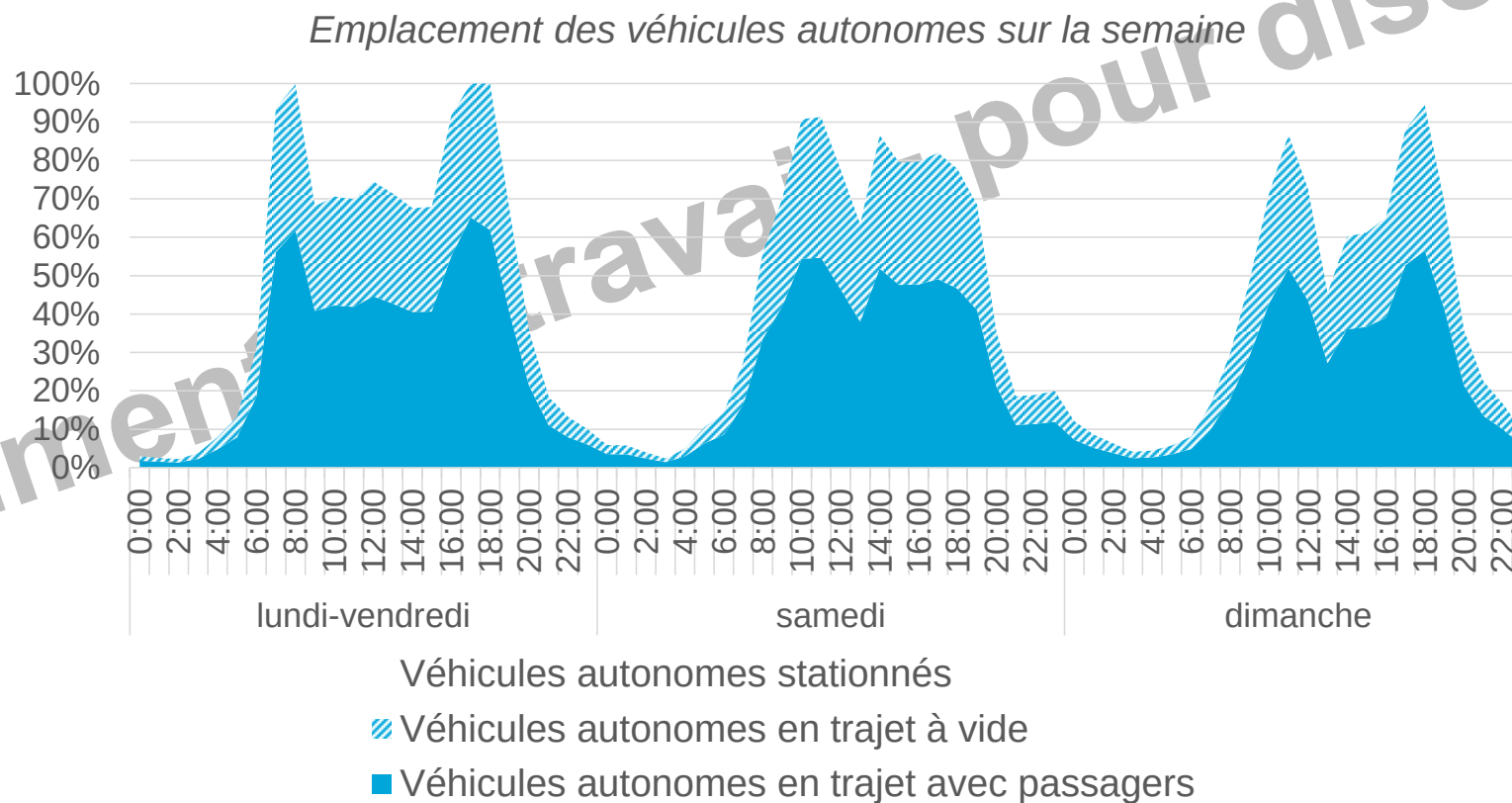
Scénario D - Une transformation des habitudes de mobilité basée sur un couplage entre « véhicule autonome » et transports en commun

- En 2035, un parc de **1 million de véhicules autonomes** utilisés sous forme de robots taxis qui permettent d'augmenter l'utilisation des transports en commun :
 - *1 p.km en VA entraîne 0,5 p.km en transports en commun et une baisse de 1,5 p.km en véhicule classique*
 - *Les VA sont utilisés de façon intensive (à 100% pendant les heures de pic de demande de mobilité)*
- Chaque VA permet ainsi de se substituer à **~7,5 véhicules classiques** du parc automobile.
- Les VA parcourent **40% des distances à vide** (en cohérence avec les taux observés pour les taxis et VTC)



Scénario D - Une modélisation des moments d'utilisation fondée sur la temporalité des besoins de mobilité au sein d'une journée/semaine

Les véhicules autonomes sont supposés avoir un profil d'utilisation reflétant la temporalité des besoins de mobilité



Scénario A médian

Consensus

Parc de véhicules légers

Répartition socio de la mobilité élec.

Parc de véhicules lourds

Part de VHR

Capacité des batteries

Accès aux points de charge

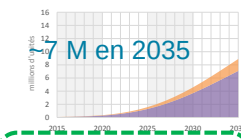
Puissance des points de charge

Besoins de mobilité

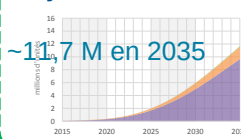
Habitudes de connexion

Pilotage de la charge

Trajectoire basse



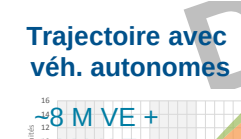
Trajectoire médiane



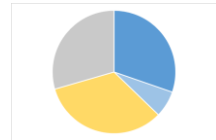
Trajectoire haute



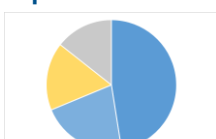
Trajectoire avec véh. autonomes



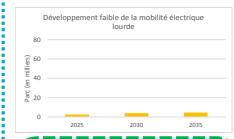
Développement uniforme



Développement marqué chez les actifs



Trajectoire basse
~50 000 en 2035



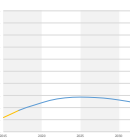
Trajectoire médiane
~110 000 en 2035



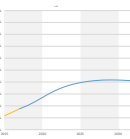
Trajectoire haute
~150 000 en 2035



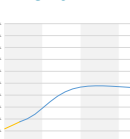
VHR bas
22% VHR



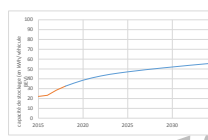
VHR médian
38% VHR



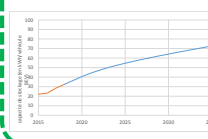
VHR haut
46% VHR



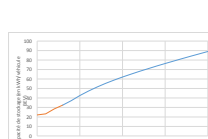
Scénario bas
56 kWh pour les VE en 2035



Scénario médian
73 kWh pour les VE en 2035



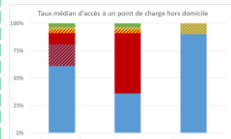
Scénario haut
89 kWh pour les VE en 2035



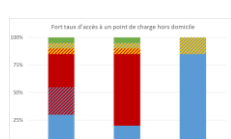
Faible accès hors domicile



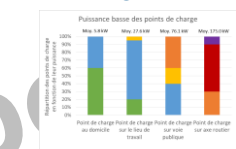
Accès médian hors domicile



Fort accès hors domicile

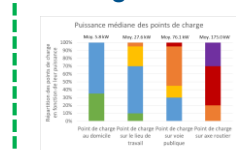


Puissance points de charge basse



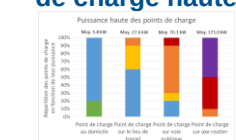
Au domicile : 40% 7 kW

Puissance points de charge médiane



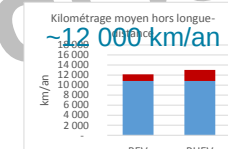
Au domicile : 65% 7 kW

Puissance points de charge haute

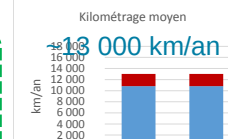


Au domicile : 80% 7 kW

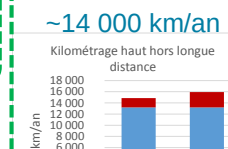
Scénario médian hors LD



Scénario médian



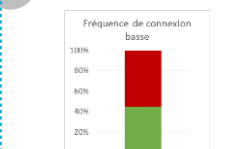
Scénario haut hors LD



Scénario haut

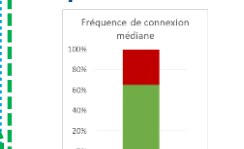


Fréquence basse



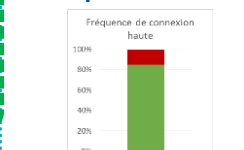
45% se connectent dès que possible

Fréquence médiane



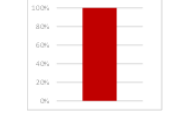
65% se connectent dès que possible

Fréquence haute

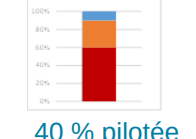


85% se connectent dès que possible

Aucun pilotage

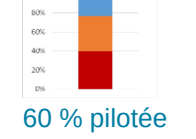


Pilotage bas



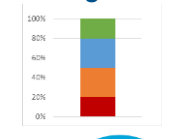
40 % pilotée sans V2G

Pilotage médian



60 % pilotée dont 3% V2G

Pilotage haut



80% pilotée dont 20% V2G



Scénario A haut

Consensus

Parc de véhicules légers

Répartition socio de la mobilité élec.

Parc de véhicules lourds

Part de VHR

Capacité des batteries

Accès aux points de charge

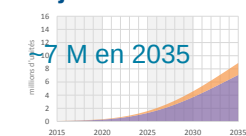
Puissance des points de charge

Besoins de mobilité

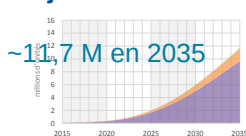
Habitudes de connexion

Pilotage de la charge

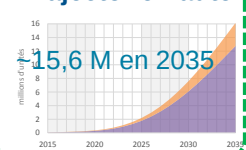
Trajectoire basse



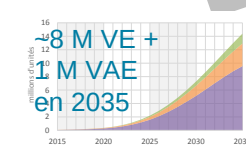
Trajectoire médiane



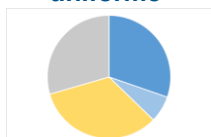
Trajectoire haute



Trajectoire avec véh. autonomes

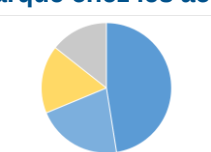


Développement uniforme



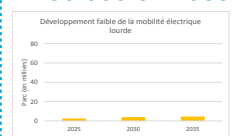
37% commuter ou pro

Développement marqué chez les actifs



69% commuter ou pro

Trajectoire basse
~50 000 en 2035



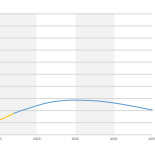
Trajectoire médiane
~110 000 en 2035



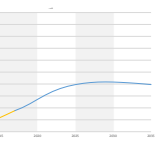
Trajectoire haute
~150 000 en 2035



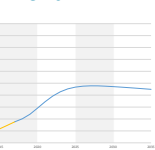
VHR bas
22% VHR



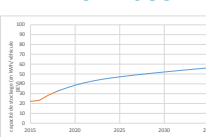
VHR médian
38% VHR



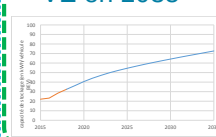
VHR haut
46% VHR



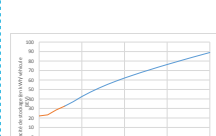
Scénario bas
56 kWh pour les VE en 2035



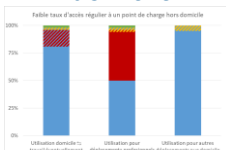
Scénario médian
73 kWh pour les VE en 2035



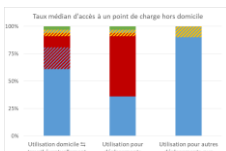
Scénario haut
89 kWh pour les VE en 2035



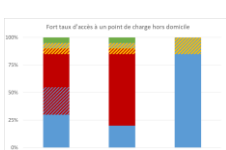
Faible accès hors domicile



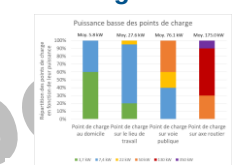
Accès médian hors domicile



Fort accès hors domicile

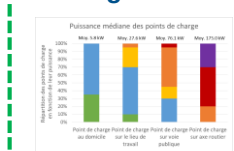


Puissance points de charge basse



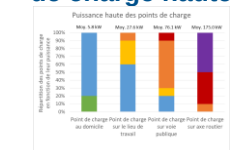
Au domicile : 40% 7 kW

Puissance points de charge médiane



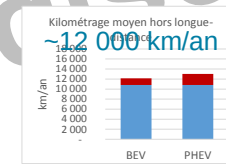
Au domicile : 65% 7 kW

Puissance points de charge haute

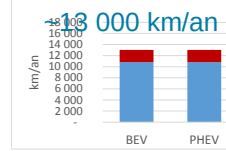


Au domicile : 80% 7 kW

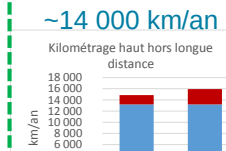
Scénario médian hors LD



Scénario médian



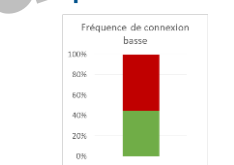
Scénario haut hors LD



Scénario haut

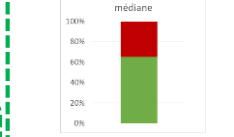


Fréquence basse



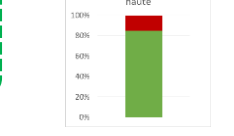
45% se connectent dès que possible

Fréquence médiane



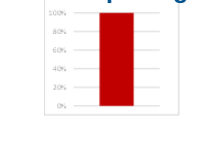
65% se connectent dès que possible

Fréquence haute

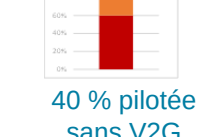


85% se connectent dès que possible

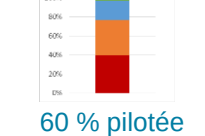
Aucun pilotage



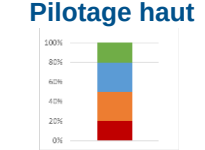
Pilotage bas



40 % pilotée sans V2G



60 % pilotée dont 3% V2G



80% pilotée dont 20% V2G



Rte

Scénario B médian

Forts services au système électrique

Parc de véhicules légers

Répartition socio de la mobilité élec.

Parc de véhicules lourds

Part de VHR

Capacité des batteries

Accès aux points de charge

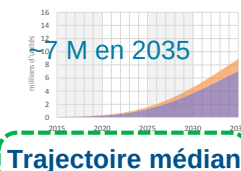
Puissance des points de charge

Besoins de mobilité

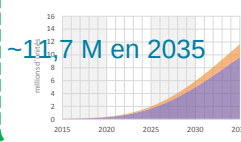
Habitudes de connexion

Pilotage de la charge

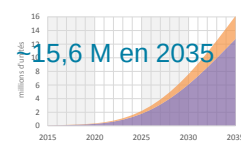
Trajectoire basse



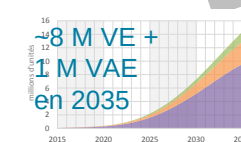
Trajectoire médiane



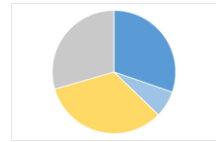
Trajectoire haute



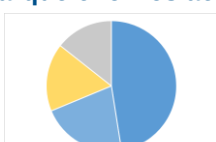
Trajectoire avec véh. autonomes



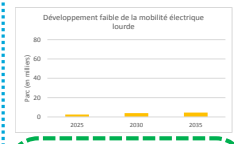
Développement uniforme



Développement marqué chez les actifs



Trajectoire basse
~50 000 en 2035



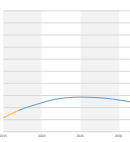
Trajectoire médiane
~110 000 en 2035



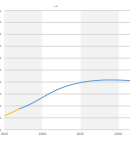
Trajectoire haute
~150 000 en 2035



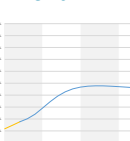
VHR bas
22% VHR



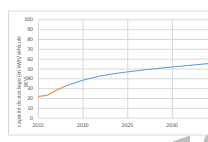
VHR médian
38% VHR



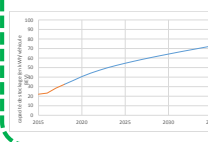
VHR haut
46% VHR



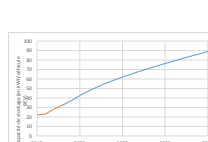
Scénario bas
56 kWh pour les VE en 2035



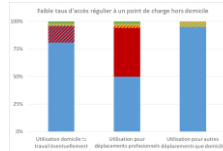
Scénario médian
73 kWh pour les VE en 2035



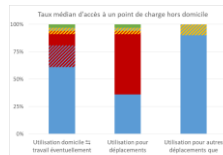
Scénario haut
89 kWh pour les VE en 2035



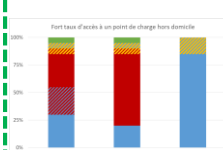
Faible accès hors domicile



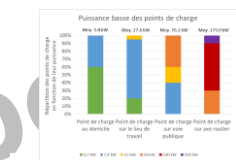
Accès médian hors domicile



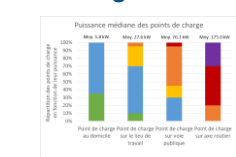
Fort accès hors domicile



Puissance points de charge basse

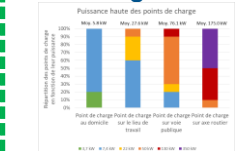


Au domicile : 40% 7 kW
Puissance points de charge médiane



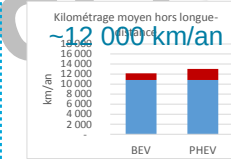
Au domicile : 65% 7 kW

Puissance points de charge haute

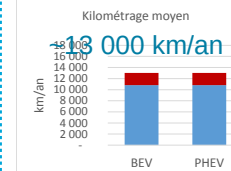


Au domicile : 80% 7 kW

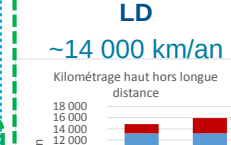
Scénario médian hors LD



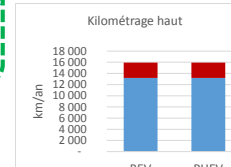
Scénario médian



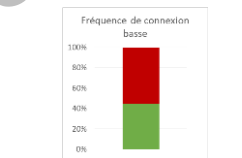
Scénario haut hors LD



Scénario haut

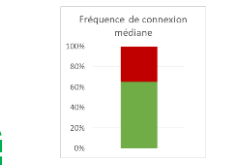


Fréquence basse



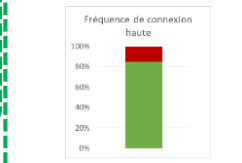
45% se connectent dès que possible

Fréquence médiane



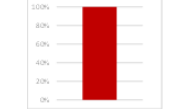
65% se connectent dès que possible

Fréquence haute



85% se connectent dès que possible

Aucun pilotage



Pilotage bas



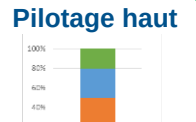
40 % pilotée sans V2G

Pilotage médian



60 % pilotée dont 3% V2G

Pilotage haut



80% pilotée dont 10% V2G



Scénario B haut

Forts services au système électrique

Parc de véhicules légers

Répartition socio de la mobilité élec.

Parc de véhicules lourds

Part de VHR

Capacité des batteries

Accès aux points de charge

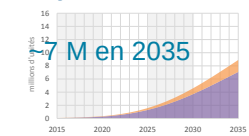
Puissance des points de charge

Besoins de mobilité

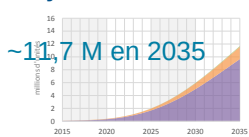
Habitudes de connexion

Pilotage de la charge

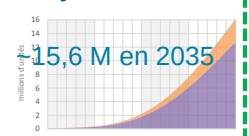
Trajectoire basse



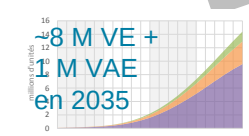
Trajectoire médiane



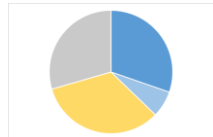
Trajectoire haute



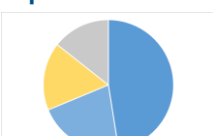
Trajectoire avec véh. autonomes



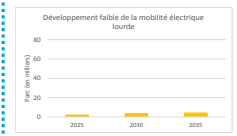
Développement uniforme



Développement marqué chez les actifs



Trajectoire basse ~50 000 en 2035



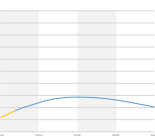
Trajectoire médiane ~110 000 en 2035



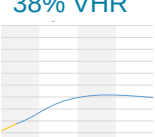
Trajectoire haute ~150 000 en 2035



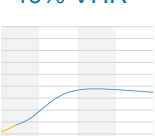
VHR bas 22% VHR



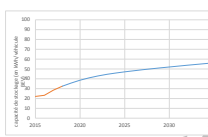
VHR médian 38% VHR



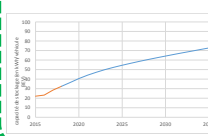
VHR haut 46% VHR



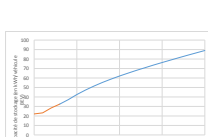
Scénario bas 56 kWh pour les VE en 2035



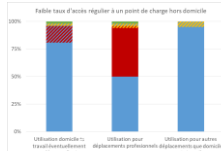
Scénario médian 73 kWh pour les VE en 2035



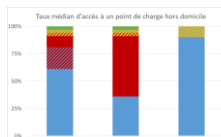
Scénario haut 89 kWh pour les VE en 2035



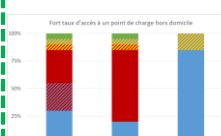
Faible accès hors domicile



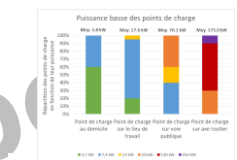
Accès médian hors domicile



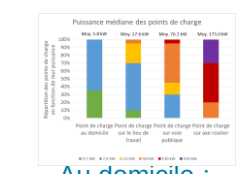
Fort accès hors domicile



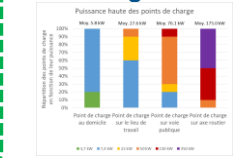
Puissance points de charge basse



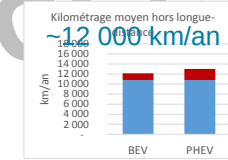
Au domicile : 40% 7 kW Puissance points de charge médiane



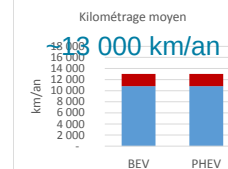
Puissance points de charge haute



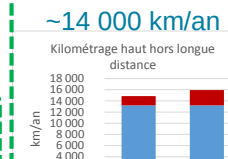
Scénario médian hors LD



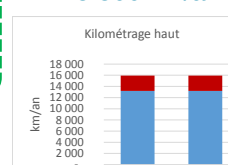
Scénario médian



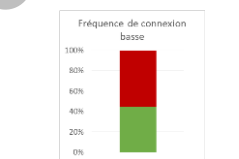
Scénario haut hors LD



Scénario haut

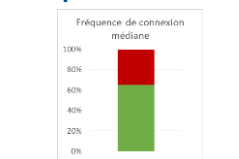


Fréquence basse



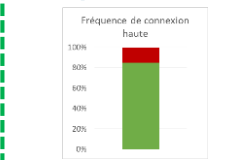
45% se connectent dès que possible

Fréquence médiane



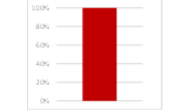
65% se connectent dès que possible

Fréquence haute

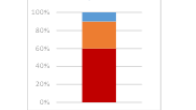


85% se connectent dès que possible

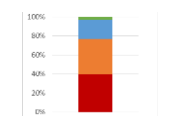
Aucun pilotage



Pilotage bas



40 % pilotée sans V2G Pilotage médian



60 % pilotée dont 3% V2G



Pilotage haut



80% pilotée dont 10% V2G



Scénario C médian

Stress pour le système électrique

Parc de véhicules légers

Répartition socio de la mobilité élec.

Parc de véhicules lourds

Part de VHR

Capacité des batteries

Accès aux points de charge

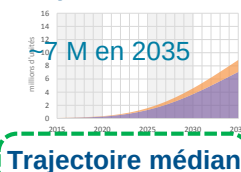
Puissance des points de charge

Besoins de mobilité

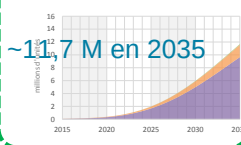
Habitudes de connexion

Pilotage de la charge

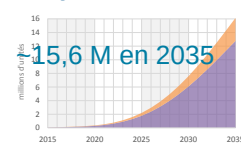
Trajectoire basse



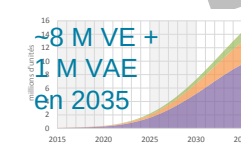
Trajectoire médiane



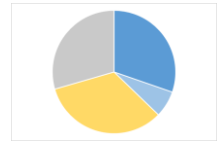
Trajectoire haute



Trajectoire avec véh. autonomes

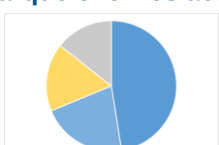


Développement uniforme



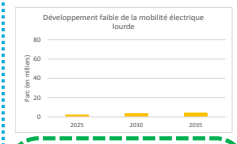
37% commuter ou pro

Développement marqué chez les actifs



69% commuter ou pro

Trajectoire basse
~50 000 en 2035



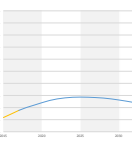
Trajectoire médiane
~110 000 en 2035



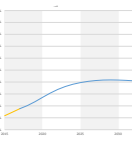
Trajectoire haute
~150 000 en 2035



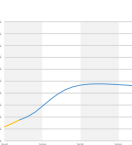
VHR bas
22% VHR



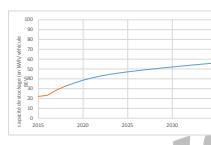
VHR médian
38% VHR



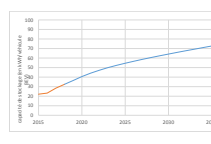
VHR haut
46% VHR



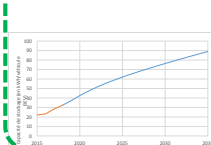
Scénario bas
56 kWh pour les VE en 2035



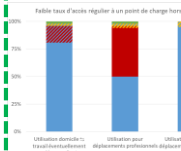
Scénario médian
73 kWh pour les VE en 2035



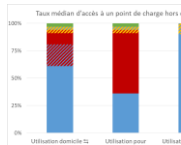
Scénario haut
89 kWh pour les VE en 2035



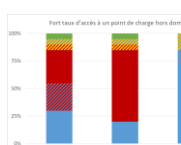
Faible accès hors domicile



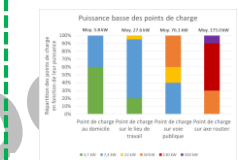
Accès médian hors domicile



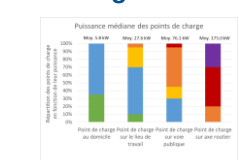
Fort accès hors domicile



Puissance points de charge basse

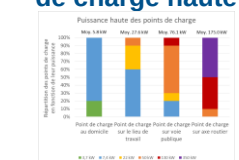


Au domicile : 40% 7 kW
Puissance points de charge médiane



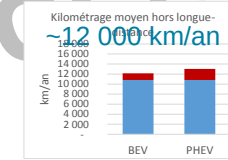
Au domicile : 65% 7 kW

Puissance points de charge haute

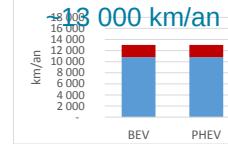


Au domicile : 80% 7 kW

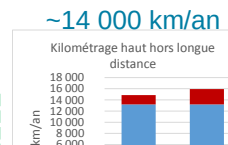
Scénario médian hors LD



Scénario médian



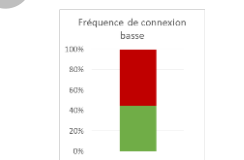
Scénario haut hors LD



Scénario haut

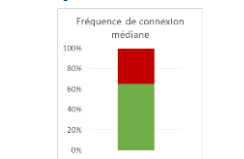


Fréquence basse



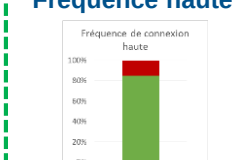
45% se connectent dès que possible

Fréquence médiane



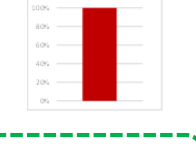
65% se connectent dès que possible

Fréquence haute

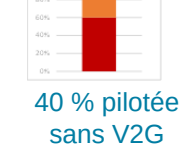


85% se connectent dès que possible

Aucun pilotage



Pilotage bas



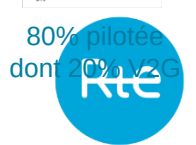
40 % pilotée sans V2G

Pilotage médian



60 % pilotée dont 3% V2G

Pilotage haut



80% pilotée dont 20% V2G

Scénario C haut

Stress pour le système électrique

Parc de véhicules légers

Répartition socio de la mobilité élec.

Parc de véhicules lourds

Part de VHR

Capacité des batteries

Accès aux points de charge

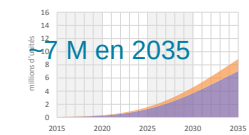
Puissance des points de charge

Besoins de mobilité

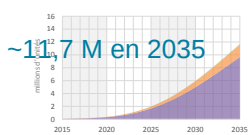
Habitudes de connexion

Pilotage de la charge

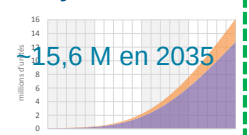
Trajectoire basse



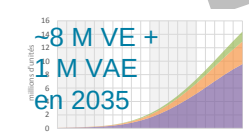
Trajectoire médiane



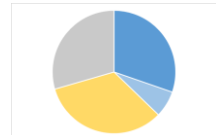
Trajectoire haute



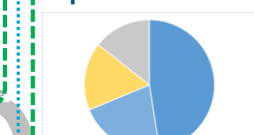
Trajectoire avec véh. autonomes



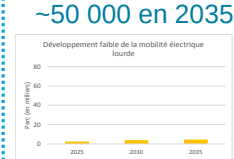
Développement uniforme



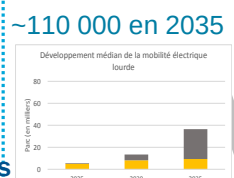
Développement marqué chez les actifs



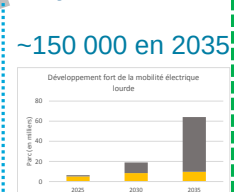
Trajectoire basse



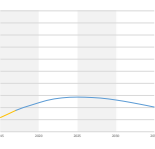
Trajectoire médiane



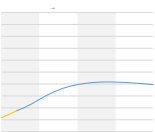
Trajectoire haute



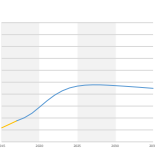
VHR bas
22% VHR



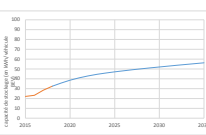
VHR médian
38% VHR



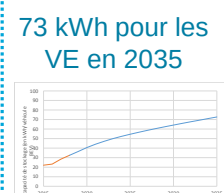
VHR haut
46% VHR



Scénario bas
56 kWh pour les VE en 2035



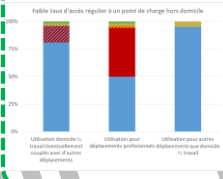
Scénario médian
73 kWh pour les VE en 2035



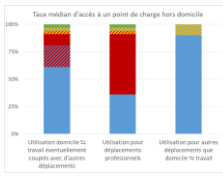
Scénario haut
89 kWh pour les VE en 2035



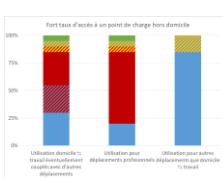
Faible accès hors domicile



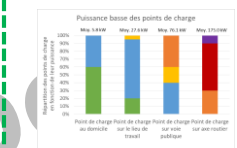
Accès médian hors domicile



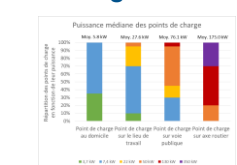
Fort accès hors domicile



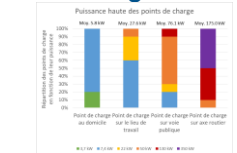
Puissance points de charge basse



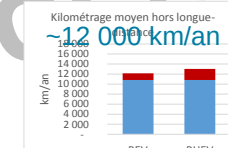
Au domicile : 40% 7 kW
Puissance points de charge médiane



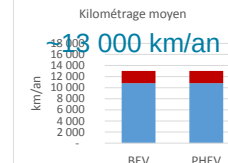
Puissance points de charge haute



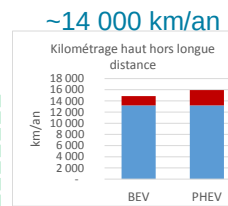
Scénario médian hors LD



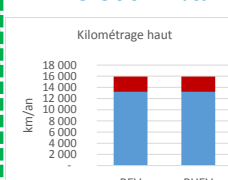
Scénario médian



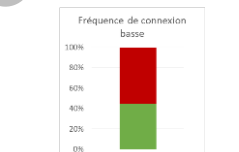
Scénario haut hors LD



Scénario haut

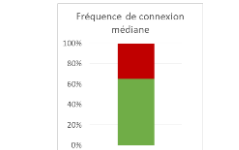


Fréquence basse



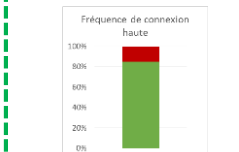
45% se connectent dès que possible

Fréquence médiane



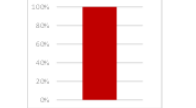
65% se connectent dès que possible

Fréquence haute



85% se connectent dès que possible

Aucun pilotage



Pilotage bas



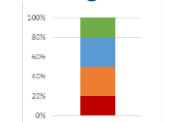
40 % pilotée sans V2G

Pilotage médian



60 % pilotée dont 3% V2G

Pilotage haut



80% pilotée dont 20% V2G



Scénario D

Rupture sur la mobilité

Parc de véhicules légers

Répartition socio de la mobilité élec.

Parc de véhicules lourds

Part de VHR

Capacité des batteries

Accès aux points de charge

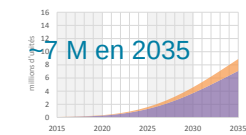
Puissance des points de charge

Besoins de mobilité

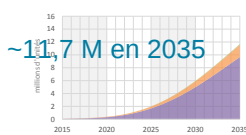
Habitudes de connexion

Pilotage de la charge

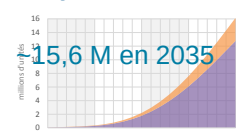
Trajectoire basse



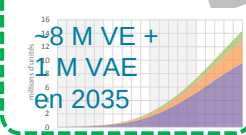
Trajectoire médiane



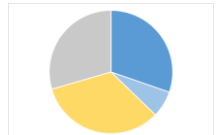
Trajectoire haute



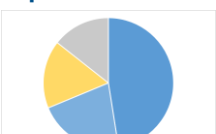
Trajectoire avec véh. autonomes



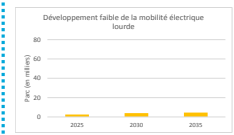
Développement uniforme



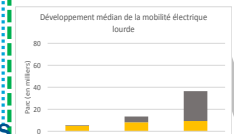
Développement marqué chez les actifs



Trajectoire basse
~5 000 en 2035



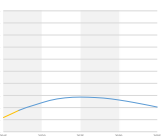
Trajectoire médiane
~35 000 en 2035



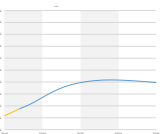
Trajectoire haute
~65 000 en 2035



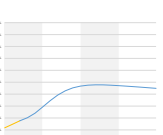
VHR bas
22% VHR



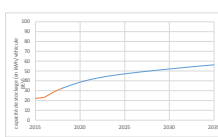
VHR médian
38% VHR



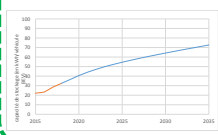
VHR haut
46% VHR



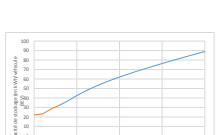
Scénario bas
56 kWh pour les VE en 2035



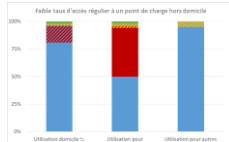
Scénario médian
73 kWh pour les VE en 2035



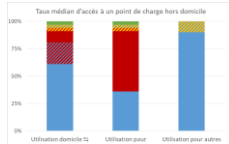
Scénario haut
89 kWh pour les VE en 2035



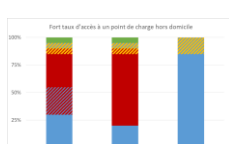
Faible accès hors domicile



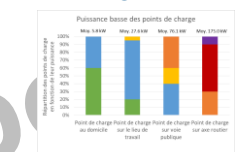
Accès médian hors domicile



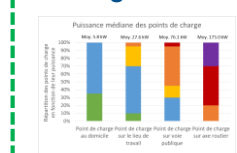
Fort accès hors domicile



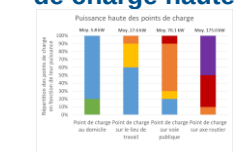
Puissance points de charge basse



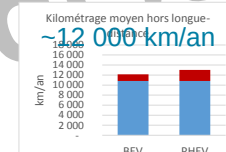
Au domicile : 40% 7 kW
Puissance points de charge médiane



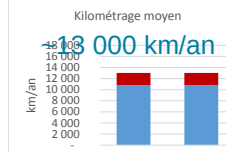
Au domicile : 65% 7 kW
Puissance points de charge haute



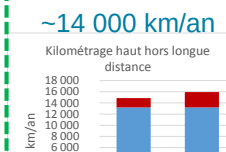
Scénario médian hors LD



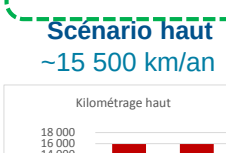
Scénario médian



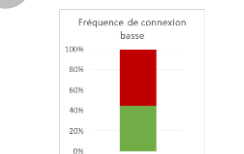
Scénario haut hors LD



Scénario haut

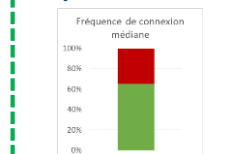


Fréquence basse



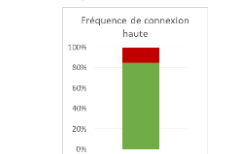
45% se connectent dès que possible

Fréquence médiane



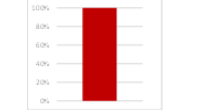
65% se connectent dès que possible

Fréquence haute

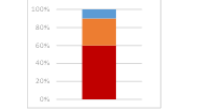


85% se connectent dès que possible

Aucun pilotage



Pilotage bas



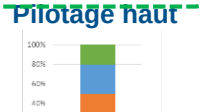
40 % pilotée sans V2G

Pilotage médian



60 % pilotée dont 3% V2G

Pilotage haut



80% pilotée dont 20% V2G

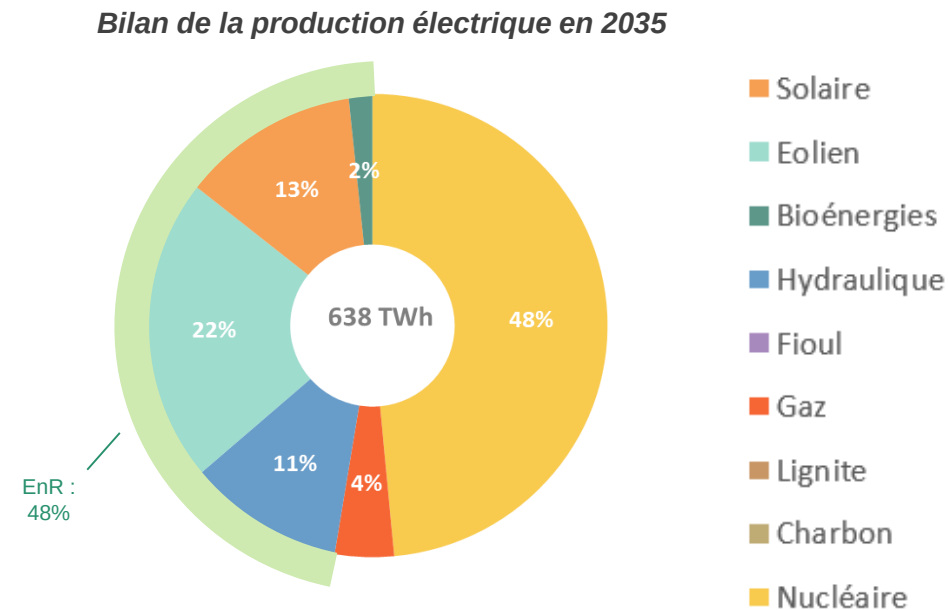
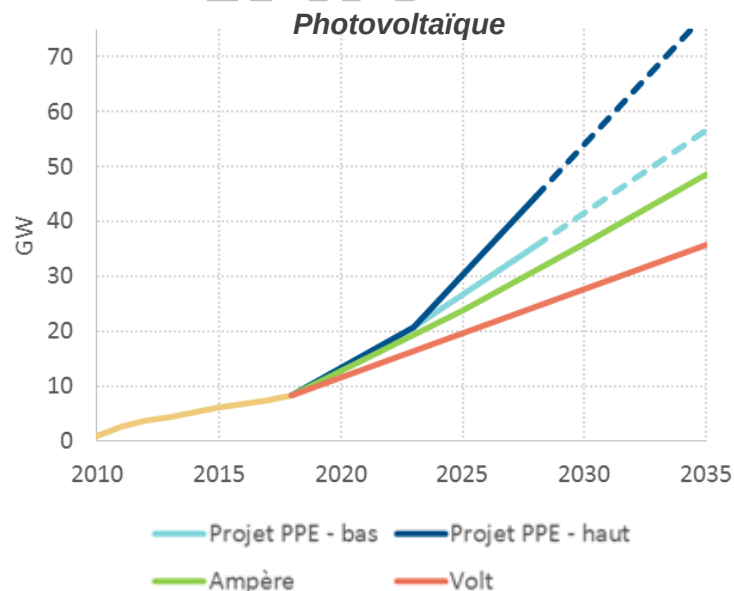
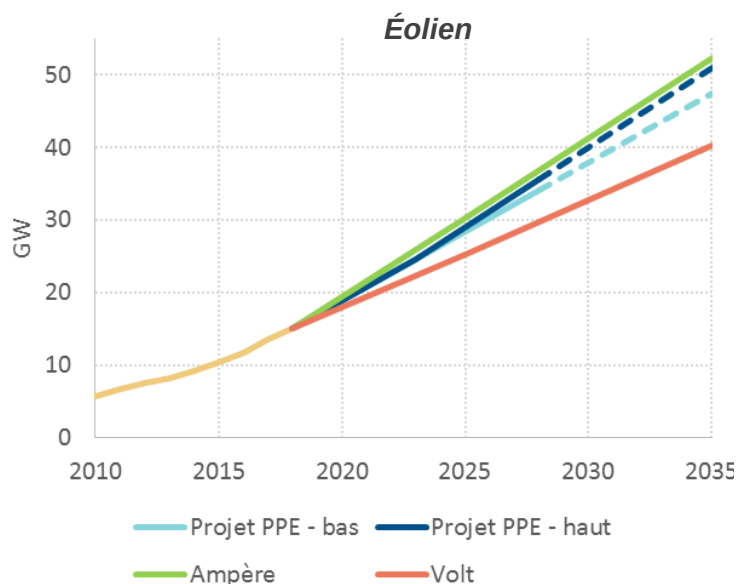
Rte

Le scénario des ambitions publiques d'évolution du mix

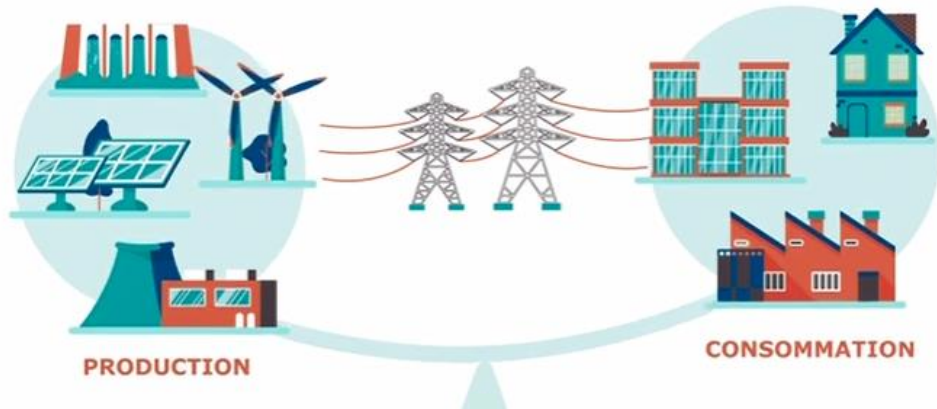
La **Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE)** envisage **une diversification du mix** :

- Un développement ambitieux des EnR :
 - **Éolien terrestre** : multiplication par 2,5 d'ici 2028
 - **Photovoltaïque** : multiplication par 4 d'ici 2028
 - **Éolien en mer** : objectif de 5 GW en service en 2028
- La fermeture de réacteurs nucléaires

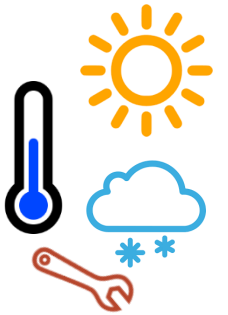
Ainsi qu'une forte électrification de la consommation électrique



Une simulation heure par heure du fonctionnement du système électrique européen



- Le fonctionnement du système électrique européen est simulé au **pas de temps horaire** :
 - Périmètre de 18 pays d'Europe
 - Représentation des **aléas** pesant sur le système électrique (conditions météorologiques, avaries techniques des moyens de production et de transport, etc.) avec une **approche probabiliste**
- La production des moyens de production est simulée pour refléter le fonctionnement du marché européen (solicitation des moyens les plus compétitifs en coûts variables)
- La modélisation de la **flexibilité sur la recharge des VE** prend en compte les contraintes de connexion, l'état de charge des batteries et les besoins de mobilité futurs



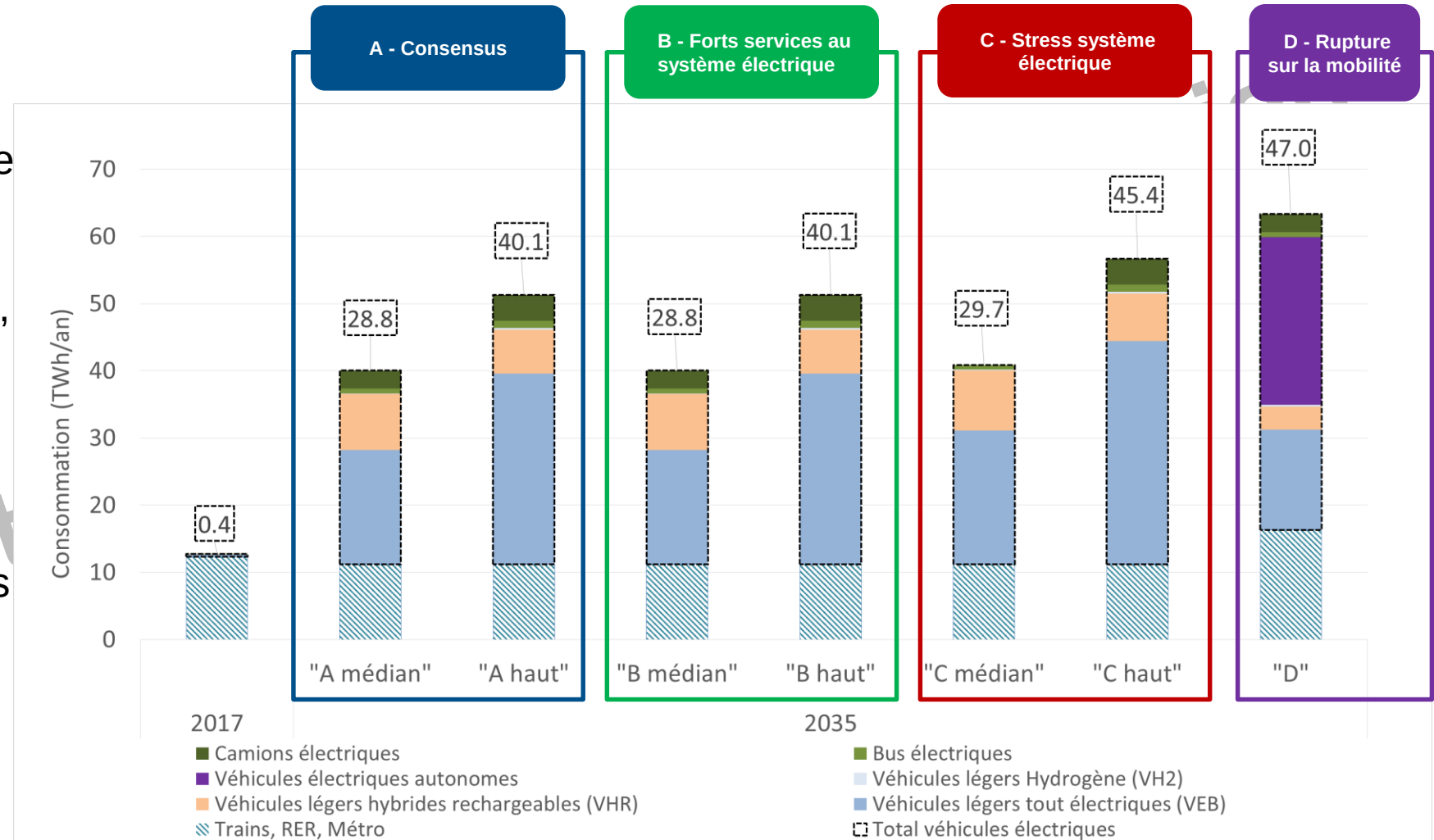


3

Energie et appels de puissance

Les véhicules électriques représenteront une consommation électrique significative à l'horizon 2035

- La mobilité électrique représente **une consommation** significative d'électricité, de **5% à 10% de la consommation nationale à l'horizon 2035**, dans les scénarios étudiés (entre 29 TWh et 47 TWh)
- L'essentiel de cette consommation concerne les **véhicules électriques légers (VP et VUL)**



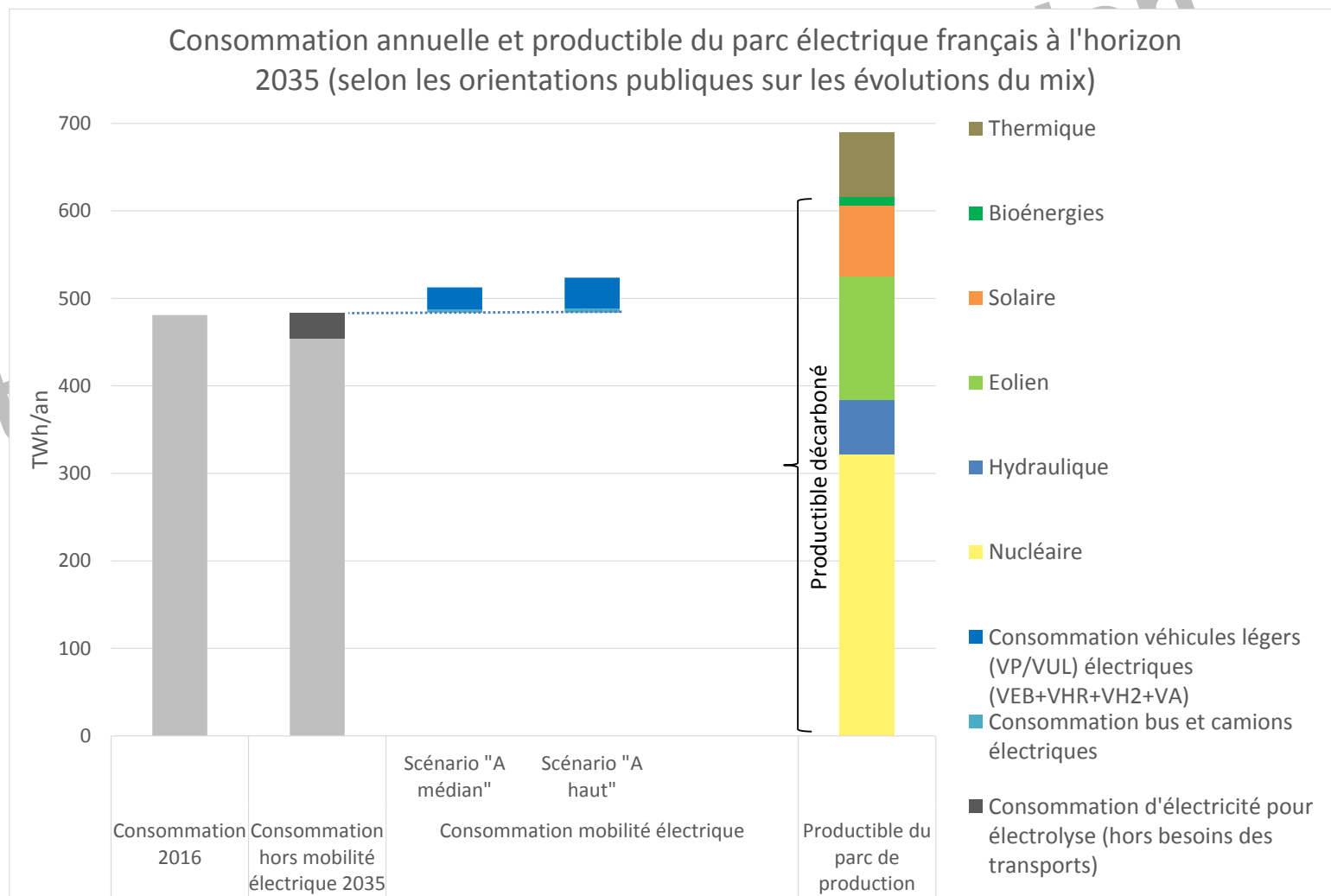
Une rupture de la mobilité basée sur le véhicule autonome est susceptible d'augmenter la consommation énergétique

- À même besoin de mobilité, **le véhicule autonome serait de l'ordre de deux fois plus gourmand en énergie que le véhicule électrique « classique »**, notamment sous l'effet des kilomètres parcourus à vide.
- Malgré la moindre consommation énergétique des transports en commun ferrés par rapport au véhicule électrique « classique », **la consommation d'énergie du scénario D est plus importante que le scénario A haut**, dont les ambitions en termes de réduction de la place des véhicules thermiques est identique.

=> Une évolution de la mobilité électrique reposant sur le véhicule autonome, même accompagnant un report modal vers les transports en commun pourrait conduire à une consommation électrique supérieure à une évolution basée uniquement sur des véhicules électrique classiques

La consommation pour la mobilité électrique peut être largement couverte par le parc de production français projeté à cet horizon

- Avec les orientations publiques, le parc de production d'électricité décarbonée en France en 2035 devrait disposer d'un productible annuel (~615 TWh) largement suffisant pour couvrir toute la consommation nationale, y compris avec un développement haut de la mobilité
- L'enjeu de l'intégration des véhicules électriques porte sur l'adéquation en puissance et non en énergie

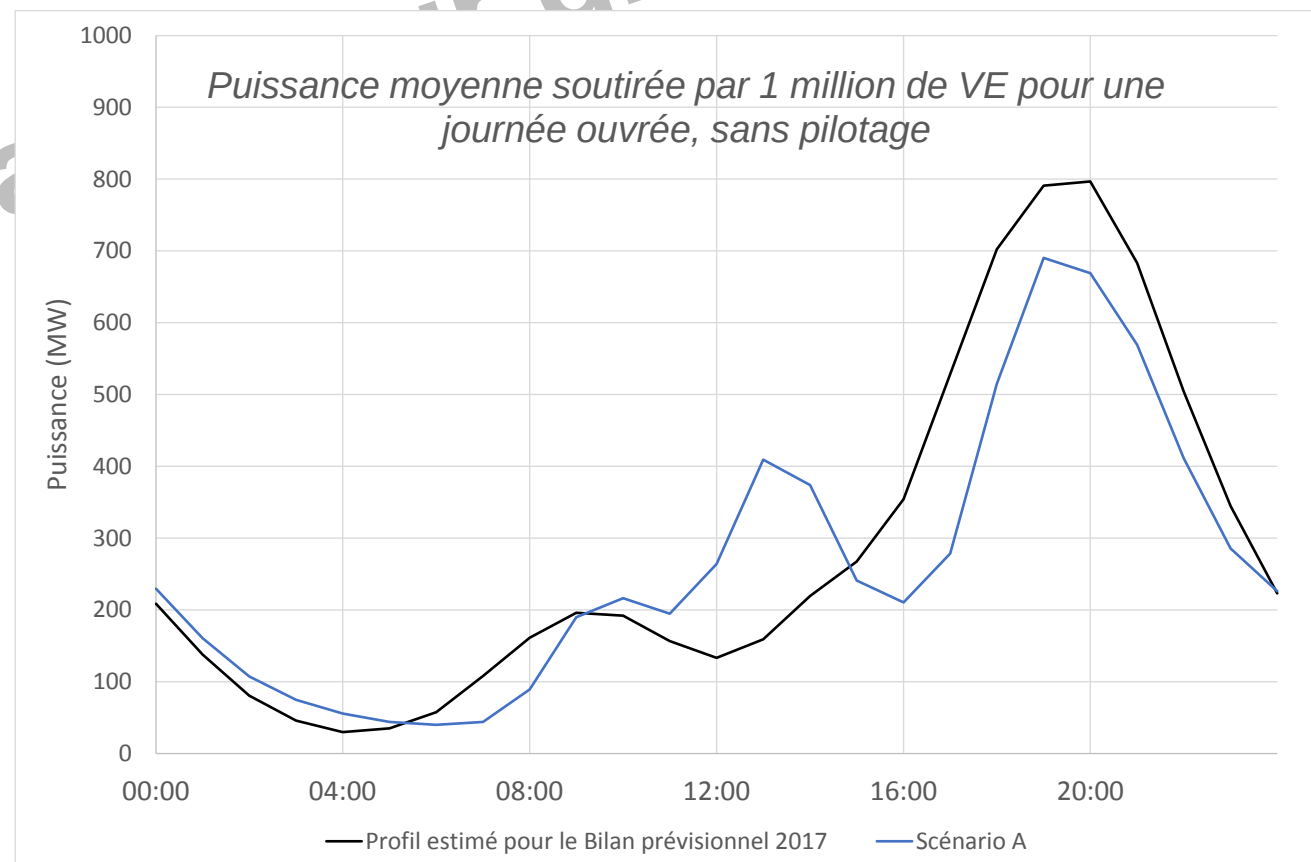


3.2

Appels de puissance et enjeux sur les marges du système électrique

La représentation détaillée nuance les premières analyses publiées dans le Bilan prévisionnel 2017

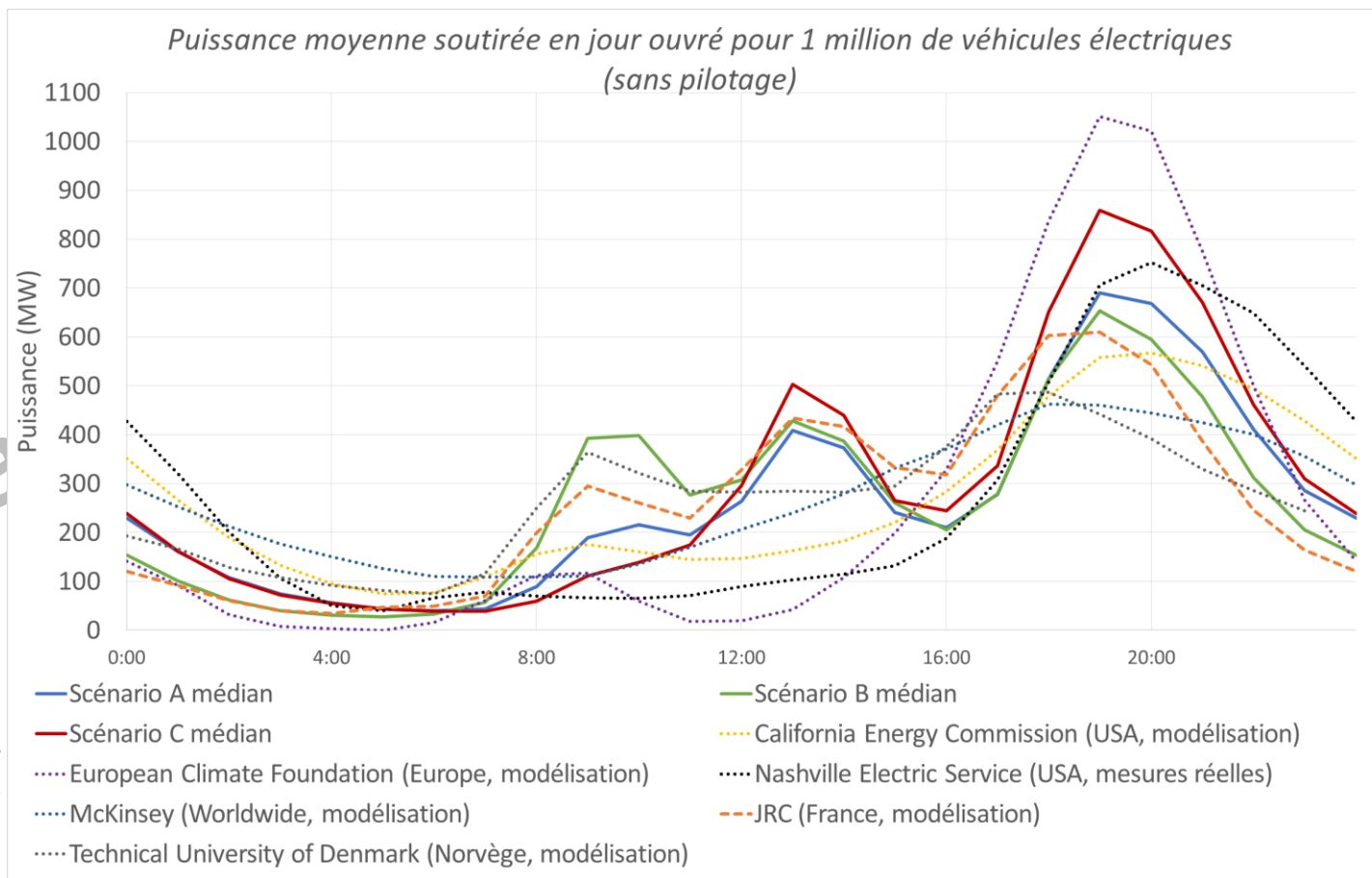
- Les enrichissements dans la représentation de la mobilité et de l'accès aux bornes conduisent à identifier, dans les configurations étudiées, **des profils de puissance moins marqués à la pointe de 19h-20h** que ceux utilisés avec une représentation simplifiée (i.e Bilan prévisionnel 2017)
- Une pointe à 19h moins marquée, qui résulte :
 - de la prise en compte des autres besoins de mobilité que domicile ↔ travail
 - de la recharge non-systématique
 - de la recharge hors domicile
- Une pointe le midi (~13h) qui découle des habitudes de retour au domicile pour les autres déplacements que domicile ↔ travail



Les analyses de RTE se situent dans le faisceau des études publiées

- Différentes publications présentent des profils d'appel de puissance de l'électromobilité mais elles portent sur des périmètres différents :
 - différents pays (USA, France, ...)
 - différentes typologies d'utilisation (privé, pro)
 - différentes modalités d'évaluation (modélisation vs mesures).
- Les profils d'appel de puissance « sans pilotage » dans les différentes configurations étudiées se situent dans le **faisceau des études existantes**

L'étude du JRC, la plus comparable car basée sur l'analyse de la mobilité en France, conduit à un profil similaire à celui obtenu par RTE avec trois « pics » matin, midi et soir.



La mobilité longue distance se concentre sur certains jours spécifiques, à des périodes de moindre consommation électrique

- Les besoins de mobilité longue-distance sont très concentrés sur quelques jours dans l'année, correspondant aux départs et retours de vacances.

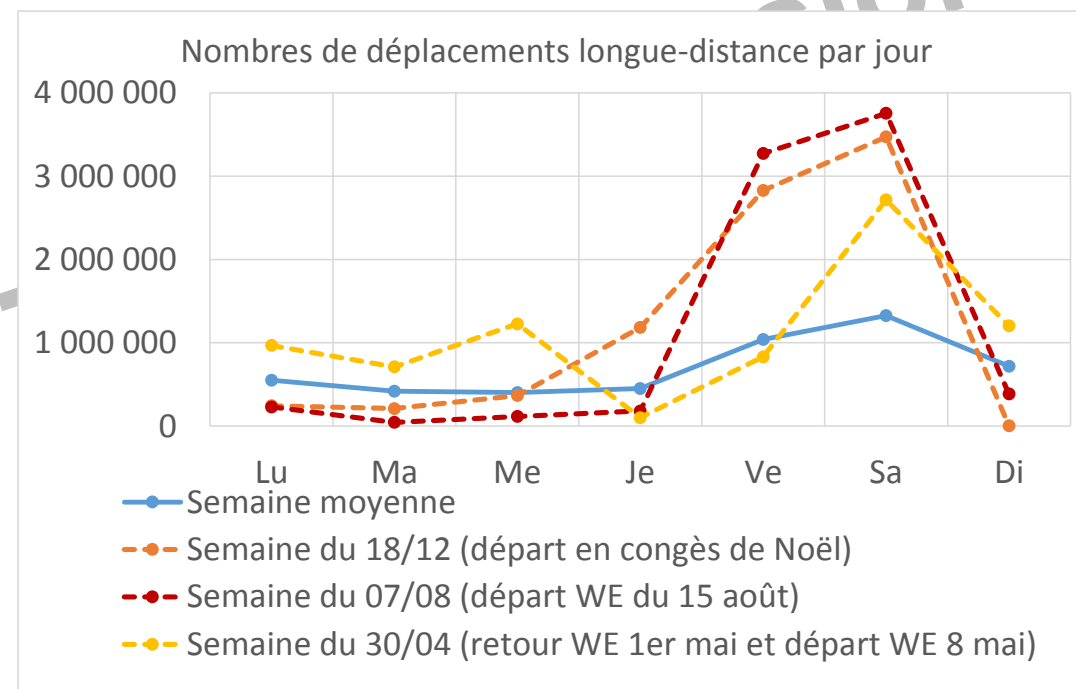
Les 20 jours les plus chargés (~5% des jours) pèsent pour ~20% des déplacements longue-distance.

Ils correspondent à des Ve-Sa-Di-FE de juillet août, vacances scolaires et ponts.

- Le poids de la mobilité longue-distance dans la distance parcourue est très contrasté selon les jours

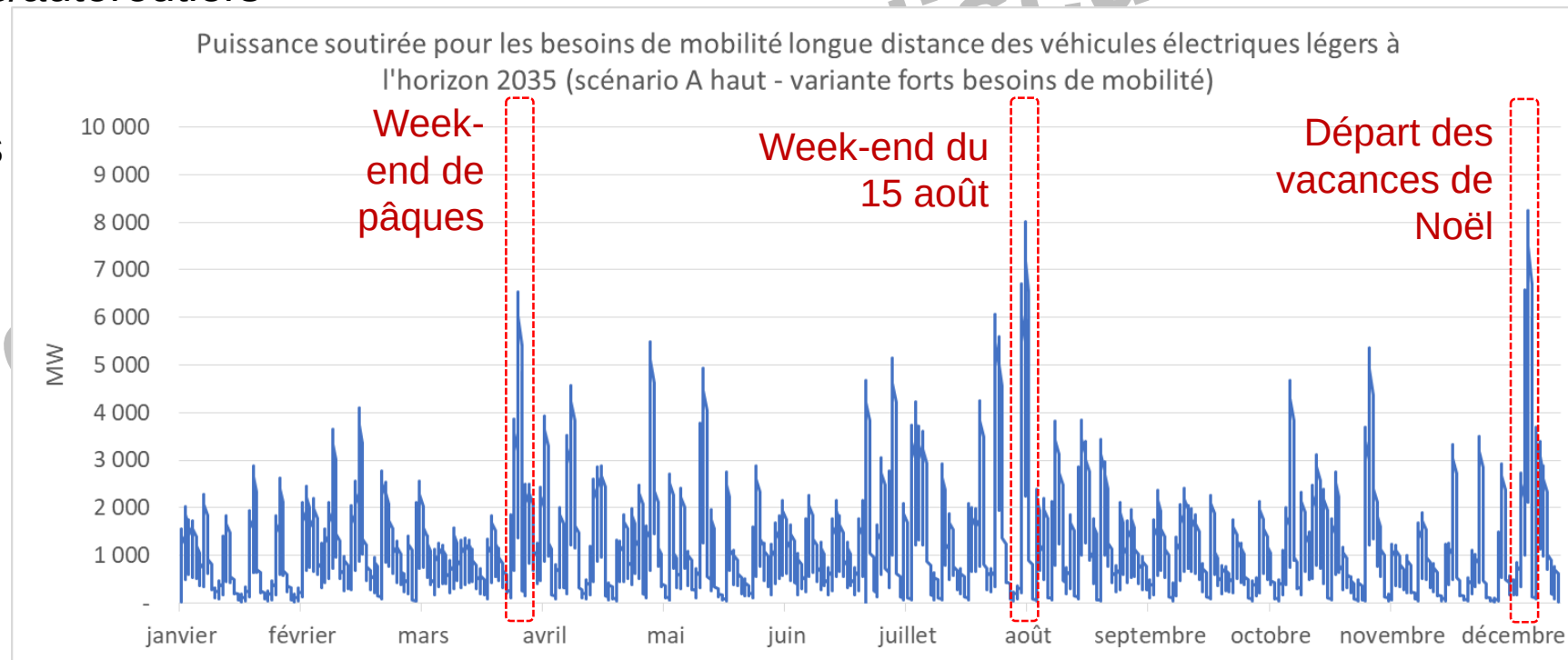
En moyenne sur l'année, la mobilité longue-distance pèse pour 20% de la distance totale parcourue par les véhicules.

Sur certains jours spécifiques, la mobilité longue-distance peut peser pour plus de 50% des kilomètres parcourus



À la maille nationale, les appels de puissance lors des périodes de forts déplacements ne mettent pas le système électrique en tension

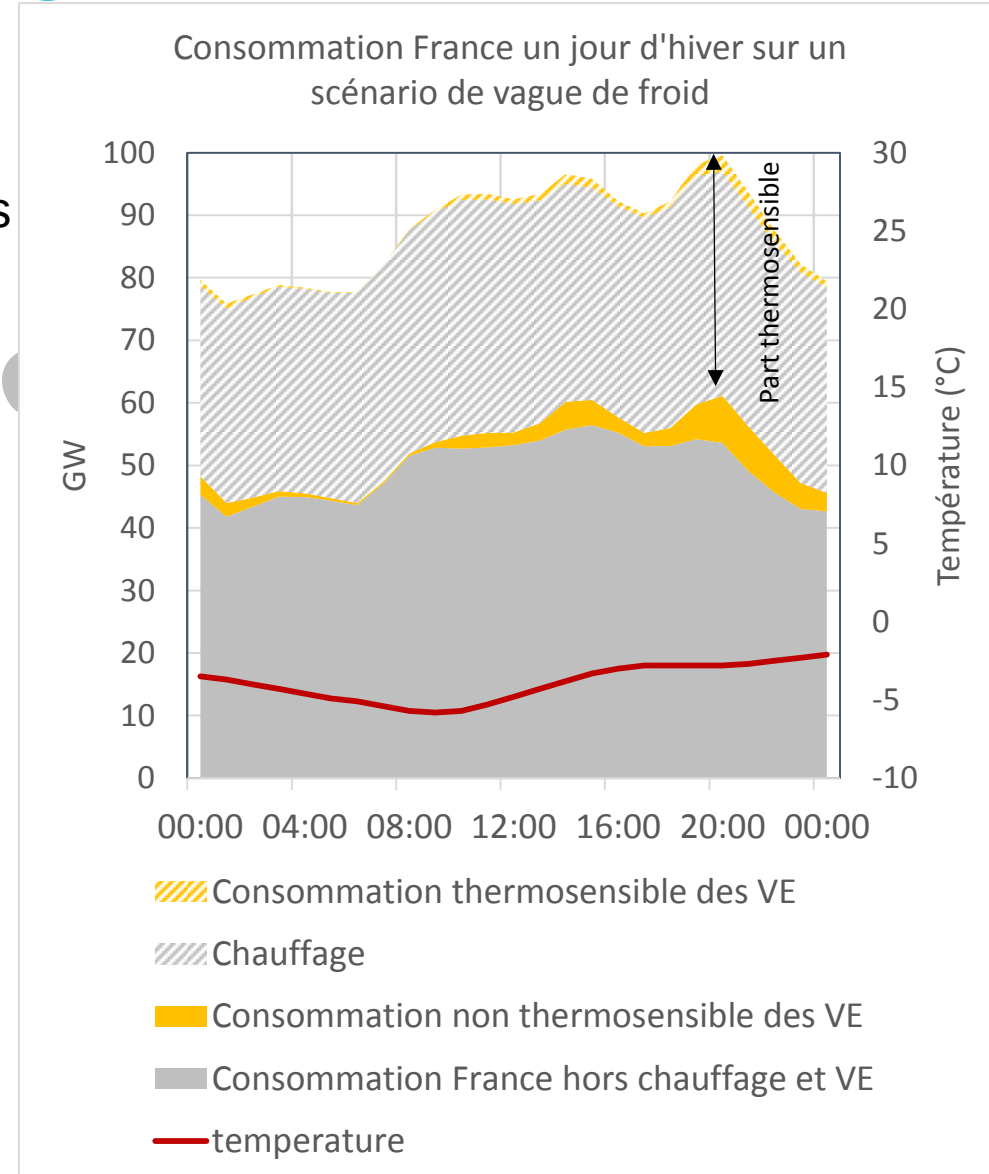
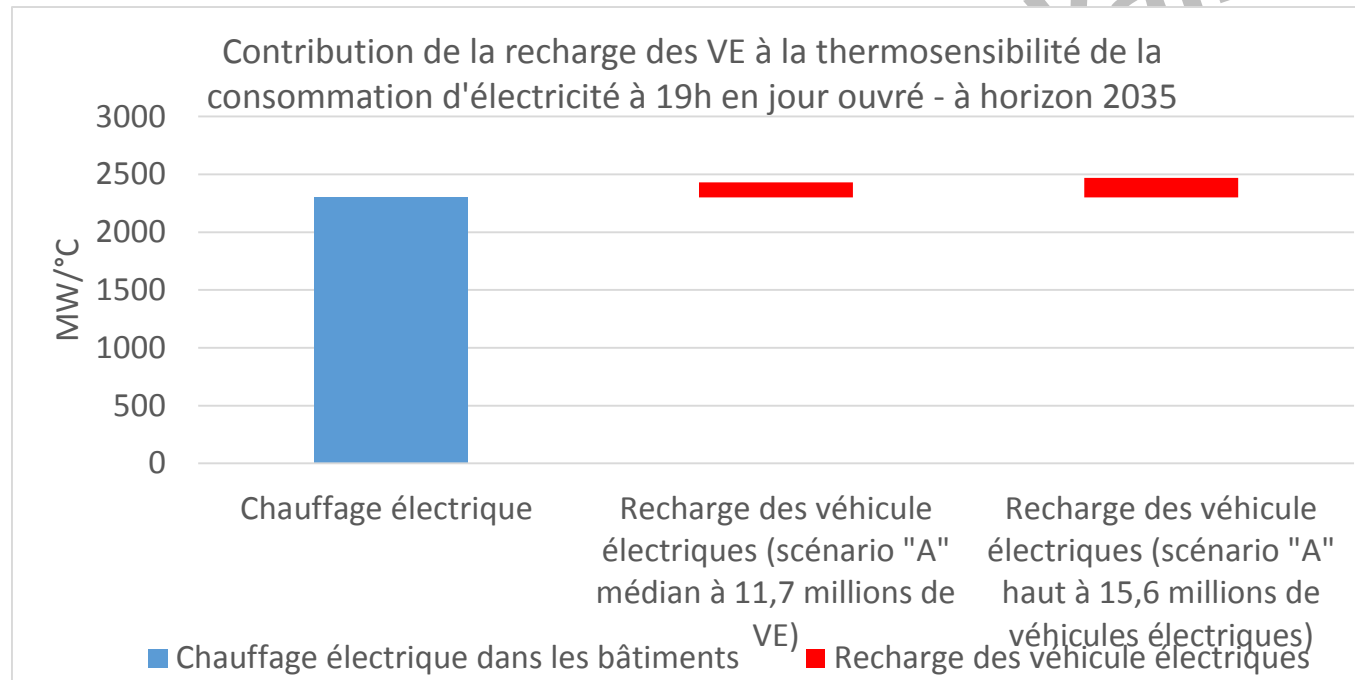
- Sur les jours spécifiques de forts déplacements longue-distance, la mobilité longue-distance peut conduire à des **appels de puissance de plus de 8 GW** (hypothèse « mobilité haute »), dont 30% à 40% sur les bornes de grands axes routiers/autoroutiers
- Ces appels de puissance importants se produisent à des **périodes de moindre consommation électrique** (jour de WE, été, etc.)
- **Un point de vigilance identifié : le départ des congés de Noël**, en cas de concomitance avec une vague de froid



→ L'enjeu de l'intégration des véhicules électriques concerne essentiellement **les recharges « du quotidien » pour la mobilité locale**

L'enjeu de l'intégration de la mobilité électrique porte essentiellement sur la pointe du soir, lors des périodes de vague de froid

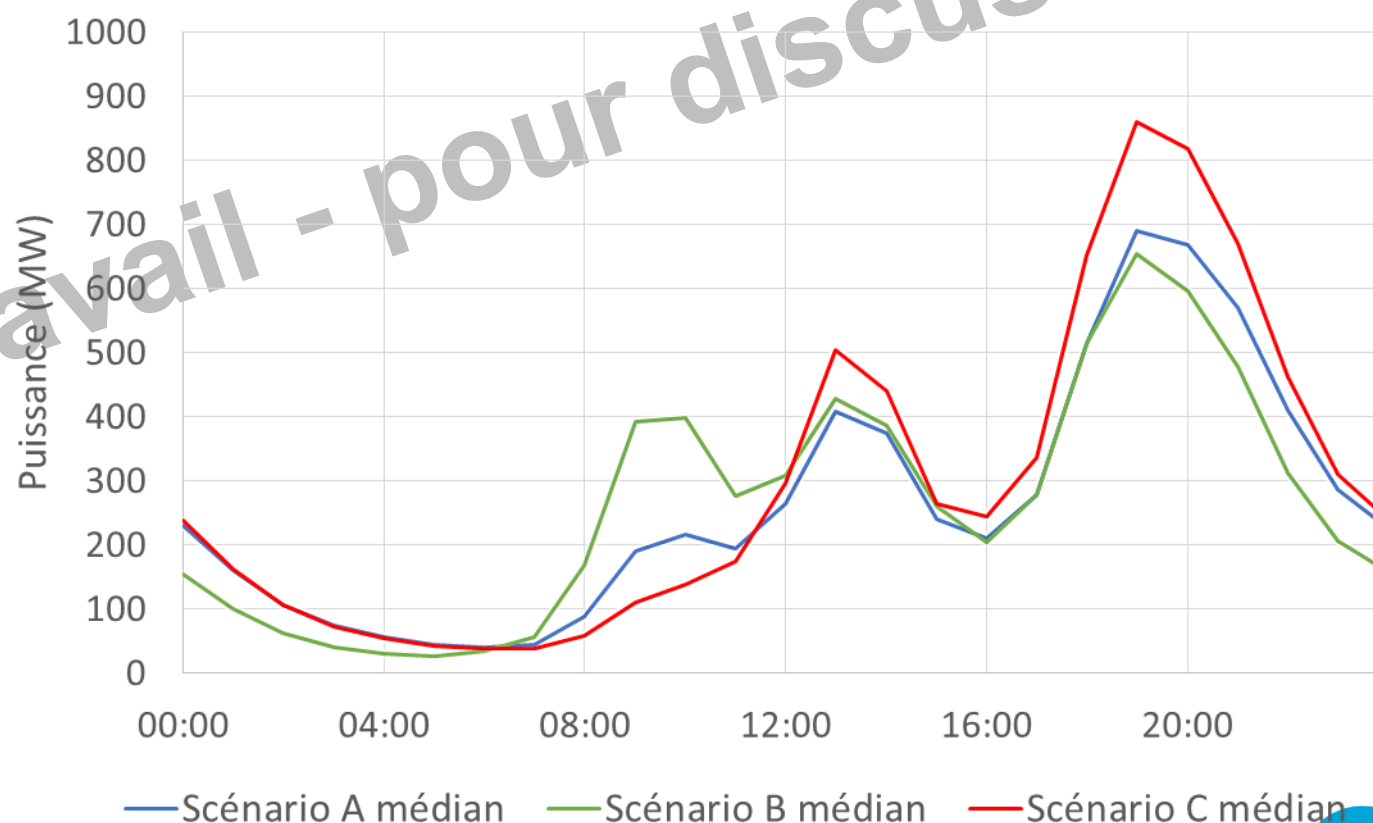
- Sans pilotage, **la pointe d'appel de puissance des véhicules électriques se situe sur la plage 19h-21h**, de façon relativement concomitante avec la pointe de consommation des autres usages
- **La consommation des VE est thermosensible** (chauffage de l'habitat) et contribuera à augmenter fortement la thermosensibilité de la consommation d'électricité



Les appels de puissance dépendront des modalités de développement de la mobilité électrique

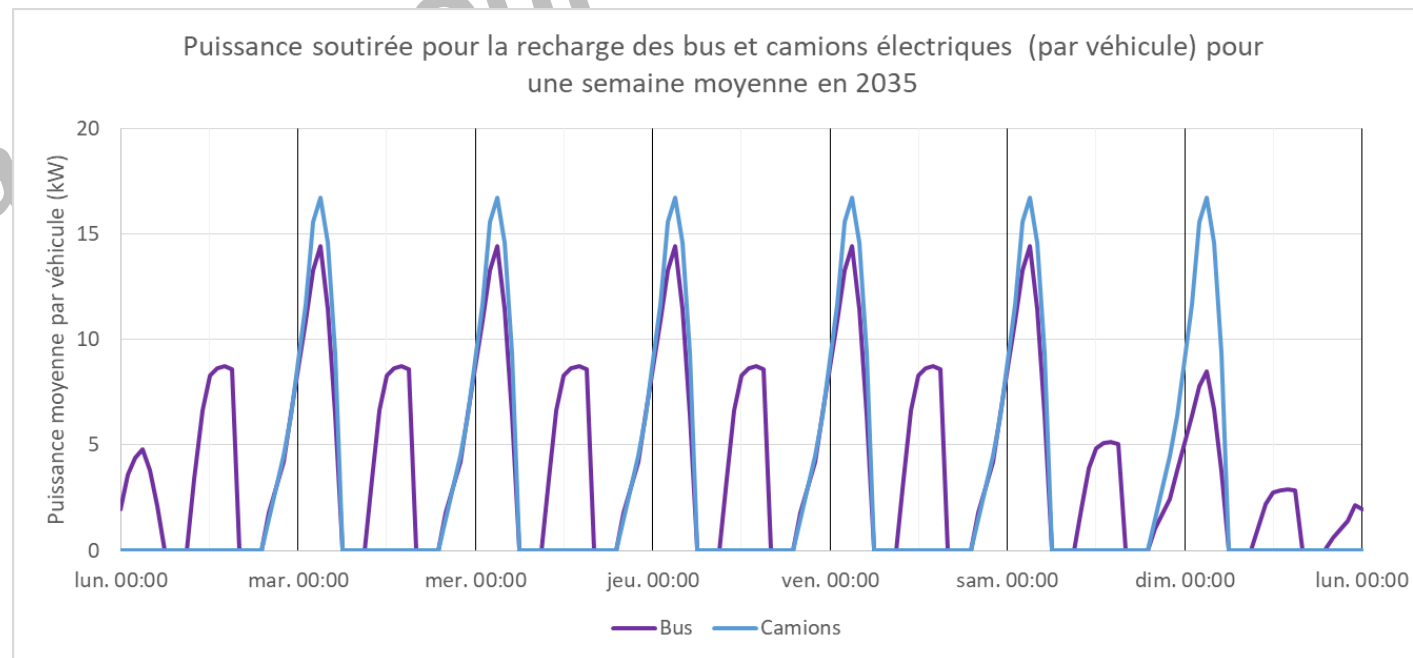
- Certains paramètres du développement de la mobilité électrique ont un impact significatif sur le profil des appels de puissance :
 - Besoins de mobilité (distances annuelles parcourues)
 - Emplacement des bornes de recharge (domicile, travail, voie publique)
 - Répartition de la mobilité électrique dans les différentes catégories sociales
- Certains paramètres ont des effets plus limités :
 - Puissance des bornes
 - Taille des batteries
 - Part des VE/VHR

Puissance soutirée pour la recharge non pilotée d'un million de véhicules électriques en fonction du scénario étudié



Et la recharge des camions et des bus ?

- La recharge des bus et camions sera vraisemblablement pilotée (enjeu économique) et contrainte par les heures où les véhicules ne se déplacent pas :
 - Pour les bus, pendant la nuit mais aussi en journée (pendant les heures creuses des transports en commun).
 - Pour les camions, pendant la nuit.
- La recharge devrait se placer à des moments de la journée où le système électrique possède des marges d'exploitation.
- Les courbes de charges des camions et bus ne sont pas scénarisées (sauf en ce qui concerne le nombre de véhicules)



La plupart des recharges des véhicules électriques peuvent être pilotées sans impact sur les besoins de mobilité

- L'essentiel des recharges peuvent faire l'objet d'un pilotage sans entraver les besoins de mobilité

- De 80% à 90% des recharges (en énergie) ont lieu à domicile ou sur lieu de travail, pendant des périodes de connexion longues

- Plusieurs modes de pilotage peuvent être envisagés :

- **Pilotage « tarifaire » simple (unidirectionnel)**

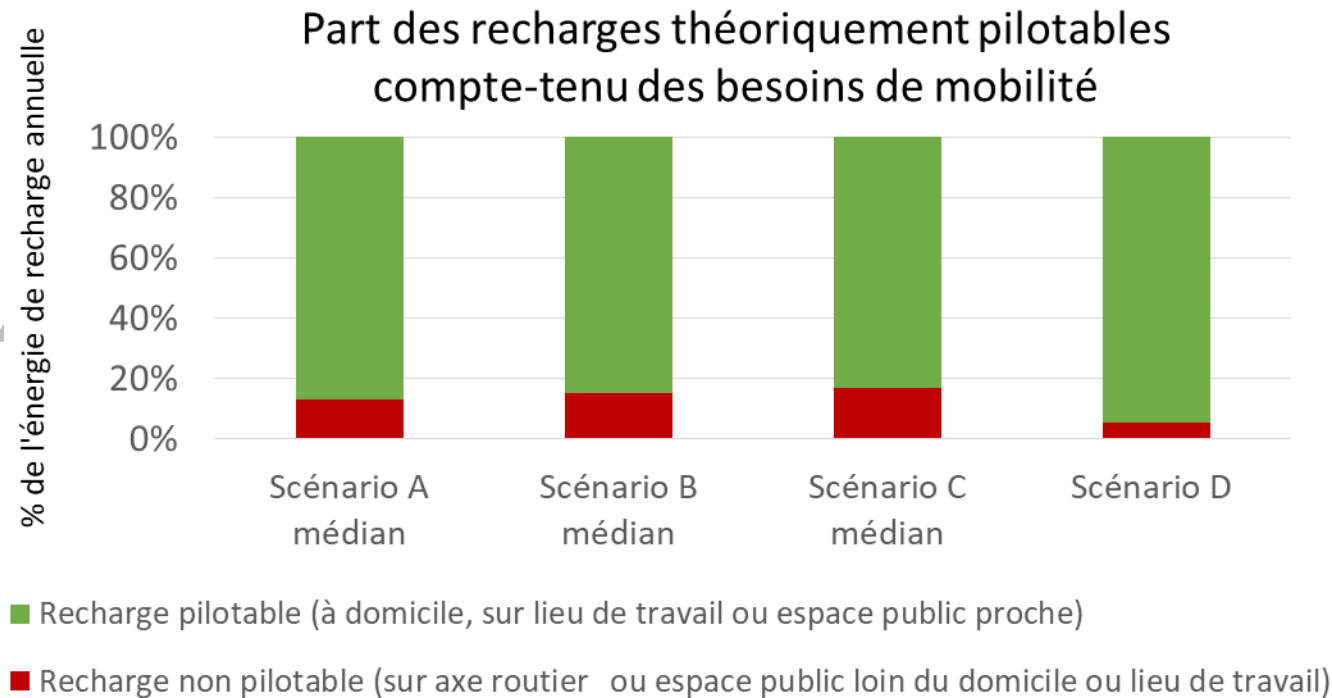
Asservissement à un signal tarifaire et choix des périodes/jours de connexion. Accessible avec Linky

- **Pilotage dynamique (unidirectionnel)**

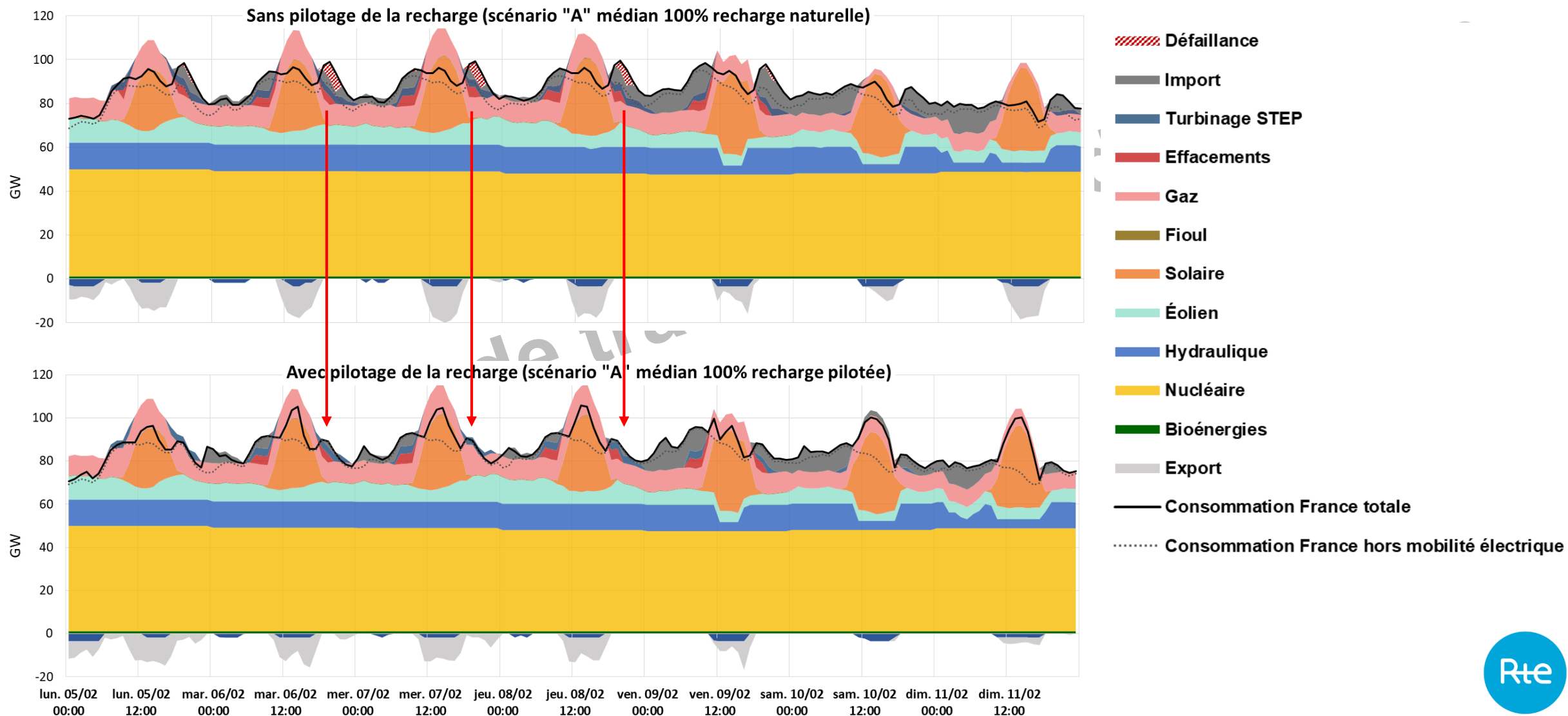
Asservissement dynamique aux signaux de marché. Nécessite des solutions plus sophistiquées

- **Pilotage bidirectionnel « vehicle-to-grid »**

Asservissement dynamique ou statique/tarifaire aux signaux de marché en intégrant la possibilité de réinjection. Nécessite une conversion DC->AC



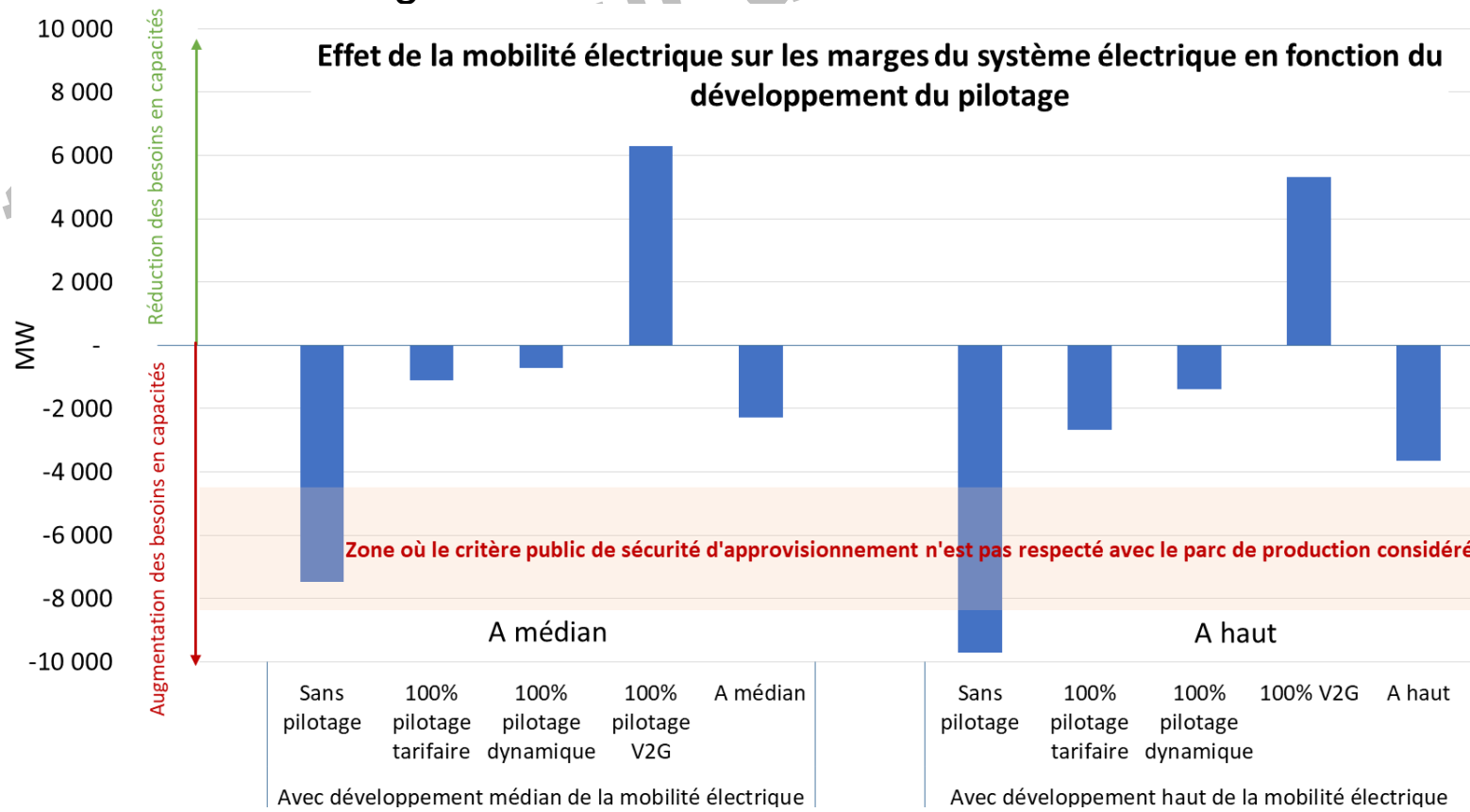
Le pilotage des véhicules peut contribuer à la sécurité d'approvisionnement



Le pilotage et le vehicle-to-grid constituent un levier important pour limiter la contribution de la mobilité électrique à la pointe de consommation

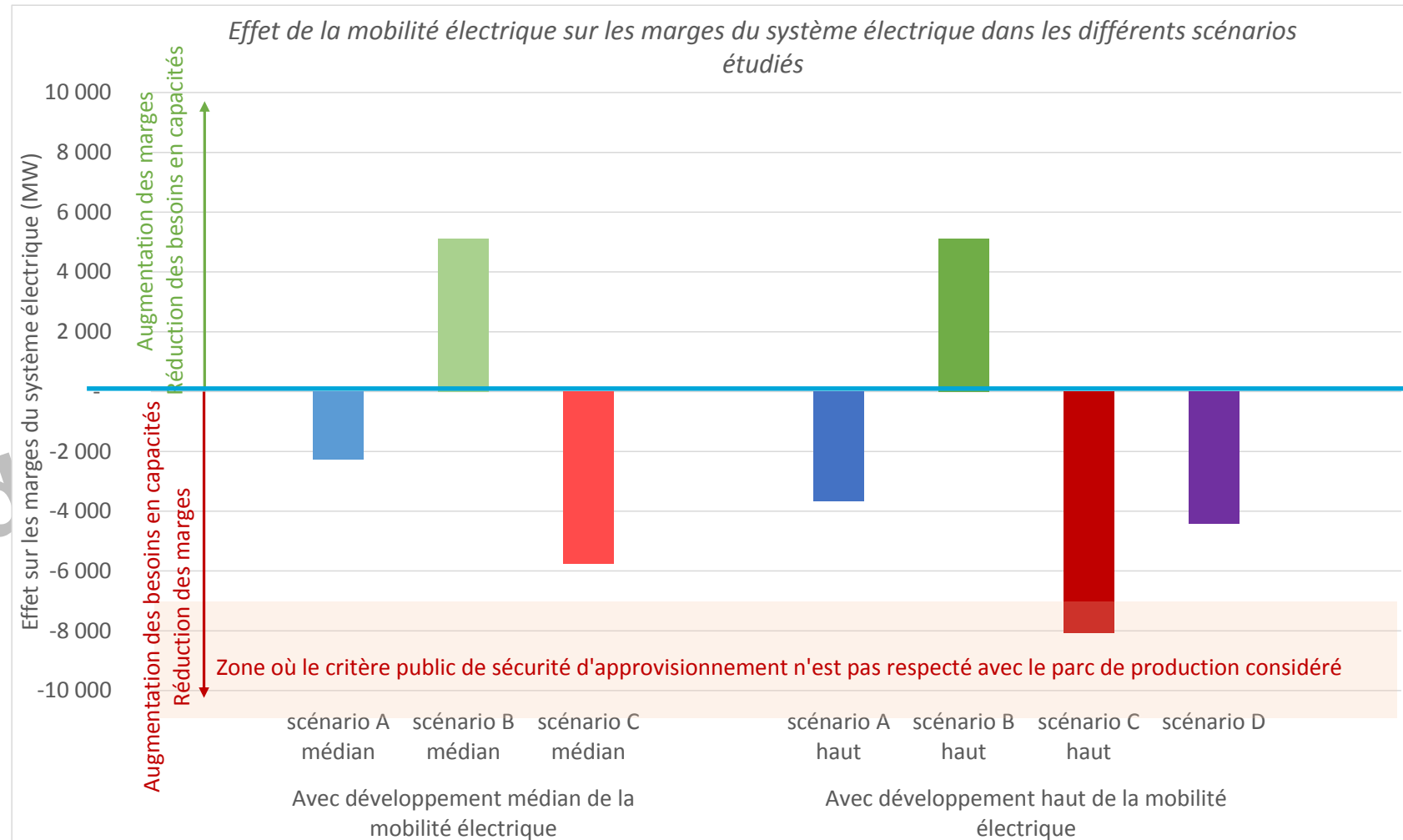
- À l'horizon 2035, **un développement important du pilotage n'est pas un prérequis à l'intégration de la mobilité électrique** si les orientations publiques en matière de mix se réalisent.
- Cependant, **le pilotage constitue une option sans regret** qui permet d'assurer la sécurité d'approvisionnement **en cas d'évolution défavorable du mix** (retard sur le développement des EnR, dispo du nucléaire, ...) ou accélérer les transferts d'usages vers l'électricité.

- Le niveau de développement du pilotage conditionne au premier ordre l'effet de la mobilité électrique sur les marges.
- Des **asservissements tarifaires simples** permettent de réduire l'essentiel de l'effet des VE sur les marges du système électrique.



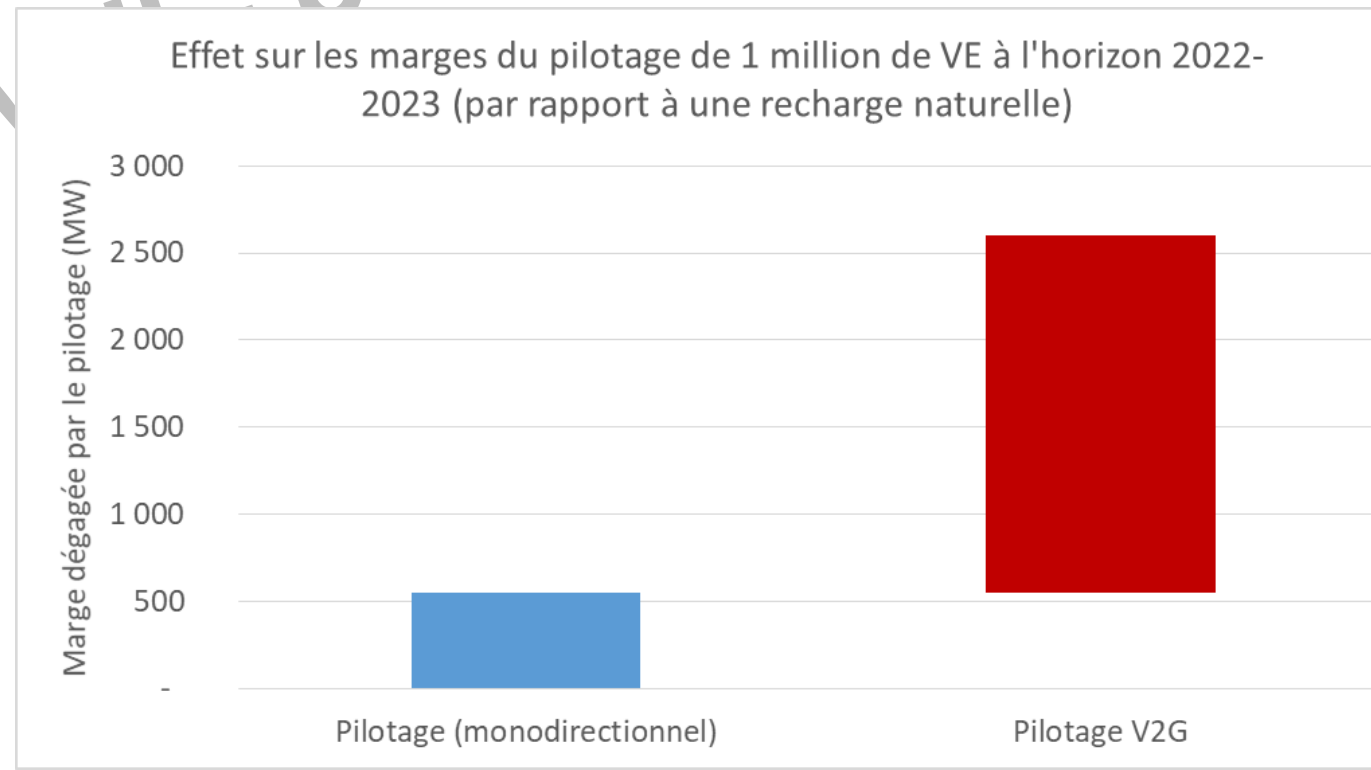
Les modalités de développement de la mobilité électrique auront un impact majeur sur les marges du système électrique

- A long-terme, les modalités de développement de la mobilité électrique conditionnent au premier ordre les marges du système électrique.
- Le paramètre essentiel impactant les marges du système électrique porte sur le développement du pilotage.
- Le scénario « D » a un impact relativement faible sur les marges, l'essentiel de la consommation des véhicules autonomes étant concentrée la nuit.



Une contribution à moyen-terme à l'horizon de la fermeture des tranches charbon

- Dès 2022-2023, des tensions sur l'équilibre offre-demande sont susceptibles d'apparaître avec la fermeture des dernières centrales au charbon.
- La contribution du pilotage des VE sera réduite par le nombre encore limité de véhicules (~1 million de VE) mais les leviers de pilotage peuvent déjà avoir un effet sensible.
- Un pilotage monodirectionnel de l'intégralité des véhicules apporte une contribution à la sécurité d'approvisionnement équivalente à une tranche charbon (600 MW).
- Le pilotage bidirectionnel (V2G) pourrait avoir une contribution importante à la sécurité d'approvisionnement (~ 2GW) mais un développement massif à cet horizon semble difficile à atteindre.



Conclusions sur les impacts en énergie et puissance

- **La consommation des véhicules électriques représentera**, dans les scénarios considérés, **de l'ordre de 5 à 10% de la consommation d'électricité**
- Avec les orientations publiques, le parc de production d'électricité décarbonée en France en 2035 devrait disposer d'un productible annuel largement suffisant pour couvrir toute la consommation nationale, y compris avec un développement haut de la mobilité : **L'enjeu de l'intégration des véhicules électriques porte sur l'adéquation en puissance** et non en énergie
- **La mobilité longue-distance lors des périodes de grands déplacements ne pose pas de difficulté pour le système électrique** : les forts appels de puissance lors de ces périodes interviennent quand le système électrique dispose de marges : essentiellement le WE, pendant les mois d'été ou les ponts de mai.
- **L'enjeu d'intégration au système électrique porte sur la mobilité « du quotidien »** qui génère des appels de puissance (thermosensibles) importants entre 19h et 21h, au moment où les marges sont les plus faibles. Ces appels de puissance dépendent des conditions de développement de la mobilité électrique : accès à une recharge sur lieu de travail, développement du pilotage, etc...
- **Des dispositifs de pilotage, même simples, permettent de limiter très fortement l'impact du véhicule électrique sur les marges.** Avec le V2G, le VE pourrait avoir une contribution positive sur les marges du système électrique



4

Enjeux économiques pour le système électrique



4.1

Coût d'intégration de la mobilité électrique et valeur de la flexibilité

Différentes approches pour évaluer le coût d'intégration de la mobilité électrique

- Affecter un coût de production à un usage requiert une convention. Plusieurs méthodes sont possibles :

- Méthode attributionnelle par usage (ou coût moyen par usage)

Cette méthode consiste à évaluer les coûts de production (capacités, combustible, imports) et à répartir ces coûts entre les différents usages, sur la base d'une évaluation heure par heure.

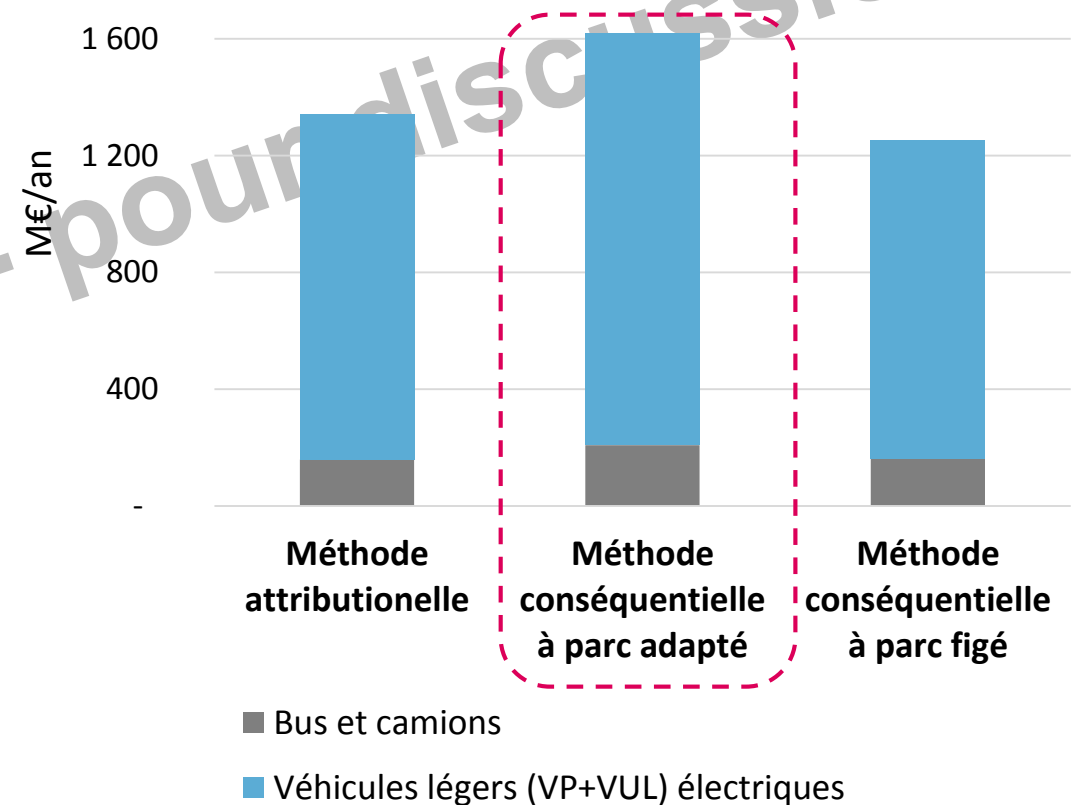
- Méthodes incrémentales/conséquentielles

Ces méthodes consistent à comparer le coût sans et avec l'usage considéré. Une hypothèse doit être faite sur ce qu'aurait été le parc de production sans l'usage considéré

- à parc adapté : le parc de production est supposé adapté au niveau de développement de la mobilité électrique
- à parc figé : le parc de production est supposé indépendant du développement de la mobilité électrique

⇒ Les différentes approches fournissent des coûts d'intégration relativement proches

Coût annualisé d'intégration de la mobilité électrique
(A médian sans pilotage) en 2035

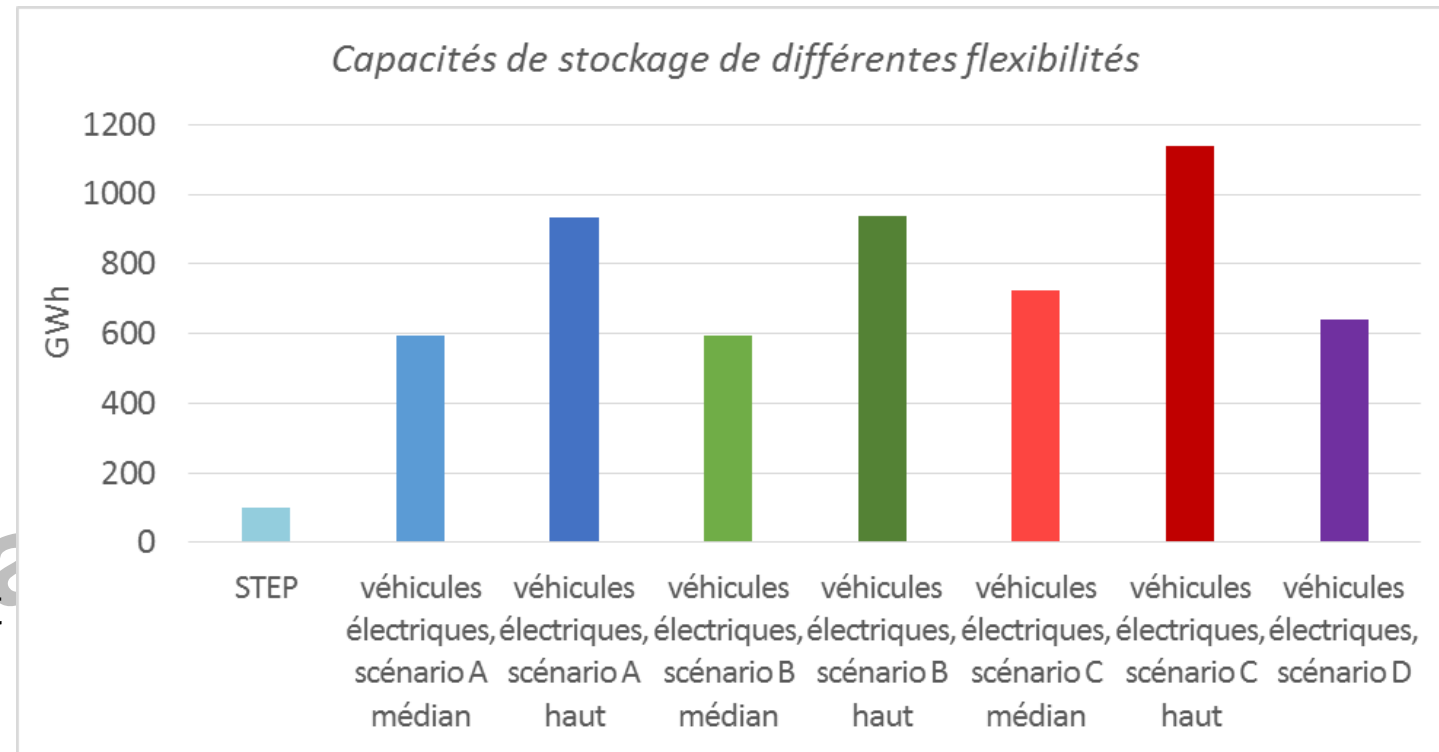


Sans pilotage, des coûts d'intégration de l'ordre de 100 à 120€/véhicule/an

- L'intégration de la mobilité électrique au système électrique représente un enjeu important (> 1 Md€/an) pour le système électrique
- Les différentes modalités de développement (et en premier lieu le développement de la flexibilité) peuvent permettre de réduire ce coût d'intégration.
- L'analyse porte sur la valeur pour la collectivité (i.e. la baisse du coût d'intégration) qui peut être apportée par le développement de la flexibilité.

Les batteries des véhicules électriques représenteront un gisement de flexibilité très important

- Les batteries des véhicules électriques vont représenter une **capacité de stockage** cumulée considérable à l'horizon 2035, représentant **entre 6 et 11 fois la capacité de stockage des STEP**, qui constitue aujourd'hui un des principaux leviers de flexibilité du système électrique.
- À condition de respecter les besoins de mobilité, ces capacités de stockage peuvent rendre différents services au système électrique :

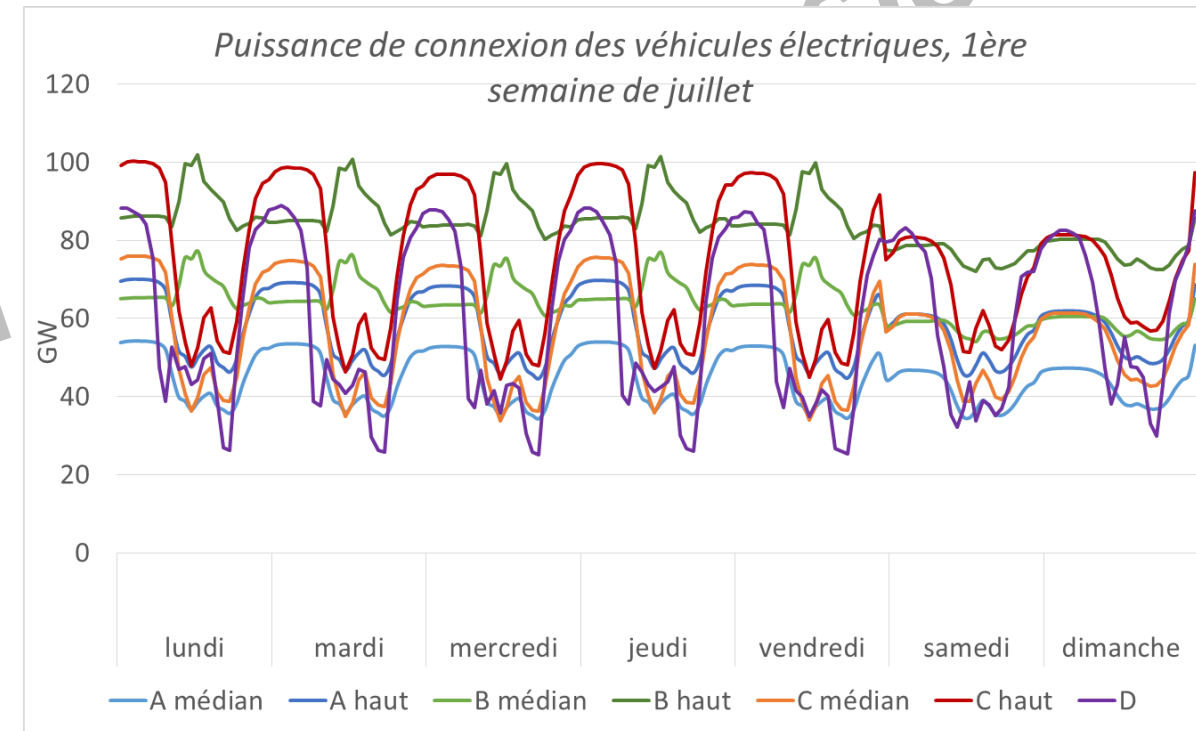


- **Réserves/services système** (réglages automatiques pour l'équilibrage temps réel du système électrique)
- **Arbitrages** entre différentiels de tarifs ou de prix sur les marchés de l'énergie
- **Garantie capacitaire**/contribution à la sécurité d'approvisionnement

⇒ La flexibilité constitue un levier pour limiter le coût d'intégration de la mobilité électrique

Avec injection V2G, une fraction limitée des véhicules électriques suffirait à fournir tout le volume de réserve nécessaire en France

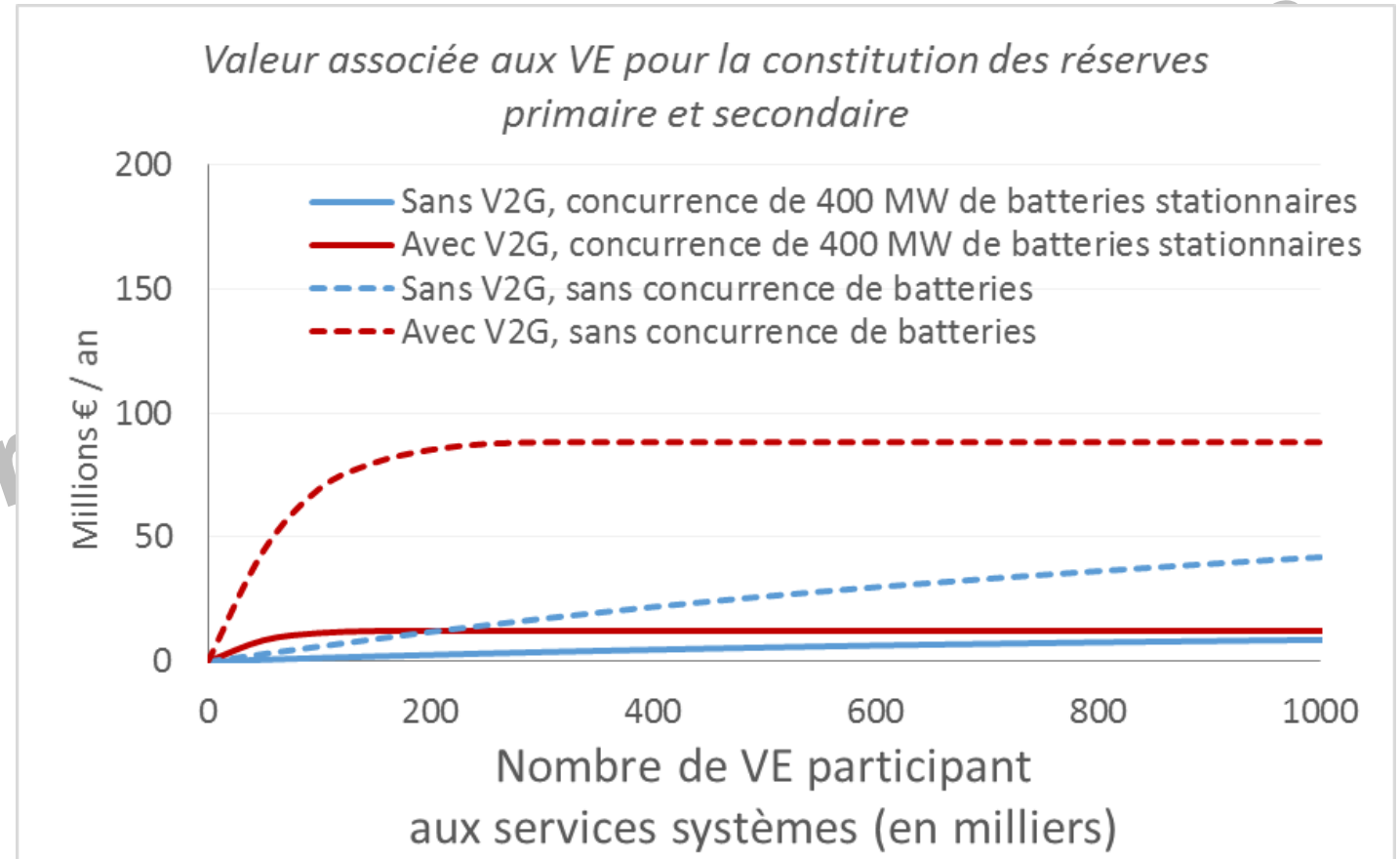
- Les batteries des véhicules électriques peuvent modifier leurs flux d'électricité de façon très dynamique, **compatible avec les exigences des services système fréquence** (équilibre temps réel)
- La puissance de connexion des véhicules est importante (plus de 10 millions de véhicules connectés entre 3, 7, 50 kW)
- Avec la technologie V2G, la puissance pouvant participer à la réserve « à la hausse » peut être très importante : **toute la réserve primaire (FCR) et secondaire (aFRR) d'équilibrage (~ 1,3 GW) peut être fournie avec moins de 500 000 véhicules.**
- Sans la technologie V2G, la puissance participant à la réserve « à la hausse » est beaucoup plus faible (ne correspond seulement qu'à la puissance de soutirage qui peut être effacée, soit entre 0 et 1 kW/véhicule dans les hypothèses du scénario « A »)



La fourniture de services système représente aujourd'hui une valeur unitaire importante mais le gisement limité de valeur pourrait être rapidement saturé

- L'enjeu économique dépend fortement du développement de solutions concurrentes (par exemple stockage stationnaire, demand-response).
- L'enjeu maximal est de l'ordre de **200 M€/an aujourd'hui et estimé à 80 M€/an à l'horizon 2035 (avec le mix et les prix de combustible considérés)**

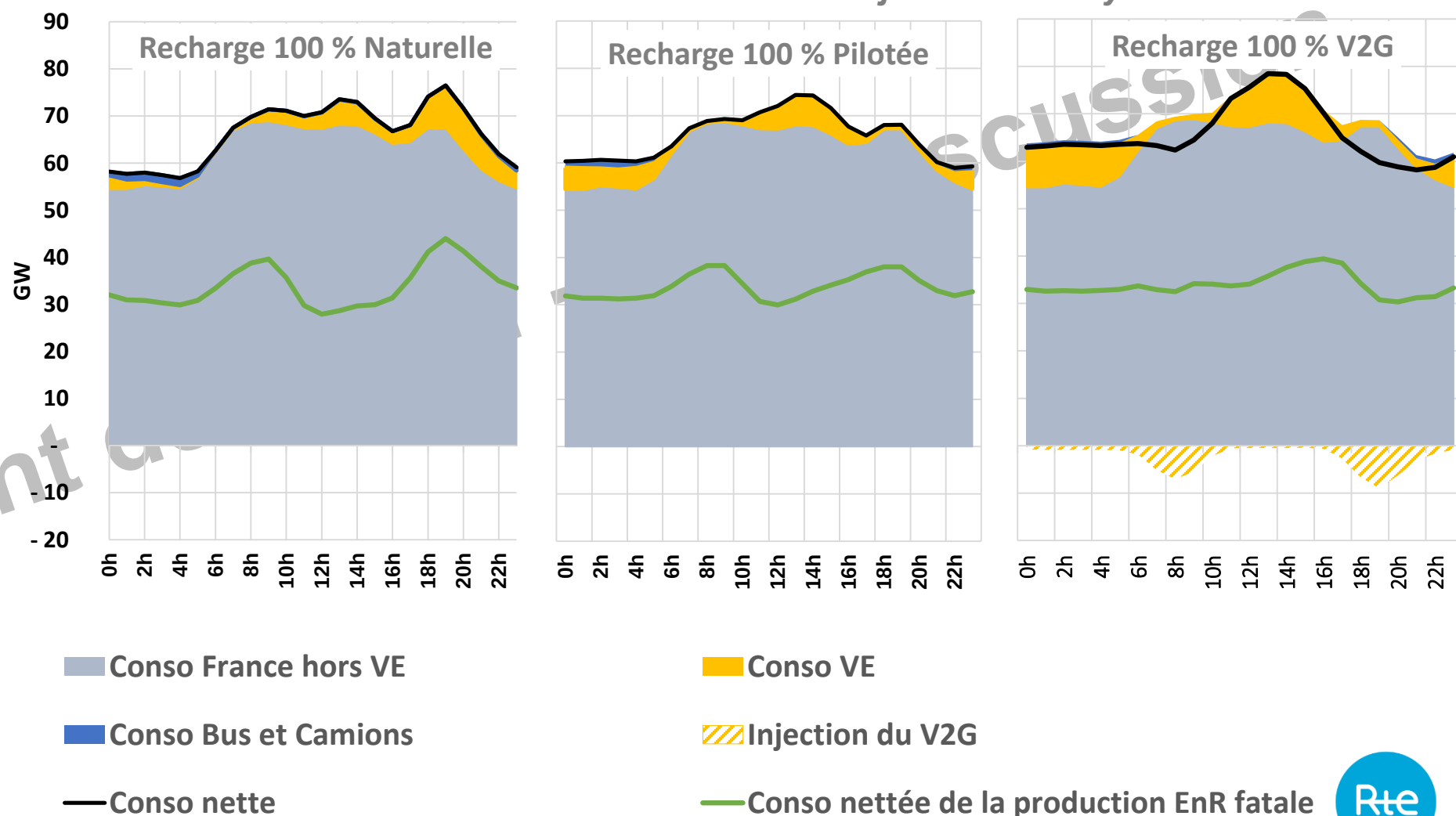
⇒ Une valeur unitaire importante mais pour un gisement très limité. À l'horizon 2035, de grosses incertitudes sur l'existence d'une valeur. Par la suite, les analyses à 2035 ne tablent pas sur une valeur « services système »



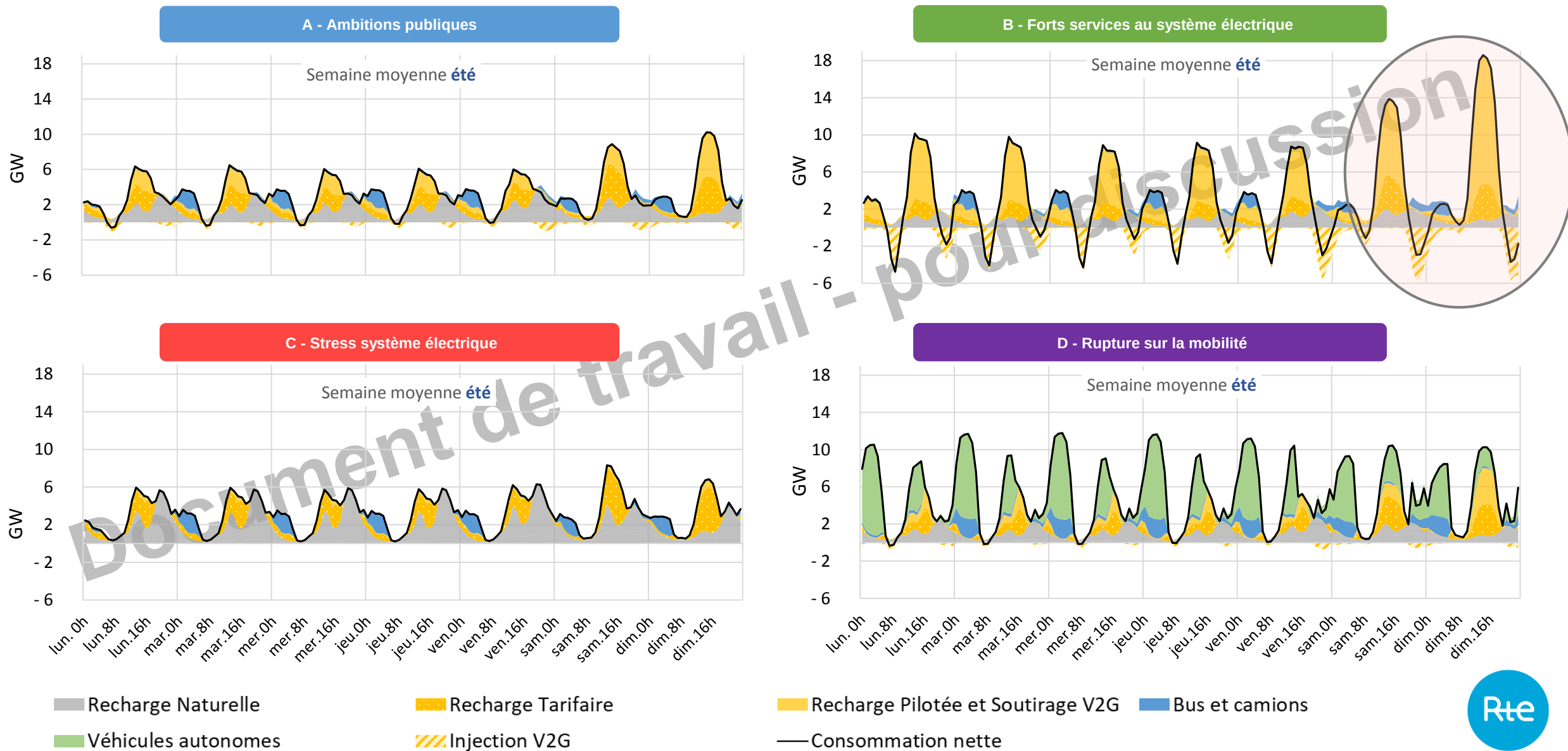
L'utilisation de la flexibilité des véhicules électriques permet de moduler fortement la courbe de charge

- Le pilotage de la recharge et le V2G permettent de **moduler fortement la courbe de charge totale** et de l'**adapter à la production EnR** dans la limite des besoins de mobilité et des accès aux points de charge
- Les variations de la **courbe de charge «résiduelle»** (consommation diminuée de la production EnR fatale) peuvent être fortement réduites.

Consommation de la France sur un jour ouvré moyen d'hiver



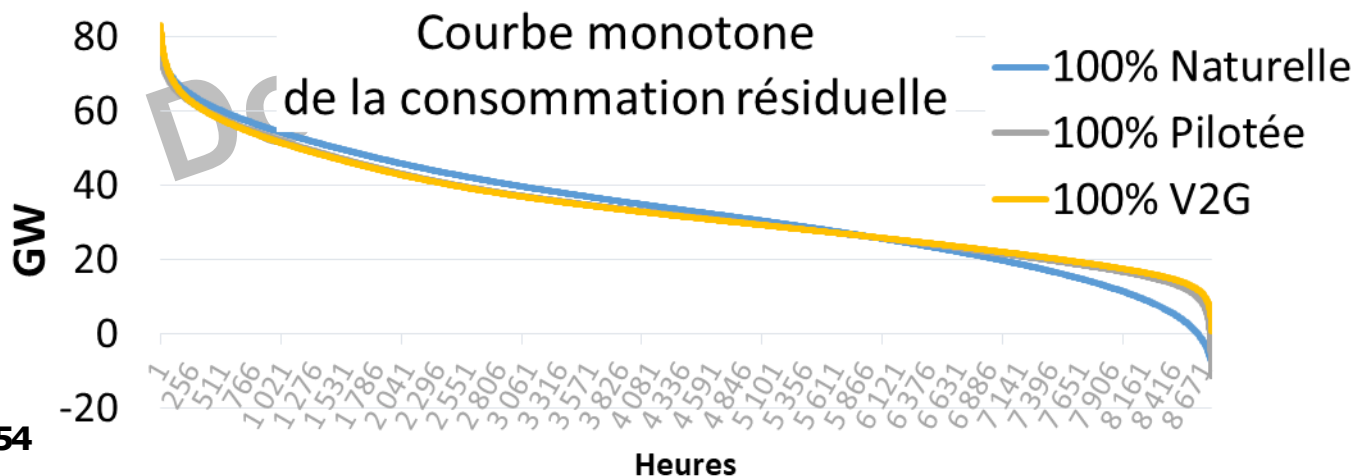
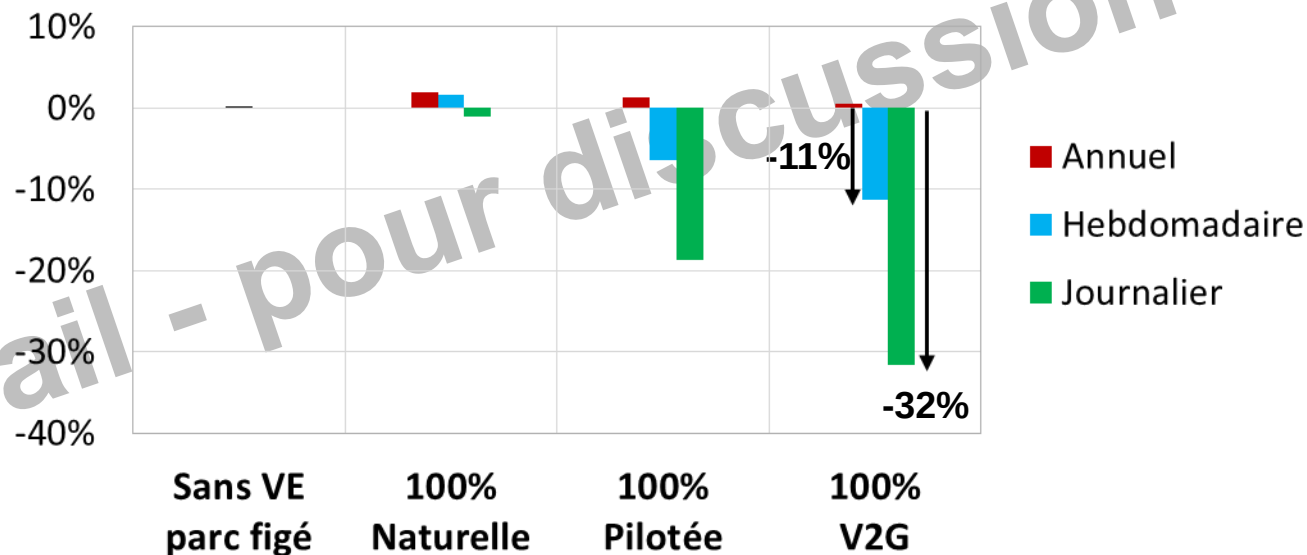
Le pilotage des VE reporte une partie de la consommation le week-end



Le pilotage permet de réduire le besoin de modulation du parc de production pilotable

- Le développement du pilotage de la recharge et le V2G **permettent de réduire sensiblement les besoins de modulation** adressés au parc de production (et interconnexions).
- Compte-tenu du dimensionnement des batteries des VE, **la flexibilité des VE permet de réduire les besoins de modulation journaliers et hebdomadaires** mais **non les besoins annuels**.

Besoin de modulation adressé au parc de production pilotable et aux interconnexions (quantile 95%)

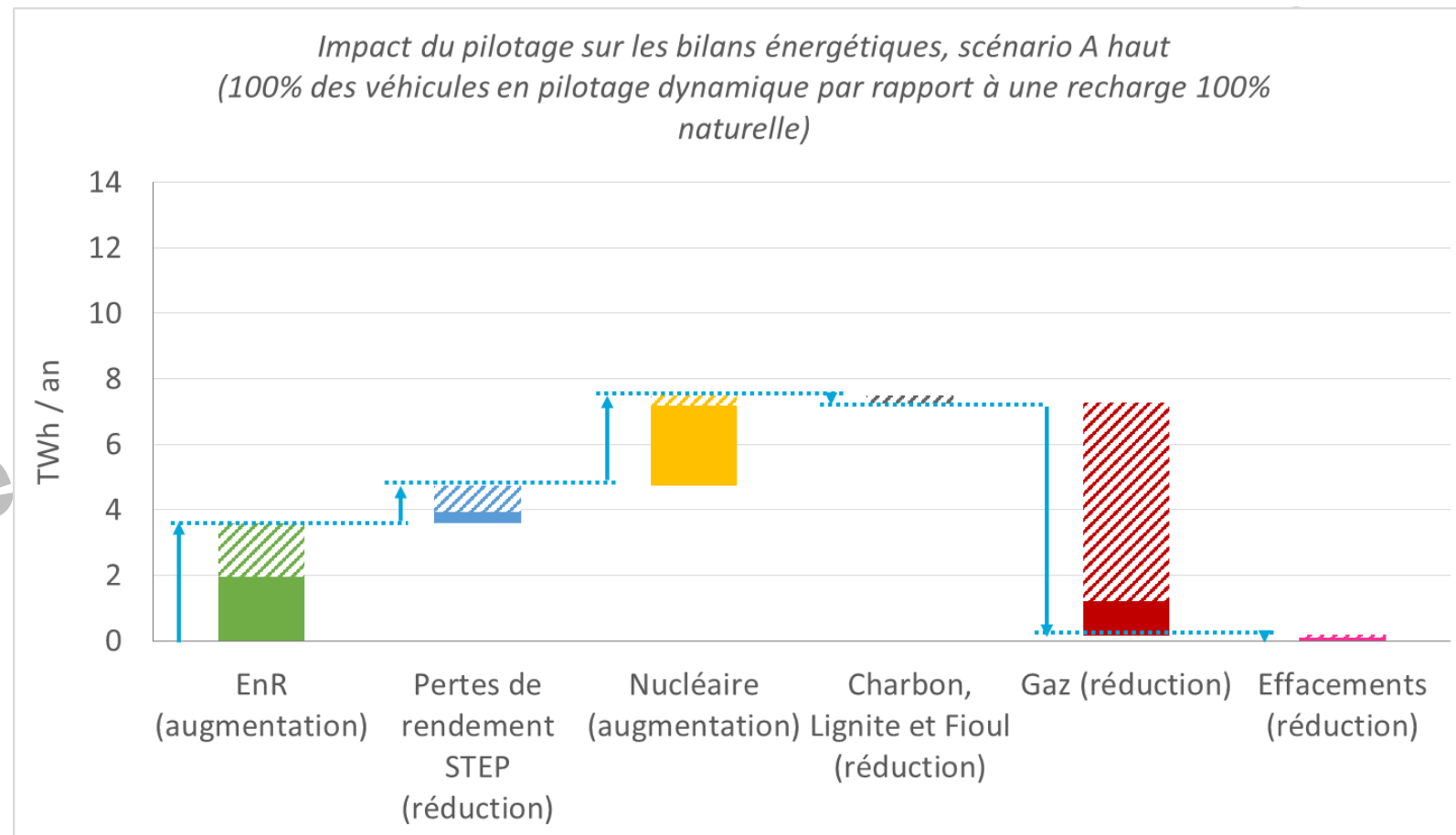


Ces indicateurs représentent le besoin de modulation sur différents horizons temporels. Le pilotage de la recharge correspond au pilotage économiquement utilisé et non au potentiel technique.

Le pilotage permet d'optimiser l'utilisation du parc de production européen

Le pilotage de la recharge permet de :

- **Augmenter** les débouchés pour les **EnR** (moins de volumes « écrêtés » dans les situations de manque de débouchés, du fait de la consommation et de la saturation des possibilité d'export)
- **Augmenter** la production du **nucléaire** en réduisant le besoin de modulation
- **Réduire** la production **thermique**

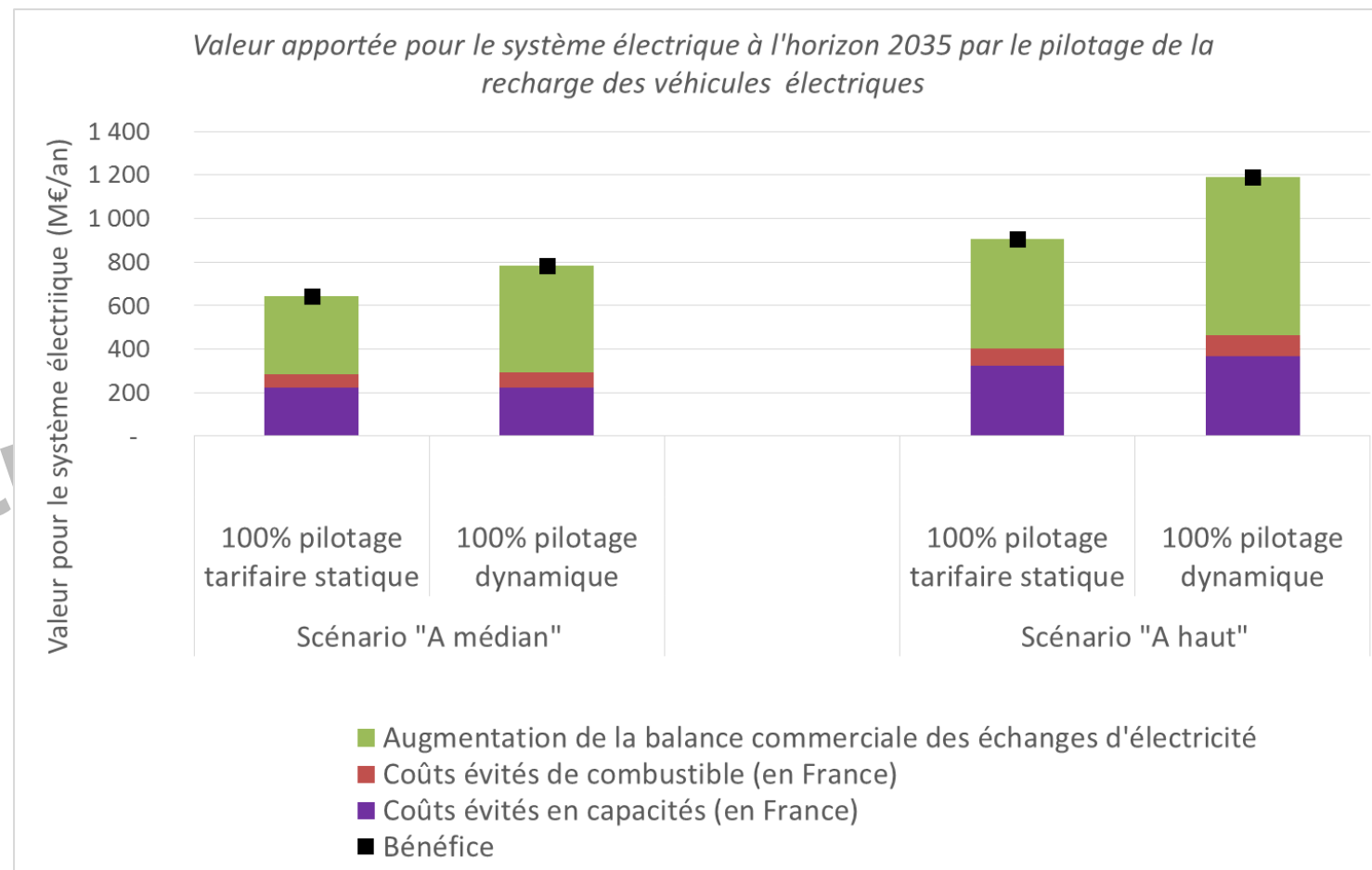


France

Reste de l'Europe

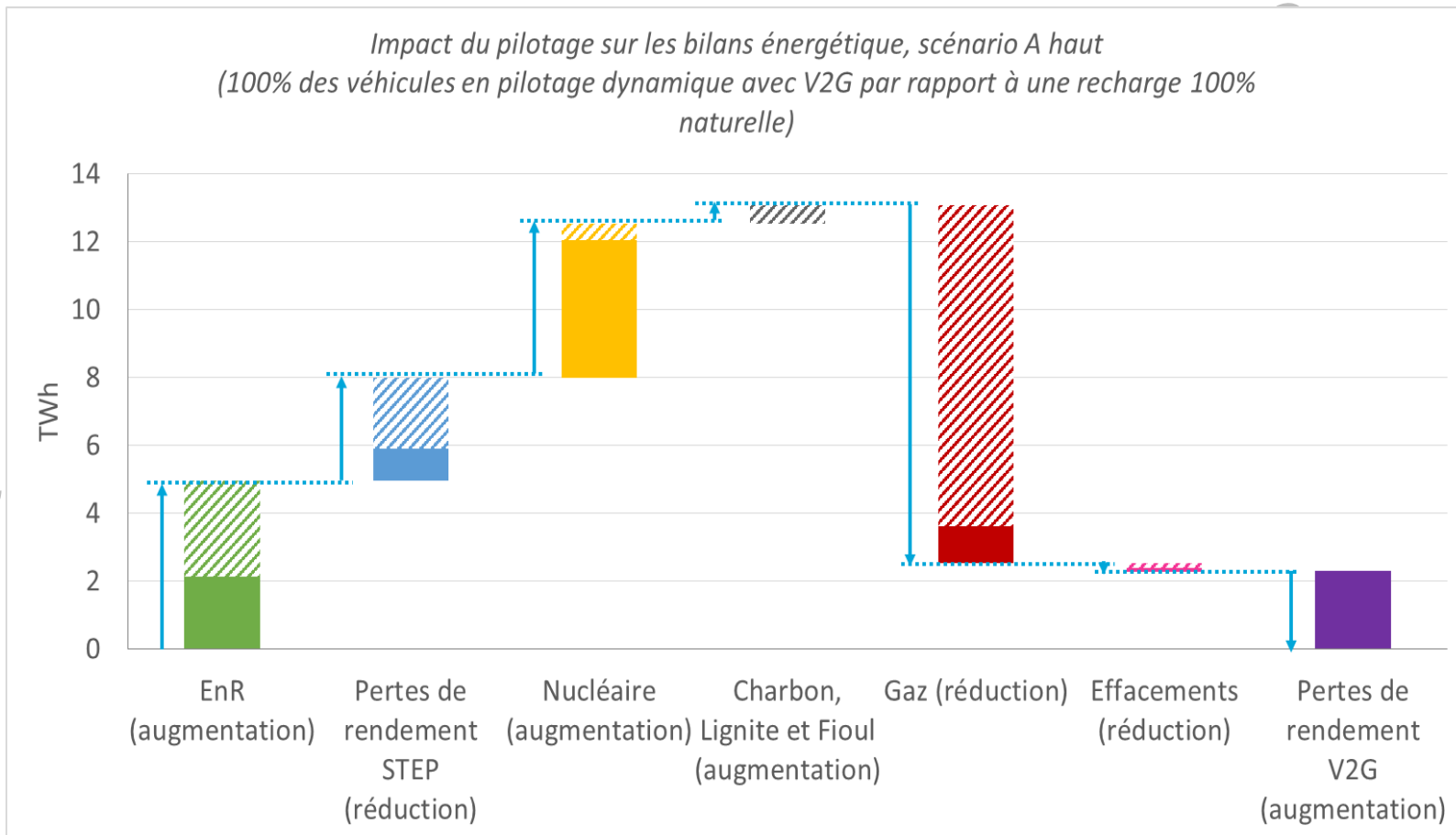
L'utilisation de la flexibilité de la recharge pour tirer profit des périodes de prix faibles apporte une valeur importante pour le système électrique

- Le **pilotage dynamique** (et monodirectionnel) de la recharge apporte une valeur importante pour le système électrique de l'ordre de **0,8 à 1,2 Md€/an**, selon le niveau de développement de la mobilité électrique
- ~75 à 80% de cette valeur est accessible avec des dispositifs de pilotage simples** (asservissement tarifaire via les compteurs communicants + choix des périodes/jours de connexion)



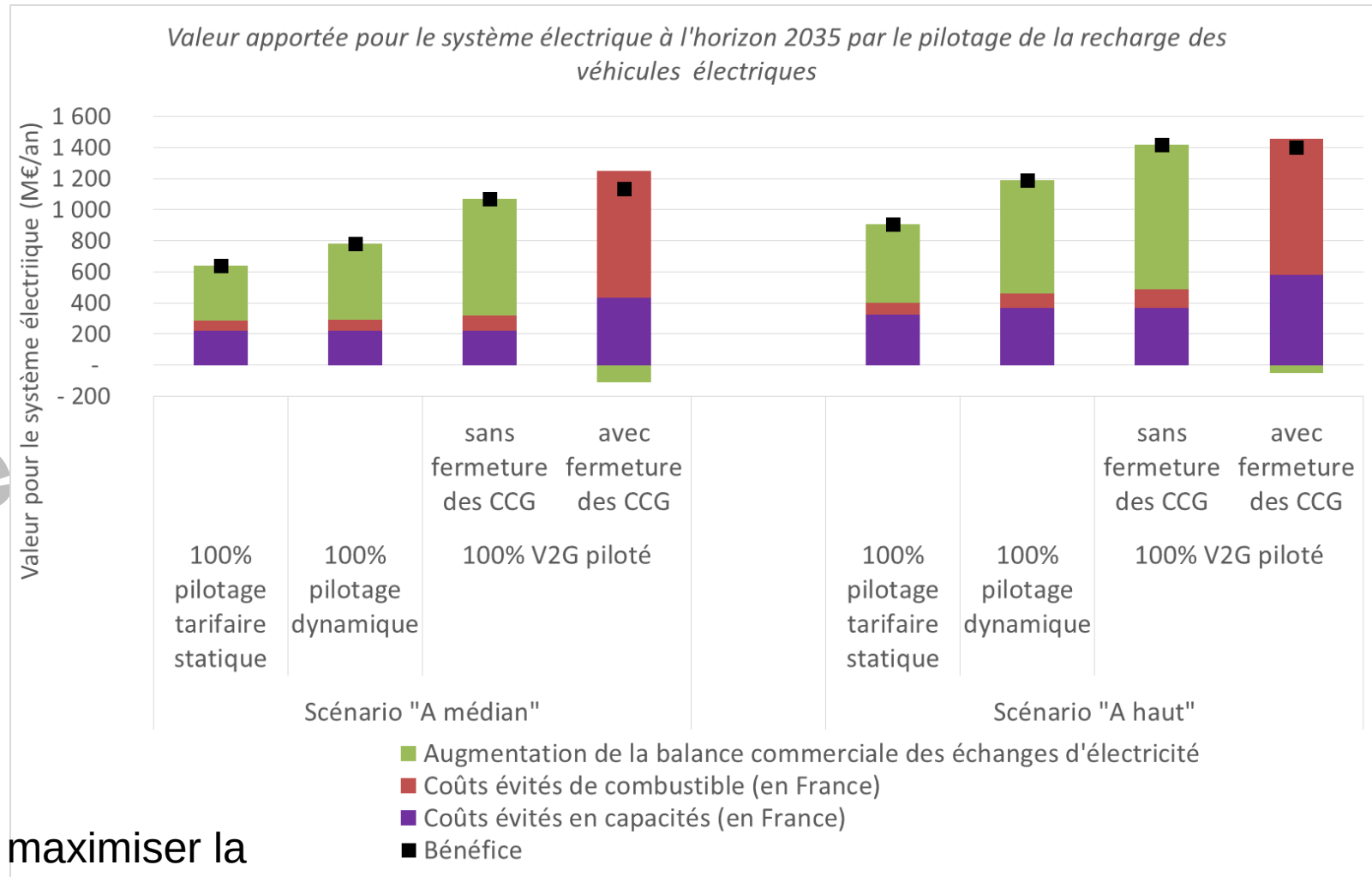
Le pilotage V2G permet une optimisation supplémentaire de l'utilisation du parc de production européen

- Le pilotage avec possibilité d'injection V2G permet de mieux optimiser le productible EnR et nucléaire, en réduisant les périodes où ce productible ne trouve pas de débouchés
- L'effet de substitution avec la production au gaz est plus important, malgré l'existence de pertes de rendement par cyclage



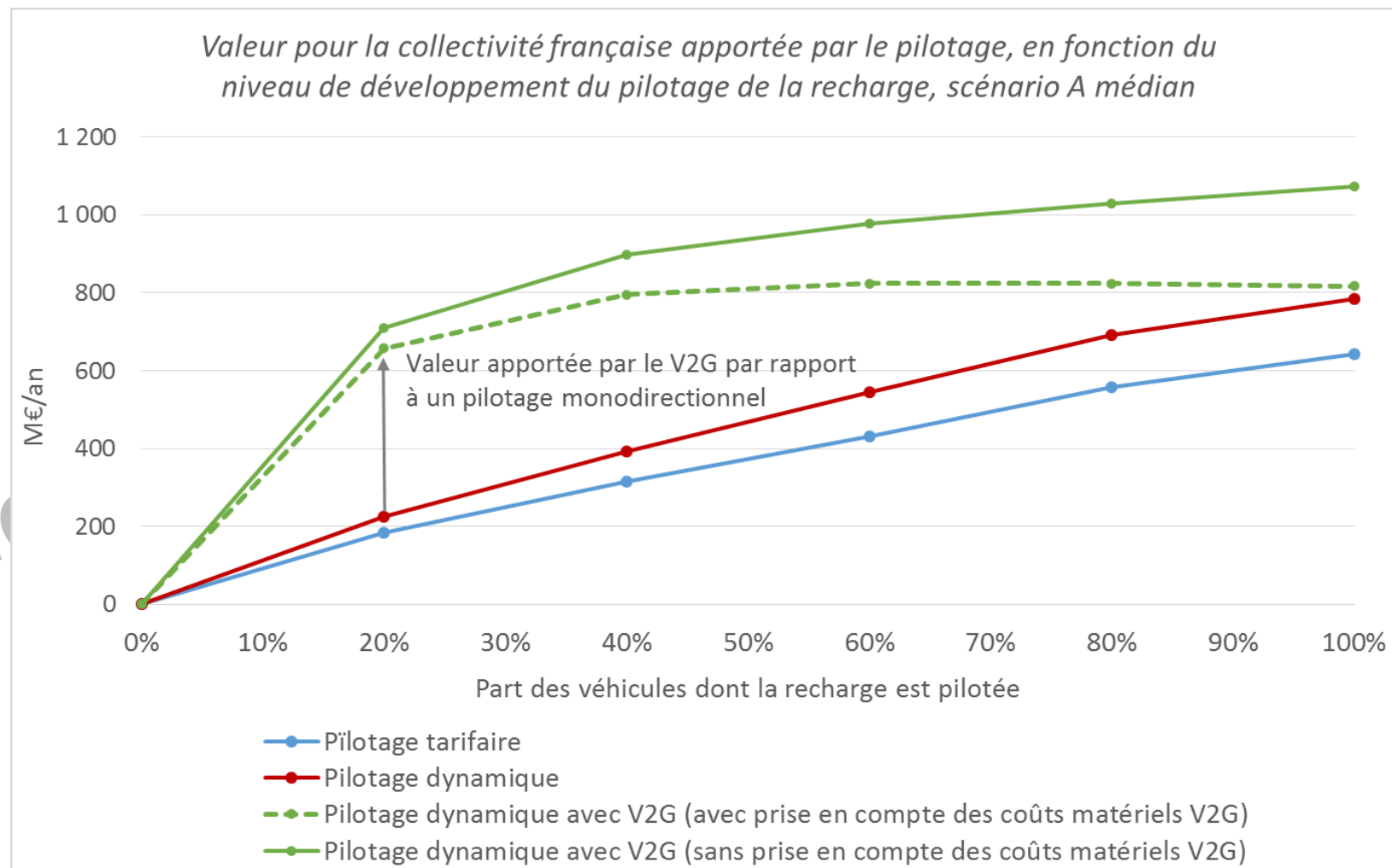
Le vehicle-to-grid apporte une valeur supplémentaire significative pour le système électrique, qui doit être comparée aux coûts

- Un déploiement généralisé du **V2G** apporte une valeur supplémentaire de l'ordre de **0,2 à 0,3 Md€/an** (selon le niveau de développement de la mobilité électrique et le devenir des CCG)
- Néanmoins avec un développement généralisé, ces coûts pourraient tout juste couvrir les coûts des matériels (*convertisseur DC-AC*) nécessaires à l'injection V2G de tous les véhicules
- Un déploiement partiel permettrait de maximiser la valeur économique pour la collectivité



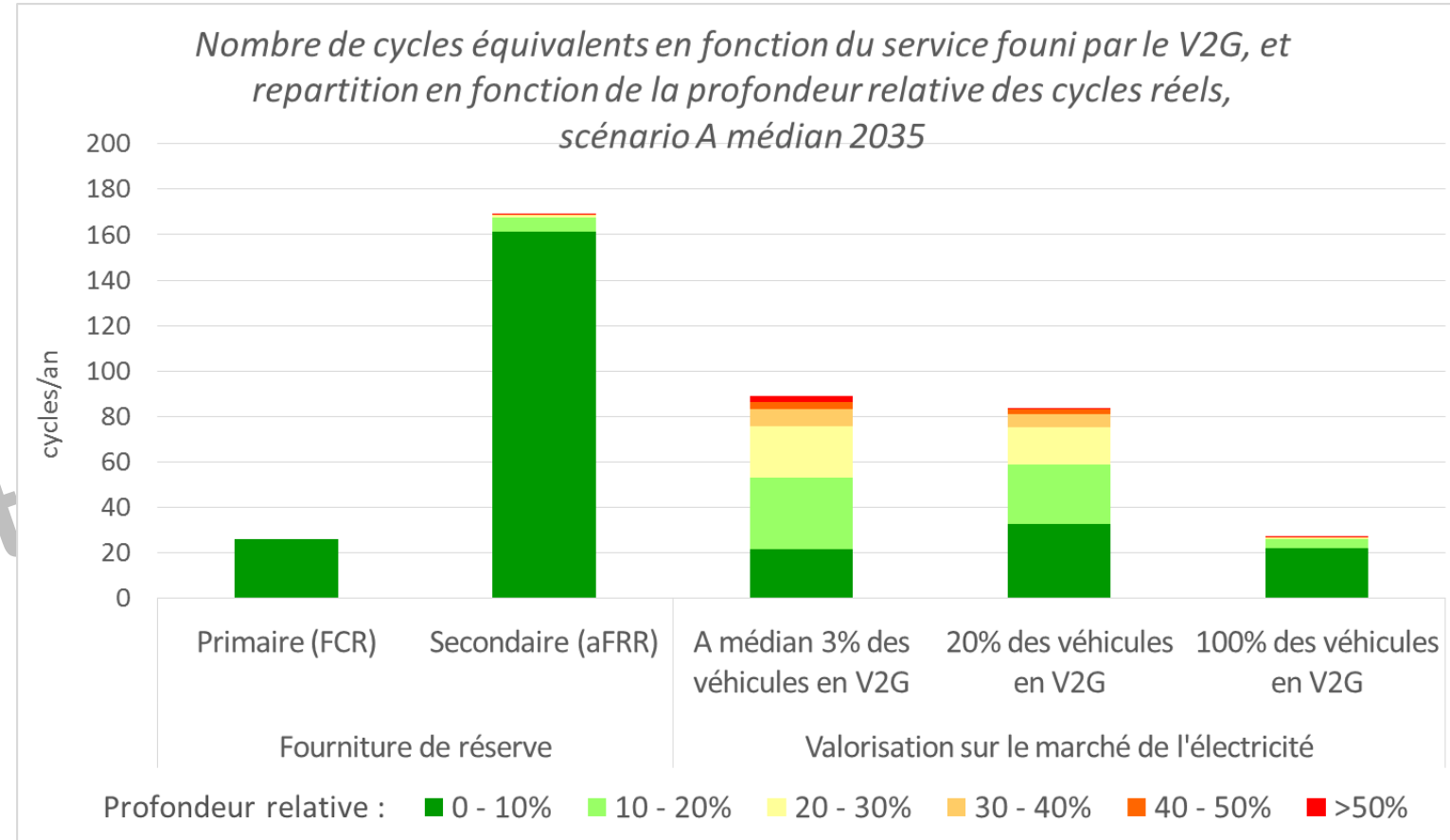
Il est économiquement pertinent de ne déployer le V2G que sur une partie du parc de véhicules

- La valeur marginale du V2G pour le système électrique est décroissante avec l'augmentation de la part de véhicules équipés en V2G
- En considérant le coût des matériels pour la bidirectionnalité (convertisseurs DC-AC), le développement économiquement pertinent du V2G se situe autour de 20% du parc de véhicules



Un effet des cycles V2G sur la durée de vie des batteries ?

- **La flexibilité V2G conduit à une augmentation du nombre de cycles réalisés par les batteries** (par rapport aux seuls cycles pour les besoins de mobilité)
- Pour certains services et certaines configurations de développement, **ce nombre de cycles supplémentaires est potentiellement élevé** :
 - Fourniture de réserve secondaire (aFRR, ~200 cycles complets/an)
 - Arbitrages sur les marchés de l'énergie si peu de véhicules y participent (jusqu'à 90 cycles complets/an)

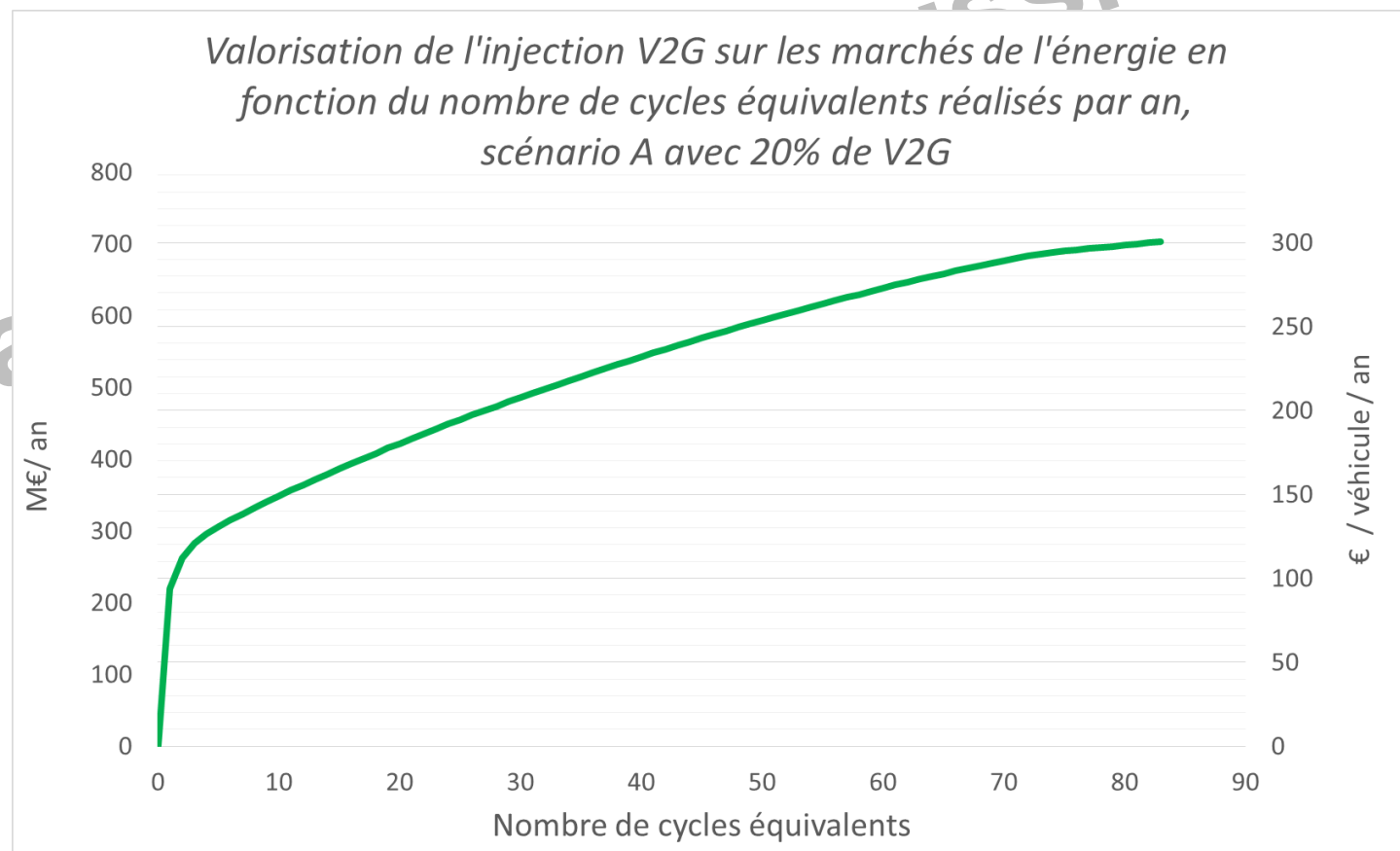


- **L'essentiel des cycles sont très peu ou peu profonds**

Dans toutes les configurations de services, au moins 90% des cycles complets équivalents correspondent à des **cycles réels dont la profondeur est inférieure à 30% de la capacité de la batterie.**

Un effet des cycles V2G sur la durée des vie des batteries ?

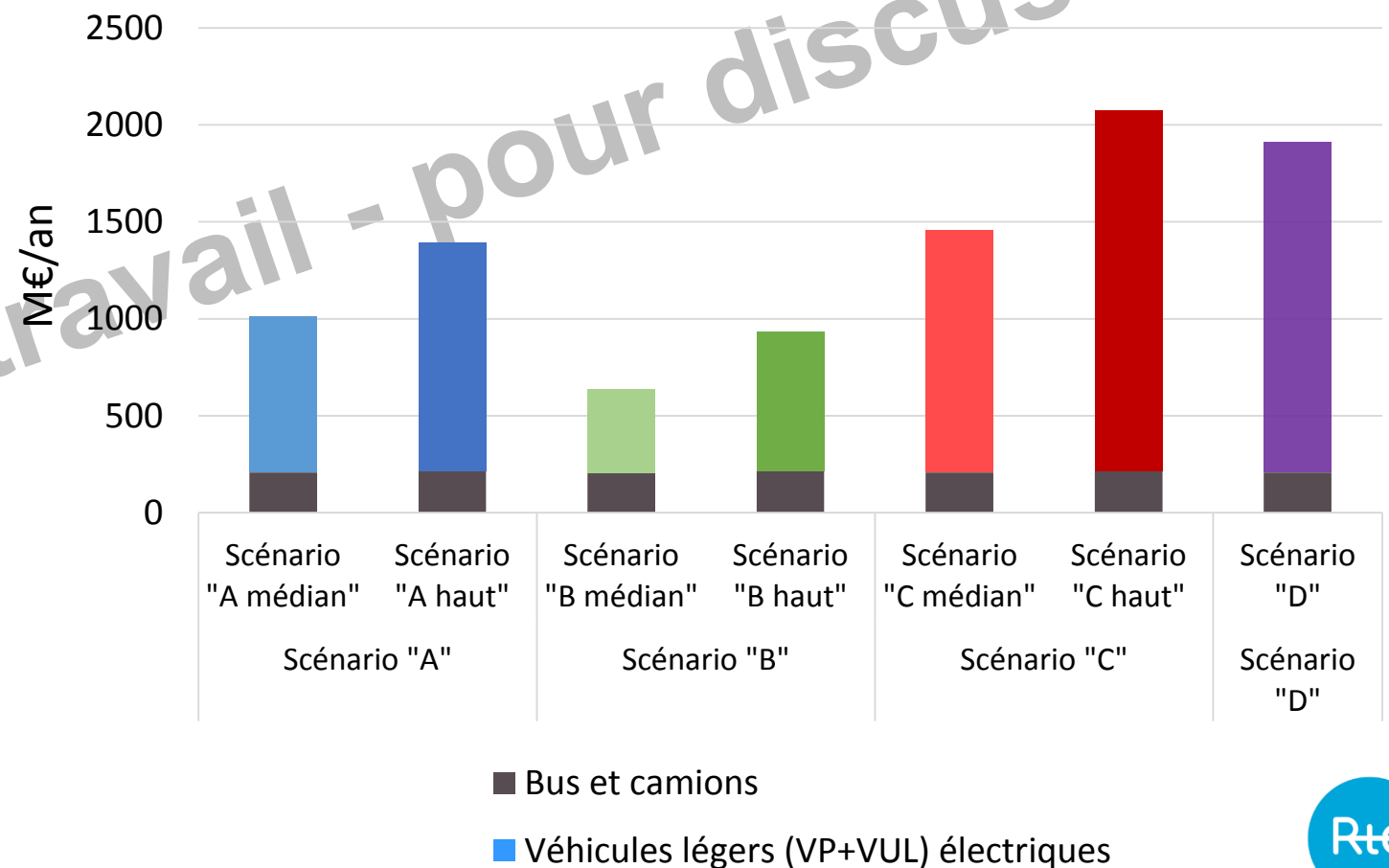
- Les cycles supplémentaires, même s'ils sont peu profonds pourraient avoir **un effet sur la durée de vie des batteries**. L'effet dépendra des évolutions technologiques.
- Des stratégies consistant à la limiter la puissance ou la durée de participation peuvent être mises en place pour éviter un effet négatif sur la durée de vie
- L'analyse de la valeur des cycles, montre qu'un nombre restreint de cycles permet de générer une partie significative de la valeur : Dans la configuration de valorisation de la flexibilité en arbitrage sur les marchés de l'énergie et de la capacité, **~10 cycles équivalents** permettent de générer **50% de la valeur** théorique accessible.



Les coûts d'intégration au système électrique dépendent fortement des modalités de développement de la mobilité électrique

- Les coûts d'intégration sont fortement différenciés selon les modalités de développement de la mobilité
- Par rapport à une situation sans pilotage, le développement « haut » du pilotage de la recharge permet de réduire les coûts d'intégration de 120 €/an à 40€/an

Coût annualisé d'intégration de la mobilité électrique au système électrique à l'horizon 2035



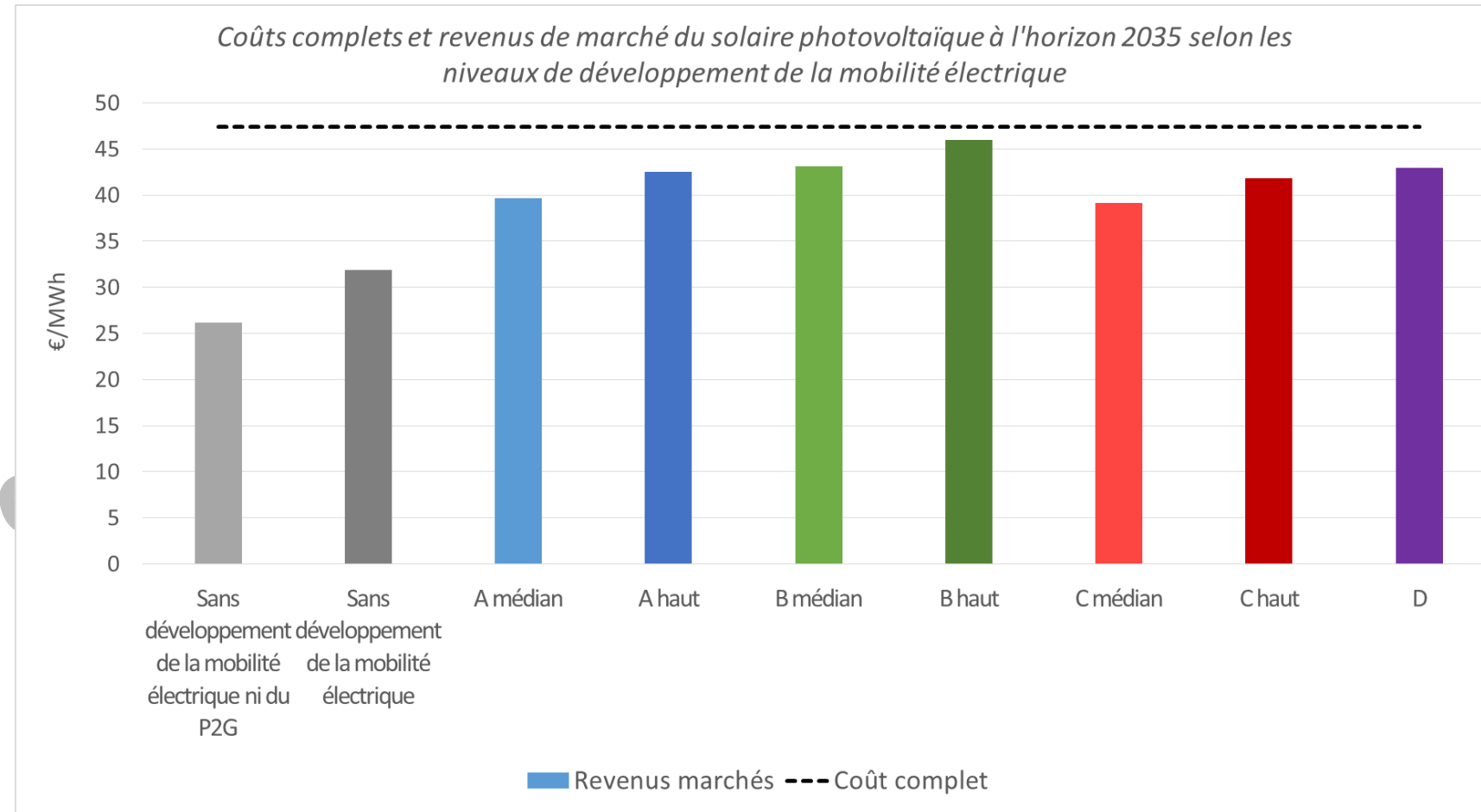


4.2

La recharge des VE et l'intégration des EnR

Le développement de la flexibilité et les modalités de développement de la mobilité électrique contribuent à faciliter l'intégration des ENR

- Le placement de la recharge (ou du soutirage pour réinjection en V2G) lors des périodes de forte production EnR facilite leur intégration physique et économique sur le système électrique
- Le développement de points de charge sur le lieu de travail (permettant de tirer profit de la production PV, concentrée pendant les heures de travail) et de la flexibilité permettent de **réduire le coût du soutien public aux ENR**
- Des modalités favorables sur le développement de la mobilité électrique peuvent permettre de réduire le coût de soutien aux ENR de l'ordre de 300 à 400 M€/an.



Conclusions sur les enjeux économiques pour le système électrique

- Les véhicules électriques représentent une source de flexibilité très importante pour le système électrique (capacité de stockage des VE **jusqu'à plus de 10 fois la capacité des STEP à l'horizon 2035**).
 - Avec les orientations publiques en matière d'évolution du parc de production, **le développement généralisé du pilotage de la recharge ne constitue pas un prérequis pour intégrer la mobilité électrique** mais **constitue une option sans regret** :
 - qui permet d'assurer la sécurité d'approvisionnement en cas d'évolution défavorable du mix (retard sur le développement des EnR, dispo du nucléaire, ...) ou d'accélérer les transferts d'usage
 - Et présente, de toutes façon, un intérêt économique pour la collectivité
 - **Le pilotage de la recharge en monodirectionnel permet une économie de l'ordre de 1 Md€/an** pour la collectivité française. **80% de cette valeur est accessible avec des dispositifs de pilotage simples** (asservissements tarifaires statiques et choix de recharge le WE).
 - Le V2G représente une valeur supplémentaire significative (de 0,2 à 0,3 Md€/an) et il est pertinent d'envisager son développement pour seulement une partie (~ 20%) du parc.
- ⇒ A même parc de VE, **des coûts d'intégration qui vont du simple au double** selon le niveau de pilotage
- Le développement de la mobilité électrique et du pilotage de la recharge permet de **faciliter l'intégration physique** (réduction des écrêtements) **et économique** (réduction du besoin de soutien public) **des EnR**

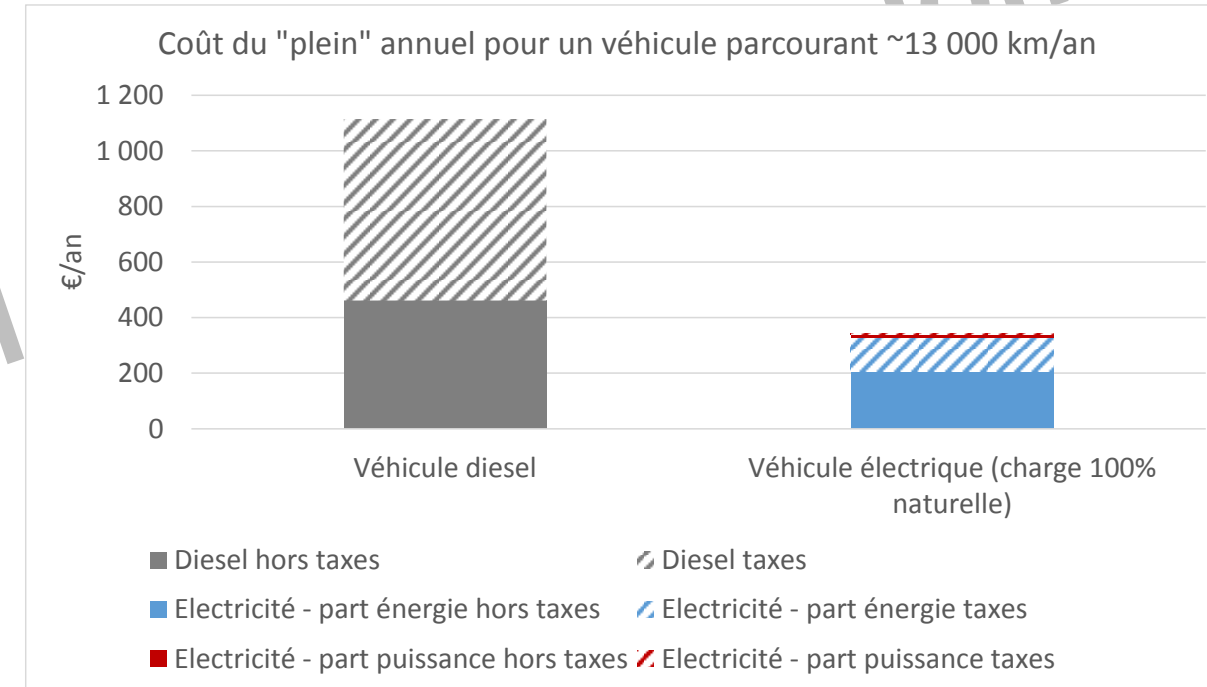


6

Les enjeux économiques du pilotage du point de vue des utilisateurs de VE

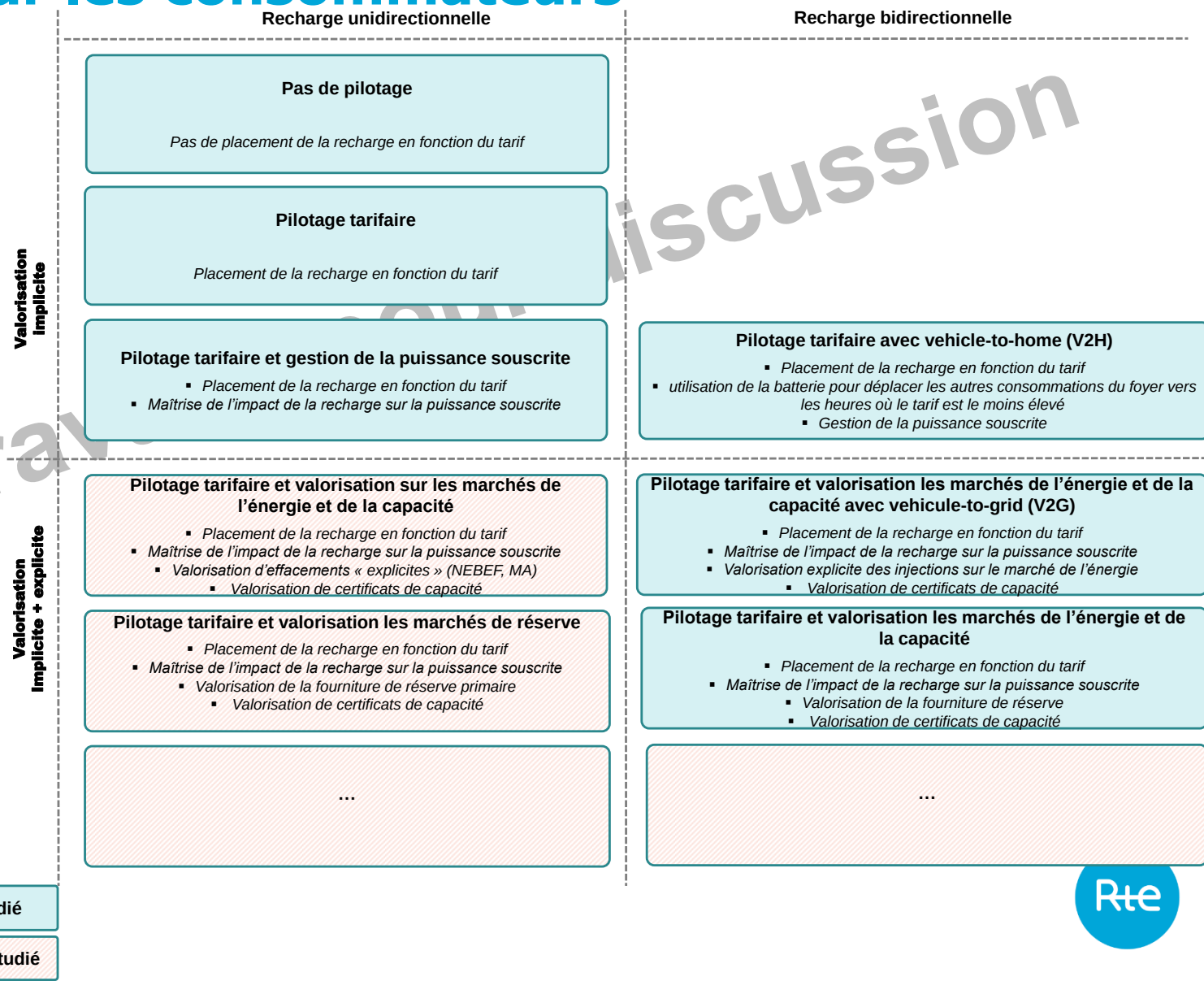
Un enjeu et des leviers pour les consommateurs à valoriser la flexibilité de leur recharge pour limiter le coût du plein électrique

- Bien que 3 fois moins cher que le plein « diesel », le plein électrique représente une dépense annuelle significative pour les automobilistes (~350 €/an, hors infrastructures)
- La flexibilité des VE peut permettre aux utilisateurs d'optimiser le coût du « plein électrique » annuel.
- La flexibilité des VE s'effectuera selon l'intérêt perçu des consommateurs et pas nécessairement dans l'intérêt de la collectivité.



De nombreuses stratégies d'utilisation et de valorisation de la flexibilité de la recharge pour les consommateurs

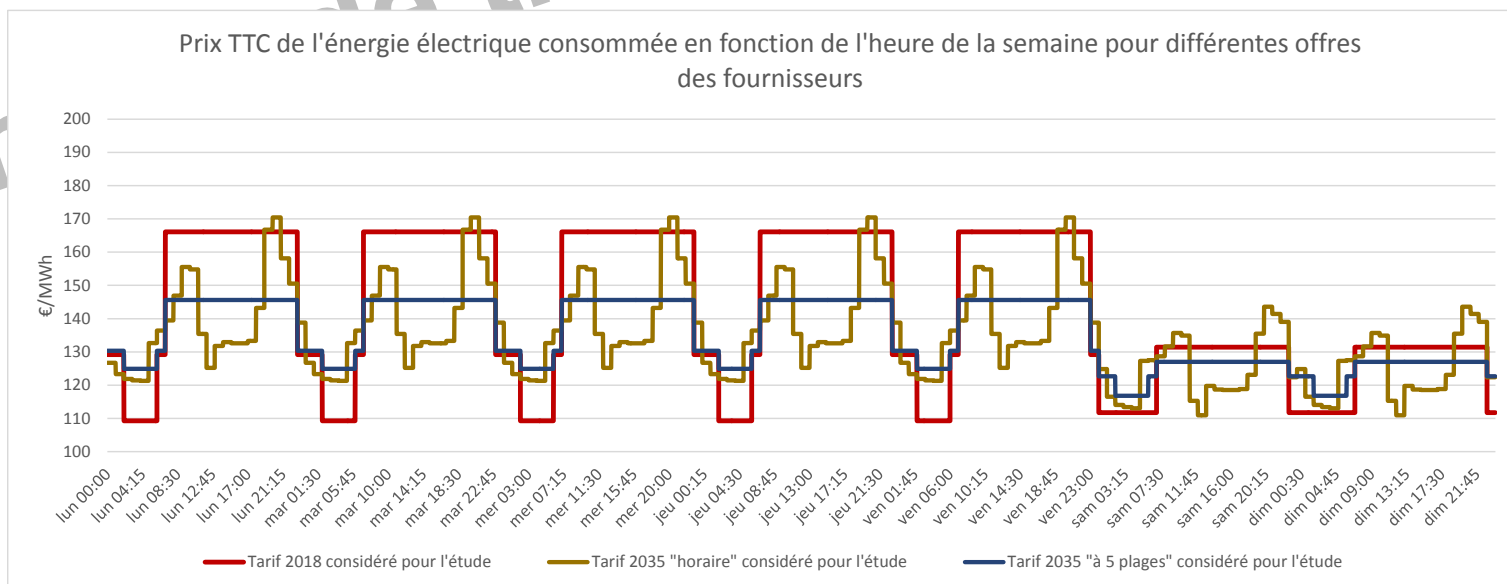
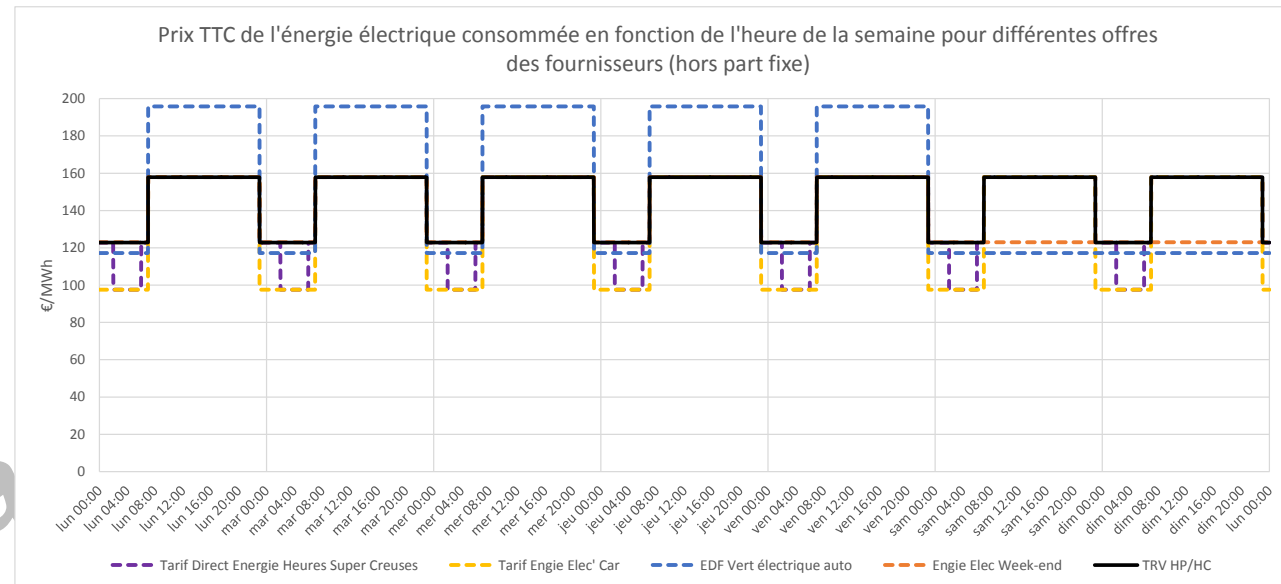
- Différents niveaux d'utilisation de la flexibilité :
unidirectionnelle, bi-directionnelle, pilotage plus ou moins dynamique
- Différentes stratégies de valorisation de la flexibilité des véhicules électriques :
 - Une valorisation implicite pour limiter la facture en fonction des signaux tarifaires (énergie, puissance souscrite)
 - Une valorisation explicite de services de flexibilité sur les marchés



La flexibilité de la recharge des véhicules électriques pourra profiter d'offres tarifaires « horo-saisonnalisés »

Le déploiement des compteurs communicants permet le développement de nouvelles **offres de fourniture reflétant de façon plus fine les différentiels de prix sur les marchés** de l'énergie

Les fournisseurs proposent déjà des offres de fourniture avec des tarifs plus différenciés entre les plages temporelles que le TRV (Tarif Bleu HP/HC) : Offres « WE », Heures super creuses, etc.



L'analyse prend en compte la diversité des habitudes de mobilité

- Les habitudes de mobilité influenceront sur les besoins de recharge (énergies, périodes) et le niveau de flexibilité (périodes de connexion)
- L'étude représente **six profils de mobilité différenciés** (aux paramètres calés sur l'ENTD 2008) :

- **Profil n°1 : actif sans retour à la pause méridienne**

A/R au travail chaque jour ouvré sans recharge sur place, une course diverse à midi ou le soir. Le week-end, déplacement 2 samedis sur 3 et 1 dimanche sur 2.

- **Profil n°2 : actif avec retour à la pause méridienne**

A/R au travail deux fois chaque jour ouvré sans recharge sur place, une course diverse à midi ou le soir. Le week-end, déplacement 2 samedis sur 3 et 1 dimanche sur 2.

- **Profil n°3 : inactif**

Utilisation du véhicule pour besoins divers 3 jours ouvrés par semaine, présent à midi souvent.

- **Profil n°4 : professionnel**

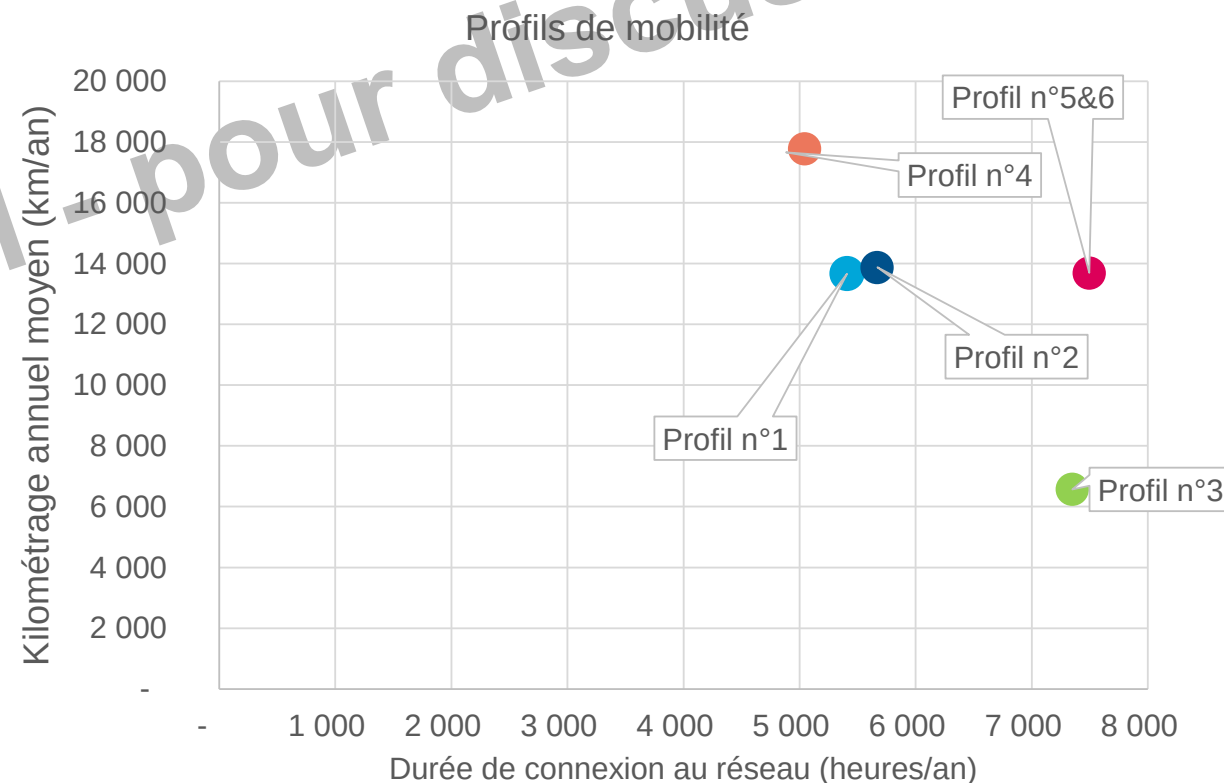
Utilisation en JO pour besoins professionnels sans possibilité de recharge.

- **Profil n°5 : actif avec recharge « coûtant » au travail**

Idem profil n°1, avec accès à la recharge sur le lieu de travail pour un prix réduit.

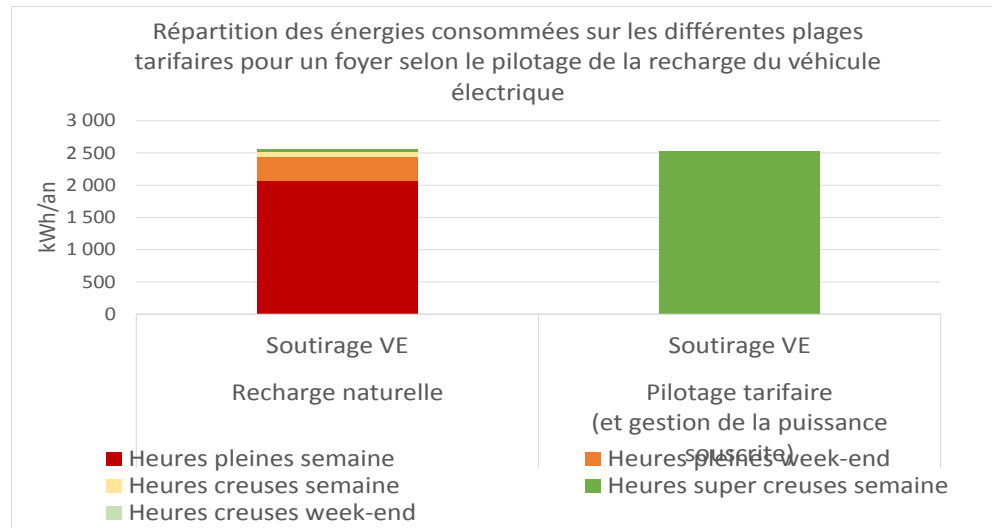
- **Profil n°6 : actif avec recharge gratuite au travail**

Idem profil n°1, avec accès à la recharge gratuitement sur le lieu de travail.

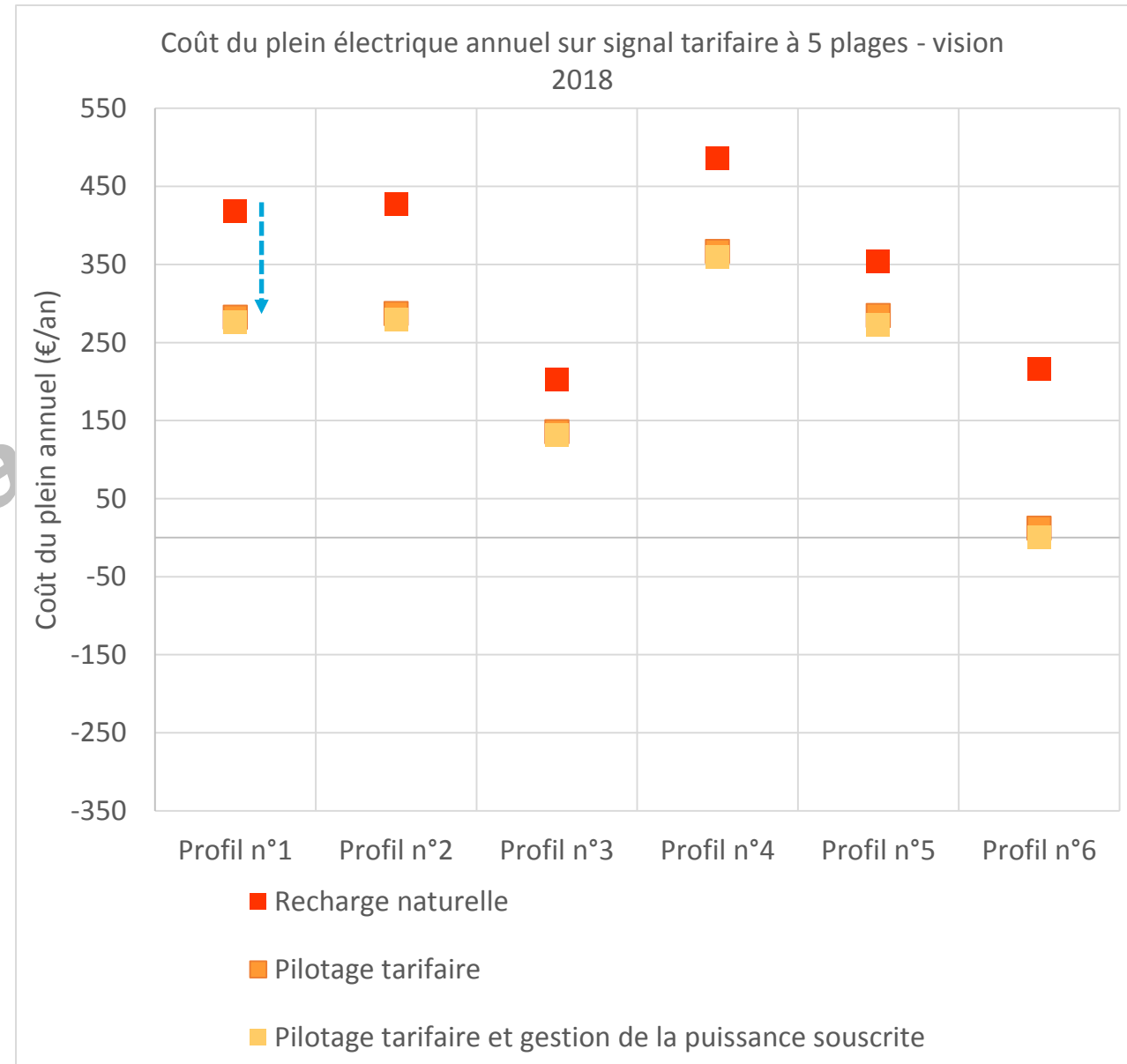


Le coût de la recharge peut être maîtrisé par un pilotage même simple

- La recharge « naturelle » des véhicules conduit à placer l'essentiel de la recharge pendant les heures où les prix sont les plus élevés.

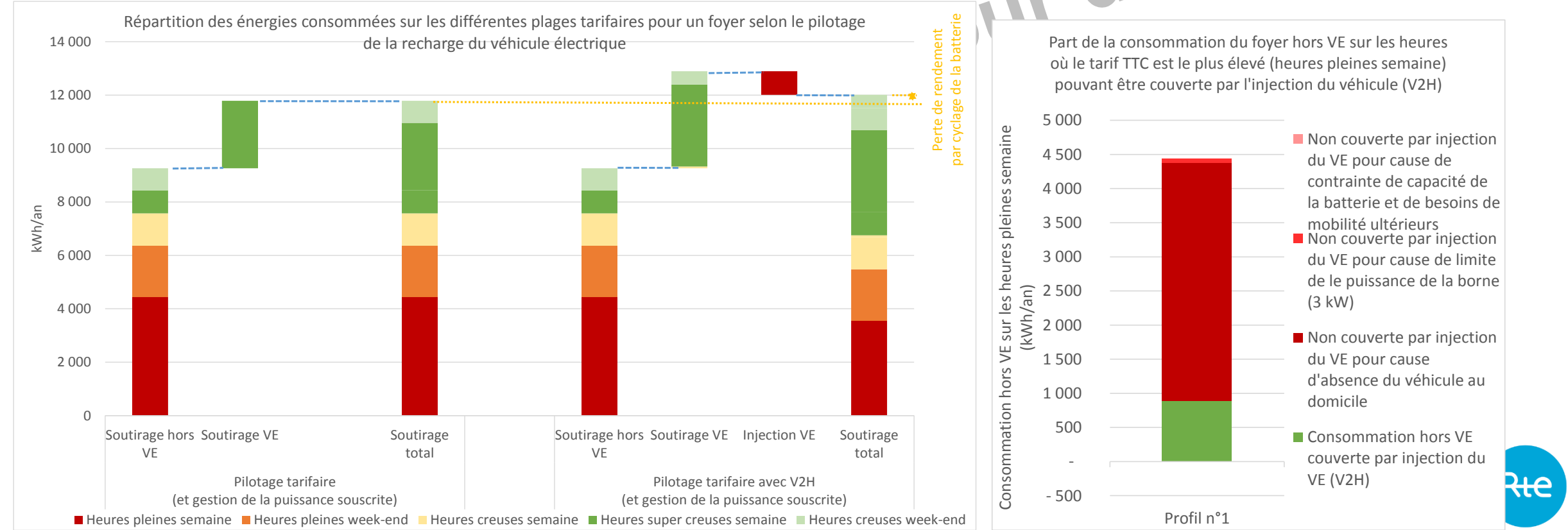


- Avec des offres de fourniture fines le pilotage de la charge présente un enjeu de l'ordre d'environ **30% de la facture soit de 70 à 140 €/an selon les profils de mobilité** (hors recharge gratuite au travail).
- Un enjeu faible (~10€/an) associé à la gestion de la puissance (avec une borne de 3 kW).



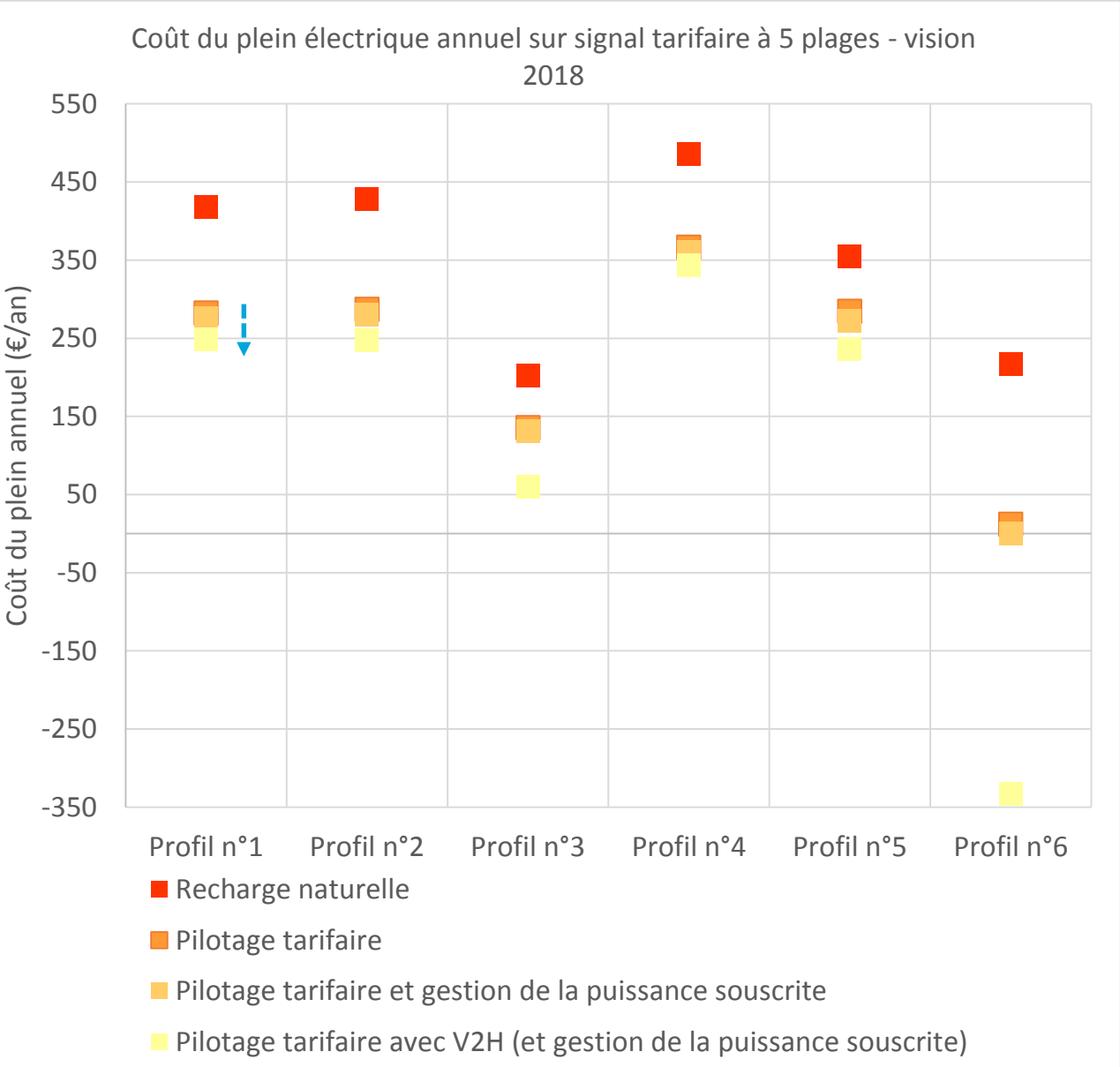
Le vehicle-to-home permet de déplacer la consommation des autres usages du foyer vers les heures de tarif les moins chères « TTC »

- Le vehicle-to-home peut permettre de réduire les soutirages lors des périodes de prix les plus élevés via l'injection du véhicule au sein du foyer.
- La principale limite du modèle correspond aux périodes de non présence au domicile du véhicule.



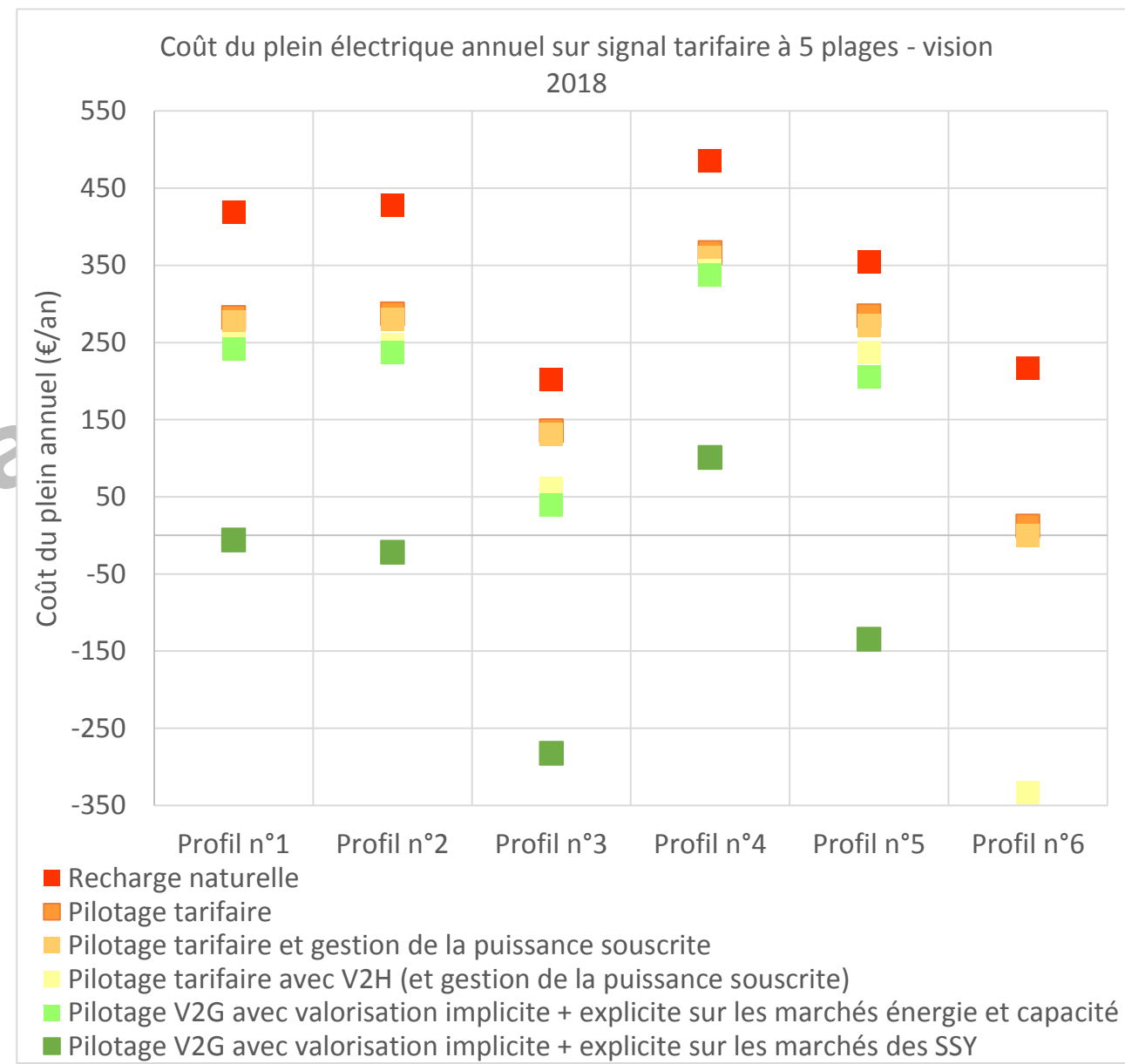
Le vehicle-to-home permet de réaliser une économie significative sur la facture malgré les contraintes inhérentes au véhicule : présence au domicile, puissance de la borne

- Le vehicle-to-home peut permettre une réduction supplémentaire de la facture annuelle **de 20 à 70€/an** selon les profils (hors ceux qui peuvent bénéficier d'une recharge gratuite au travail).
- L'intérêt du V2H dépend de la structure de la consommation « hors VE » et de la présence du VE au domicile.



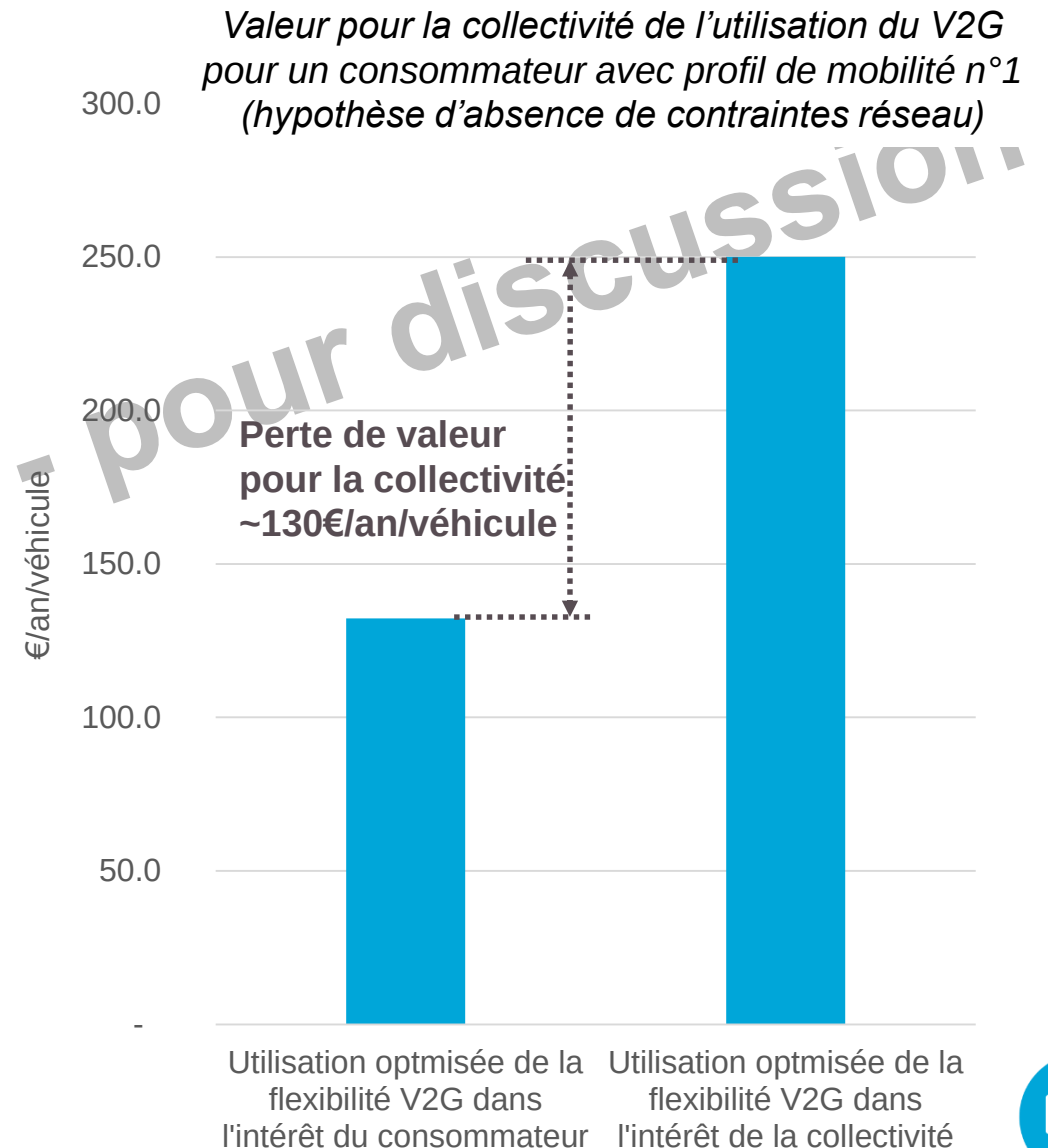
En dehors des services d'équilibrage, le V2G ne présente pas d'intérêt économique pour les consommateurs

- Avec les niveaux de prix actuels, les bénéfices des services d'équilibrage sont importants et permettent pour les profils les plus souvent connectés de tirer un revenu net positif de la recharge du VE.
- En 2035, du fait de la diminution probable des bénéfices associée au développement de nombreuses sources de flexibilité, aucun revenu n'a été considéré pour la fourniture de services système.
- Les arbitrages marché seuls permettent un gain supplémentaire d'environ 10€/an (hors profil avec recharge gratuite) selon le profil de mobilité.



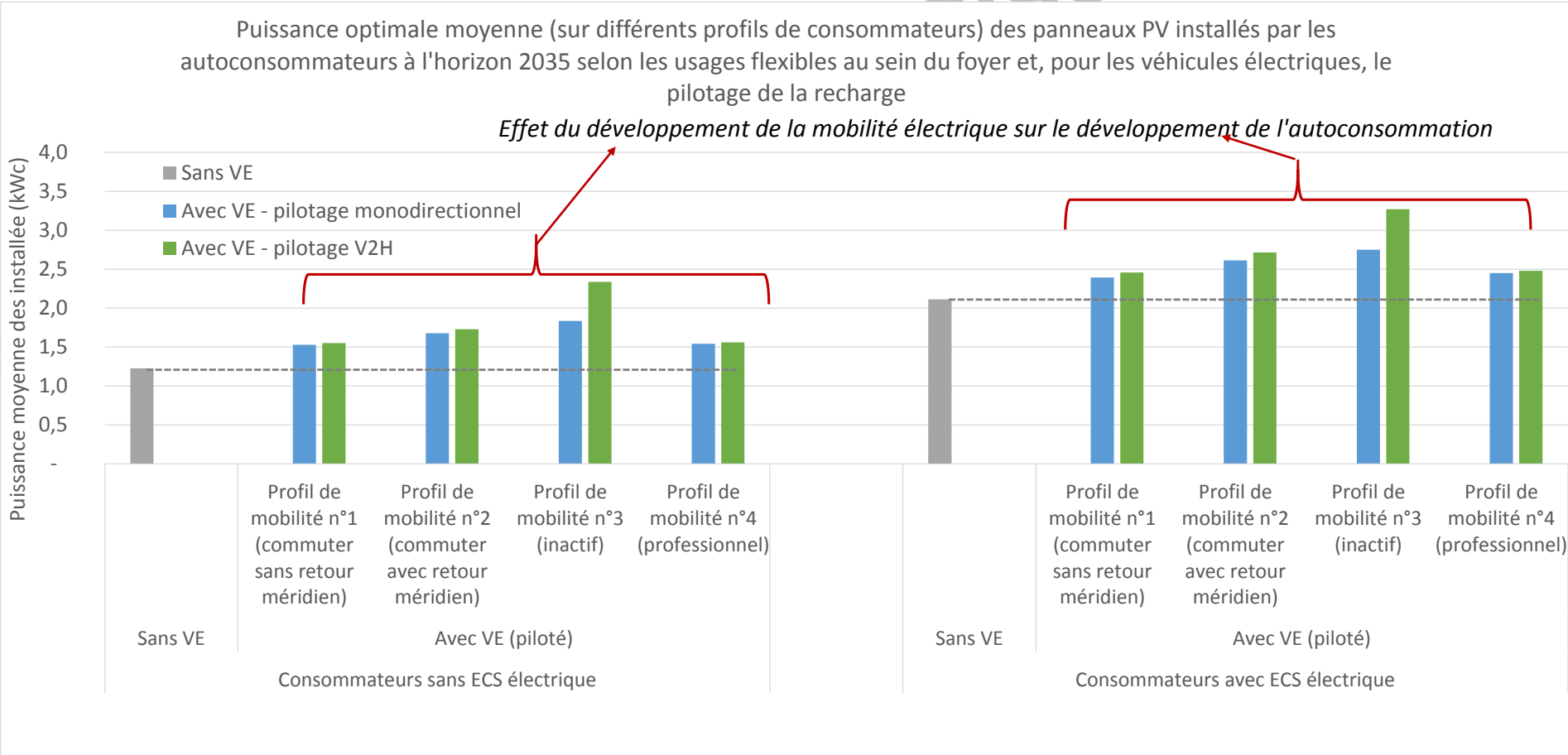
La structure des tarifs TTC de soutirage de l'électricité limite l'intérêt économique du V2G

- Dans le cadre de régulation actuel, les consommateurs qui utilisent leur véhicule pour injecter sur le réseau public (et valoriser l'énergie sur le marché) achètent l'énergie « TTC » (incluant taxes et TURPE à l'énergie) pour la revendre « HT ».
 - Ainsi, seuls les cycles où le prix de vente HT permet au moins de couvrir le coût d'achat TTC ne sont pertinents pour l'utilisateur. Celui-ci renonce à certains cycles pertinents pour la collectivité, compte-tenu des différentiels de prix de marché.
- ⇒ Avec le cadre de régulation actuel, **l'utilisation du V2G pourrait être limitée au seul V2H** (i.e. sans réinjection sur le réseau public), pour un manque à gagner en valeur pour la collectivité de plus de 100€/an/véhicule.



La flexibilité des véhicules électriques contribuera au développement de l'autoconsommation

- Le développement de la mobilité électrique (avec recharge pilotée) est de nature à conduire les autoconsommateurs à un dimensionnement plus important de leur installation PV de l'ordre de 10% à 50% selon l'existence d'autres usages flexibles au sein du foyer (p.e. ECS), le profil de mobilité et le type de pilotage.
- En moyenne sur les autoconsommateurs, **l'existence d'un VE dans le foyer conduit à une augmentation du dimensionnement de l'installation PV de l'ordre de 15% à 20%.**



Conclusions sur les enjeux économiques pour les consommateurs

- **Les consommateurs peuvent mettre en œuvre différentes stratégies d'utilisation et de valorisation de la flexibilité de la recharge des véhicules** : pilotage monodirectionnel vs bidirectionnel, valorisation « implicite » (minimisation de la facture) ou « explicite » (valorisation sous forme de revenus sur les marchés de l'électricité : équilibrage, énergie, capacité).
- Avec des offres tarifaires différenciées selon les plages horaires, les consommateurs ont un intérêt important à piloter leur recharge. L'enjeu d'un pilotage mono-directionnel simple est de l'ordre de 30% de la facture d'électricité pour la recharge. Il dépend des profils d'utilisation du véhicule.
- **Le pilotage bidirectionnel sous forme de V2H présente un intérêt supplémentaire de l'ordre de 20 à 70 €/an (avec tarifs actuels) et de 50 à 100 €/an (avec hypothèses 2035).**
- Par rapport au V2H, le V2G ne présente d'intérêt pour le consommateur qu'à travers la fourniture de services système dont la valeur actuellement importante n'est pas garantie sur le long-terme.
- Le faible intérêt du V2G (hors fourniture de services système) résulte du cadre de régulation. La perte d'opportunité pour la collectivité résultant du cadre de régulation est de plus de 100€/an/véhicule.
- Le développement du VE et du pilotage de la recharge permet d'améliorer la rentabilité des opérations d'autoconsommation. A l'horizon 2035, le développement du VE et de son pilotage pourrait avoir un effet de l'ordre de 15% à 20% sur le développement de l'autoconsommation.



6

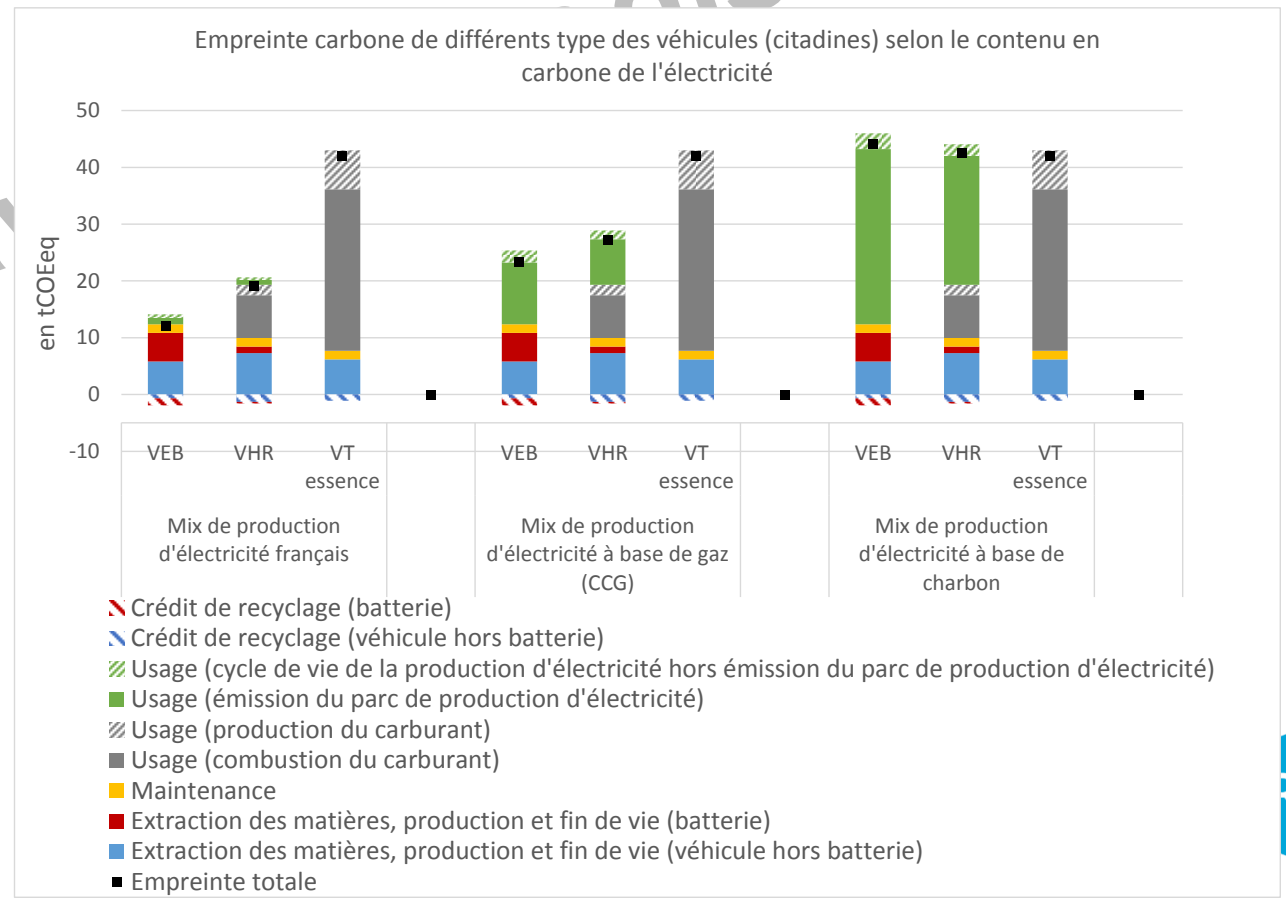
Les enjeux environnementaux

Le véhicule électrique présente une empreinte carbone plus faible que le véhicule thermique, sous certaines conditions

- Hors phase d'usage, l'empreinte carbone du véhicule électrique est plus significativement importante que celle du véhicule thermique, du fait de l'empreinte carbone de la batterie
- En phase d'usage, l'empreinte carbone du véhicule électrique est plus faible, sauf si l'électricité est produite à partir de charbon

En France, le bilan est largement positif, à condition que les véhicules roulent au moins 30 000 km (motorisation actuelles) à 50 000 km (motorisations 2030)

Les véhicules roulent en moyenne ~200 000 km sur leur durée de vie (~15 ans)



Plusieurs approches pour évaluer les émissions de CO₂ associées à la mobilité électrique

Méthodes d'affectation des émissions de CO₂ à un usage:

■ Méthodes « attributionnelle »

Facteur d'émission moyen par usage : contenu moyen heure par heure en CO₂ du MWh et affectation à l'usage selon les heures d'utilisation

- + : Permet de répartir les émissions totales aux différents usages
- : Ne permet pas d'évaluer l'effet d'une variation de l'usage

■ Méthodes conséquentielles :

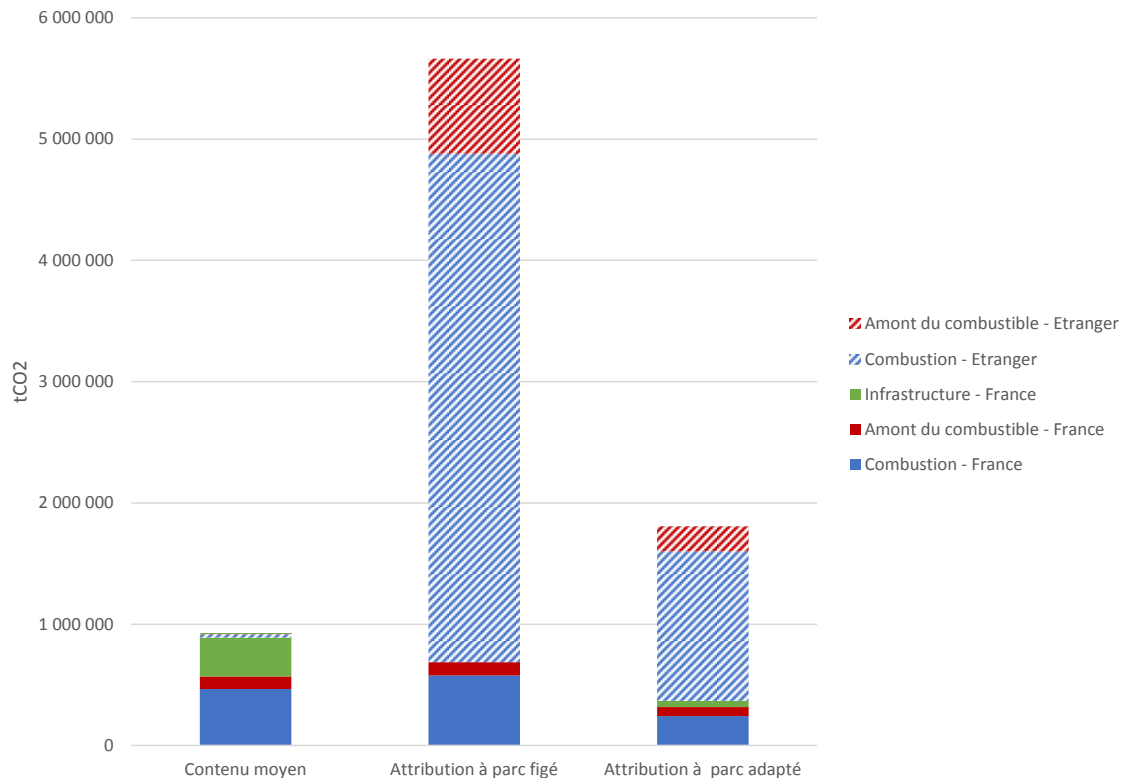
- **Approche incrémentale à parc figé** : Evaluation du différentiel d'émissions sans et avec l'usage considéré en supposant le parc de production figé => facteur d'émission **marginal** : facteur d'émission du moyen de production marginal mis en œuvre pour la consommation marginale considérée

- + : Permet d'évaluer l'effet d'une variation de l'usage ...
- : mais sans prendre en compte que le mix doit s'adapter aux usages
⇒ Conduit à considérer que ce sont les moyens non sollicités dans la situation sans VE qui vont servir à couvrir la consommation des VE

- **Approche incrémentale avec adaptation du parc** : Evaluation du différentiel d'émissions sans et avec l'usage considéré en supposant que le parc est adapté aux usages à satisfaire

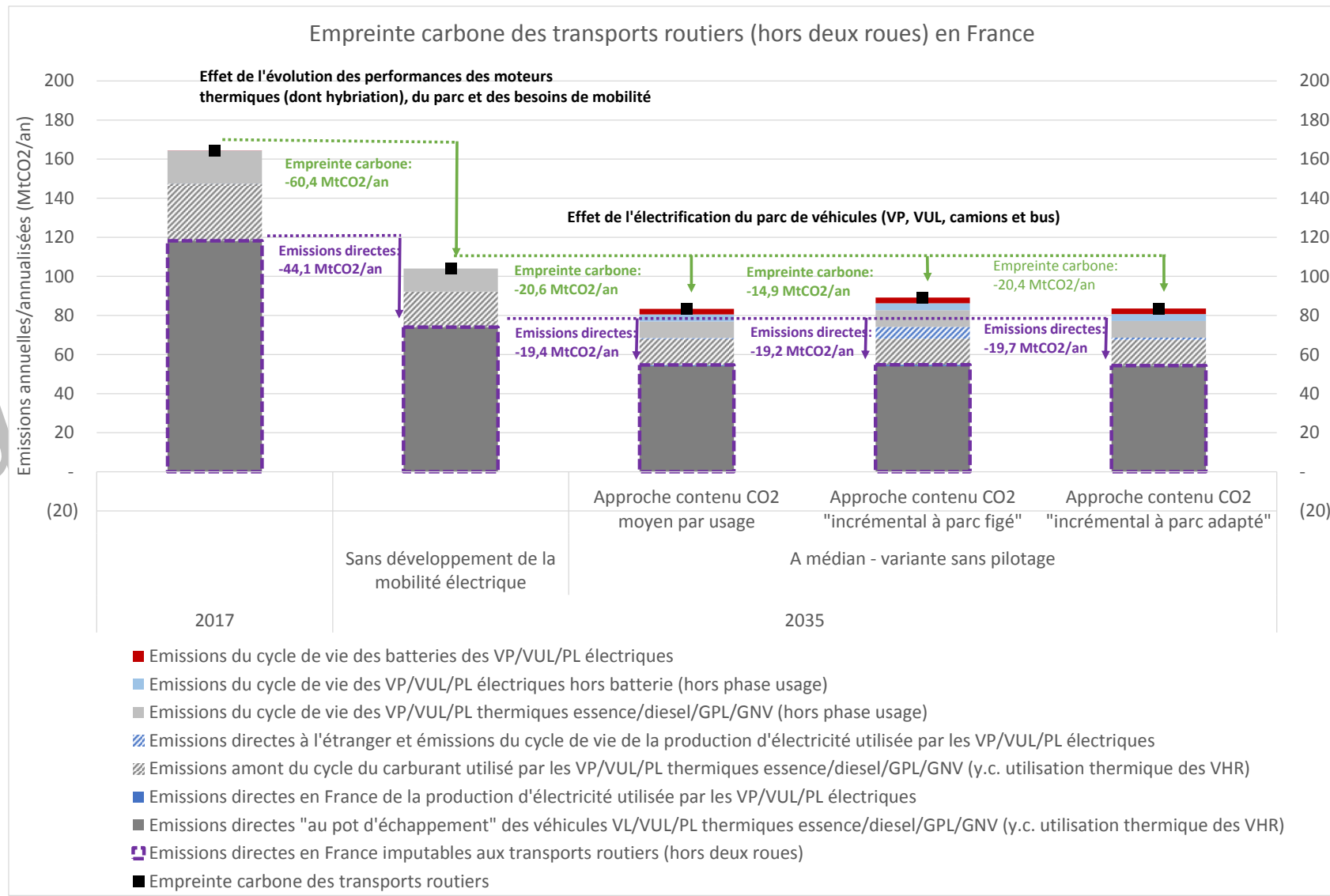
- + : La bonne approche pour évaluer l'effet d'une variation de l'usage ...
- : mais nécessite de faire une hypothèse d'adaptation du mix, potentiellement discutable

Empreinte carbone (tCO₂) du parc de véhicules électriques légers en 2035 - Scénario médian en recharge naturelle



En France, le développement de la mobilité électrique contribue significativement à la réduction de l'empreinte carbone du transport

- En France, l'électrification des transports permet de réduire les émissions de CO₂
- Avec le développement « médian », l'impact sur les émissions en France est de l'ordre de 20MtCO₂/an
- L'empreinte carbone (intégrant les émissions à l'étranger) est réduite de 14 à 20 MtCO₂/an, selon la méthode de comptabilisation utilisée.

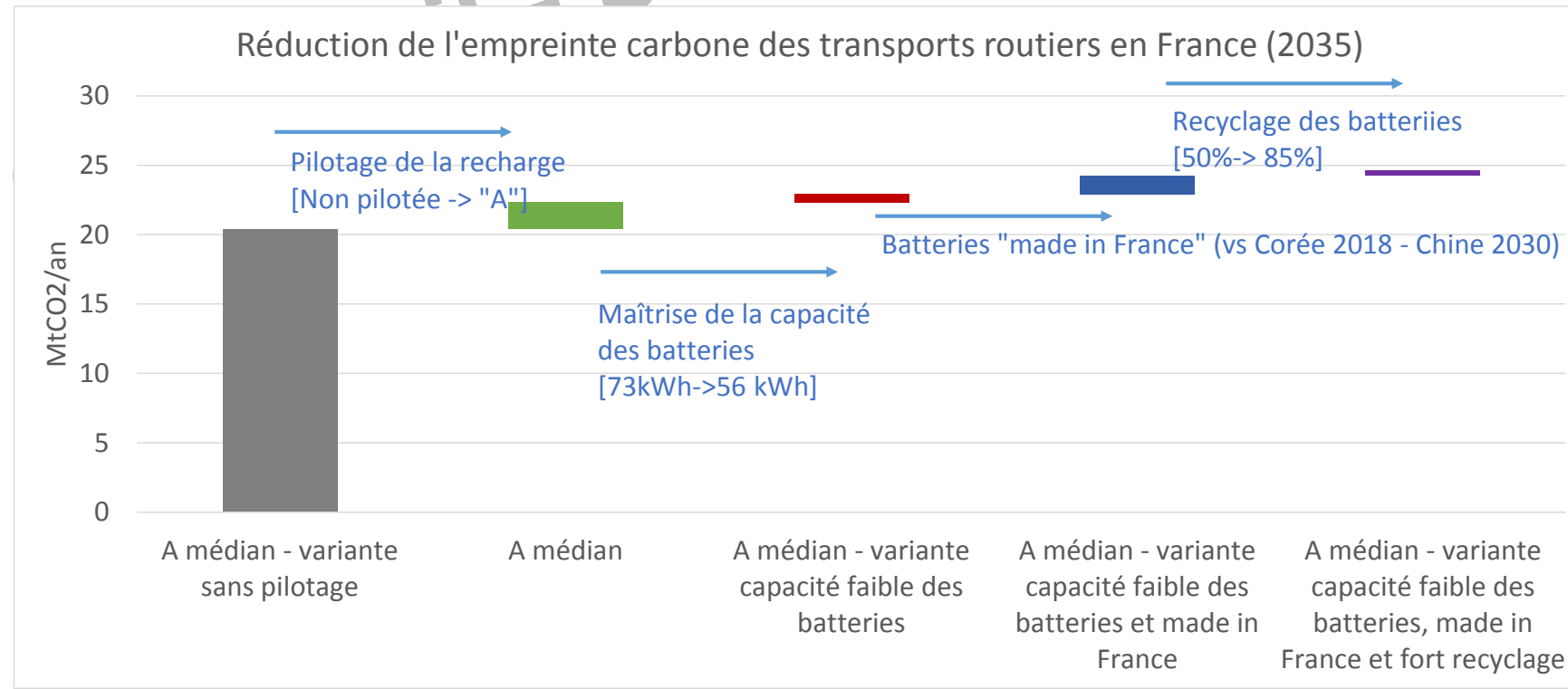


Différents leviers pour réduire l'empreinte carbone

Différents leviers peuvent permettre de maximiser l'intérêt environnemental de développement de la mobilité électrique :

- La flexibilité de la recharge
- Le lieu de fabrication des batteries (i.e. pays à contenu carbone de l'électricité faible, comme la France)
- Le recyclage des batteries
- La capacité des batteries

Ces leviers permettent d'accroître légèrement (~ + 20%) l'intérêt environnemental de la mobilité électrique.

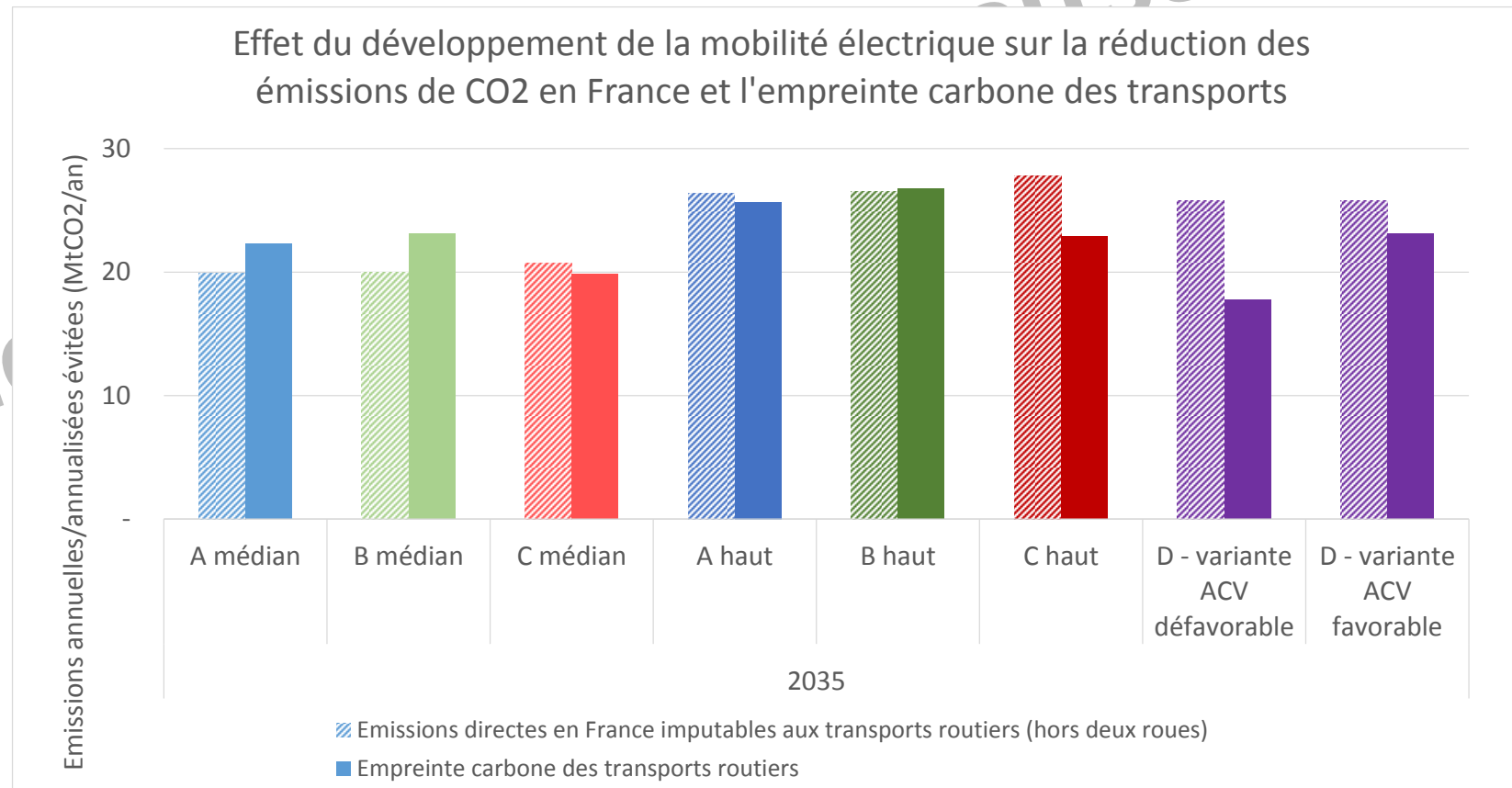


La réduction des émissions de CO₂ dans les différents scénarios

La réduction des émissions de CO₂ en France résulte quasiment exclusivement de la substitution de la mobilité thermique par la mobilité électrique. Les émissions en France du système électrique jouent peu.

Les scénarios sont plus différenciés sur l'empreinte carbone du fait :

- De l'impact du pilotage sur les émissions dans le reste de l'Europe
- De l'effet de la taille des batteries et de l'ACV des véhicules autonomes



Conclusions sur les enjeux environnementaux

- Pour une utilisation moyenne et avec une électricité essentiellement décarbonée comme en France, le véhicule électrique a une empreinte carbone de l'ordre de 60% inférieure à celle du véhicule thermique.
- Le développement de la mobilité électrique contribuera à **réduire les émissions de CO₂ en France imputables aux transports routiers, entre 20 MtCO₂/an et 28 MtCO₂/an** à l'horizon 2035 dans les scénarios étudiés.
- L'effet sur l'empreinte carbone (intégrant l'ensemble du cycle de vie et les effets sur les émissions à l'étranger) est du même ordre de grandeur.
- Mis à part le niveau de pénétration de la mobilité électrique, différents leviers sur les modalités de développement de la mobilité électrique peuvent permettre de maximiser l'intérêt environnemental du véhicule électrique : pilotage de la recharge et V2G, la maîtrise de la capacité des batteries, la localisation de la production de batteries dans un pays à faible contenu en carbone du kWh, le taux de recyclage des batteries. **Ces leviers peuvent permettre une réduction de l'empreinte carbone jusqu'à environ 4 MtCO₂/an.**
- Un scénario de rupture de la mobilité, fondé sur une hypothèse de développement de véhicules autonomes coordonnée avec les transports en commun, ne présente a priori pas d'intérêt en terme d'empreinte carbone par rapport à un scénario d'électrification « classique » de la mobilité. Ces analyses pourront être affinées.



5

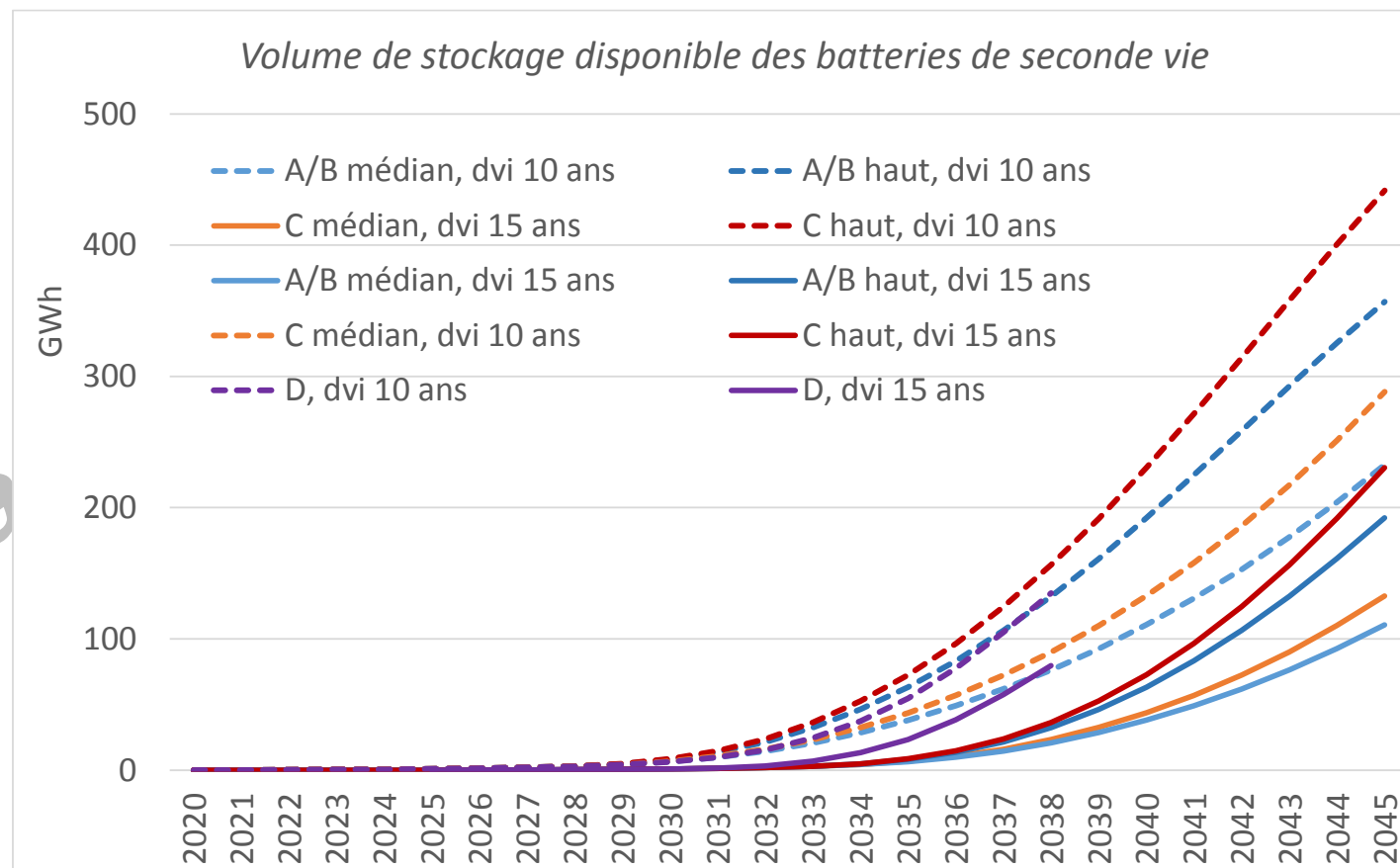
Batteries de seconde vie

Les batteries de seconde vie, potentiellement disponibles pour des services au système électrique, vont constituer un volume de stockage considérable

- À l'horizon 2035, le début de l'arrivée en fin de vie de volumes significatifs de batteries des véhicules électriques.

Déjà de 6 GWh à 35 GWh selon les configurations étudiées avec durée de vie de 15 ans

- A l'horizon 2045, des volumes de stockage qui pourraient être disponibles qui seraient considérables (jusqu'à 4 fois la capacité de stockage des STEP), en tenant compte de leur durée de vie résiduelle limitée et de la capacité diminuée.



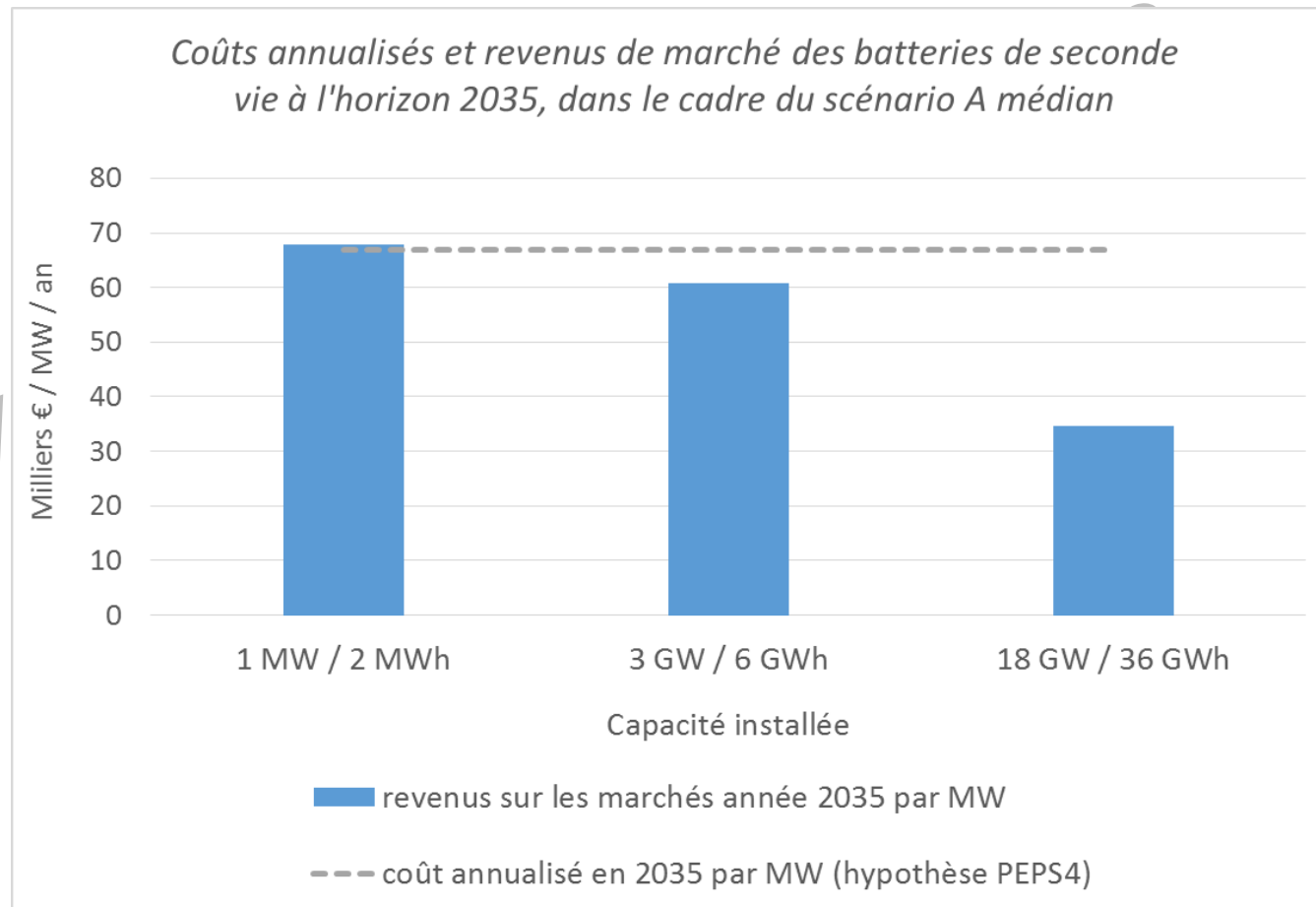
dvi = durée de vie initiale des batteries des véhicules électriques

Hypothèse 1 : Durée de vie initiale de 15 ans et une capacité en fin de vie initiale de 80% par rapport à la capacité d'origine

Hypothèse 2 : durée de vie initiale de 10 ans

La viabilité économique de batteries de seconde vie sur le système électrique français n'est pas assurée

- Dans le mix électrique correspondant aux ambitions publiques, **la viabilité économique de batteries de seconde vie sur le système électrique français n'est pas assurée** même avec de faibles volumes.
- La valeur sur le marché se contracte très vite avec le volume de batteries





6

Prochaines étapes

Suites

- Les membres du GT sont invités à formuler en séance ou « dans la foulée » leurs remarques sur les éléments présentés lors du GT du 15/04/2019
- Un rapport et une synthèse seront publiés au courant du mois de mai

Document de travail - pour discussion



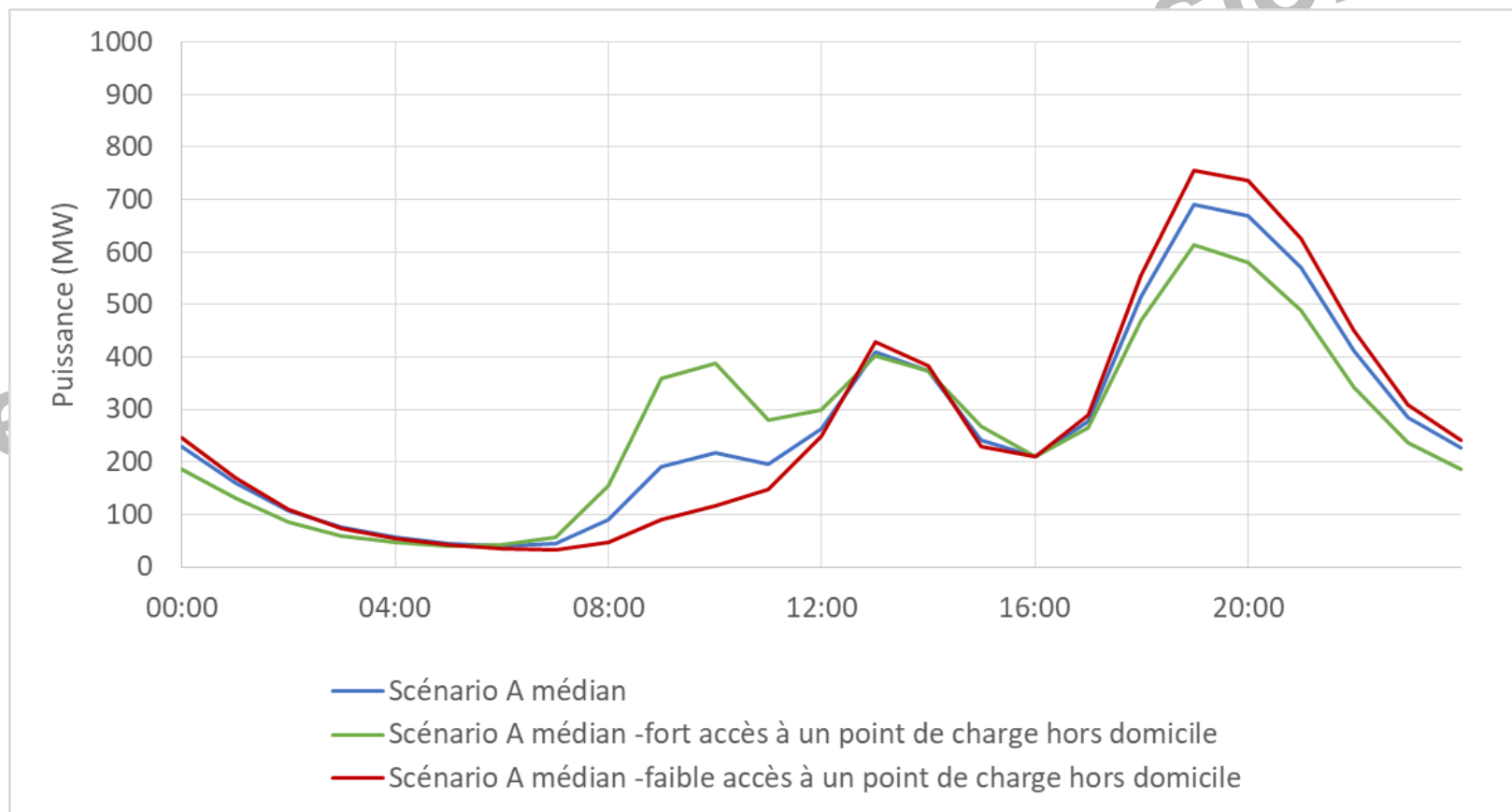
Merci pour votre attention

Annexe

Impact de l'accès aux points de charge

- Les appels de puissance des recharges non pilotées dépendent des modalités de développement de l'accès aux points de charge sur le lieu de travail.
- Un développement important de possibilité de charge sur lieu de travail permet une répartition plus équilibrée de la charge des véhicules électriques au sein de la journée, même sans dispositifs de pilotage.

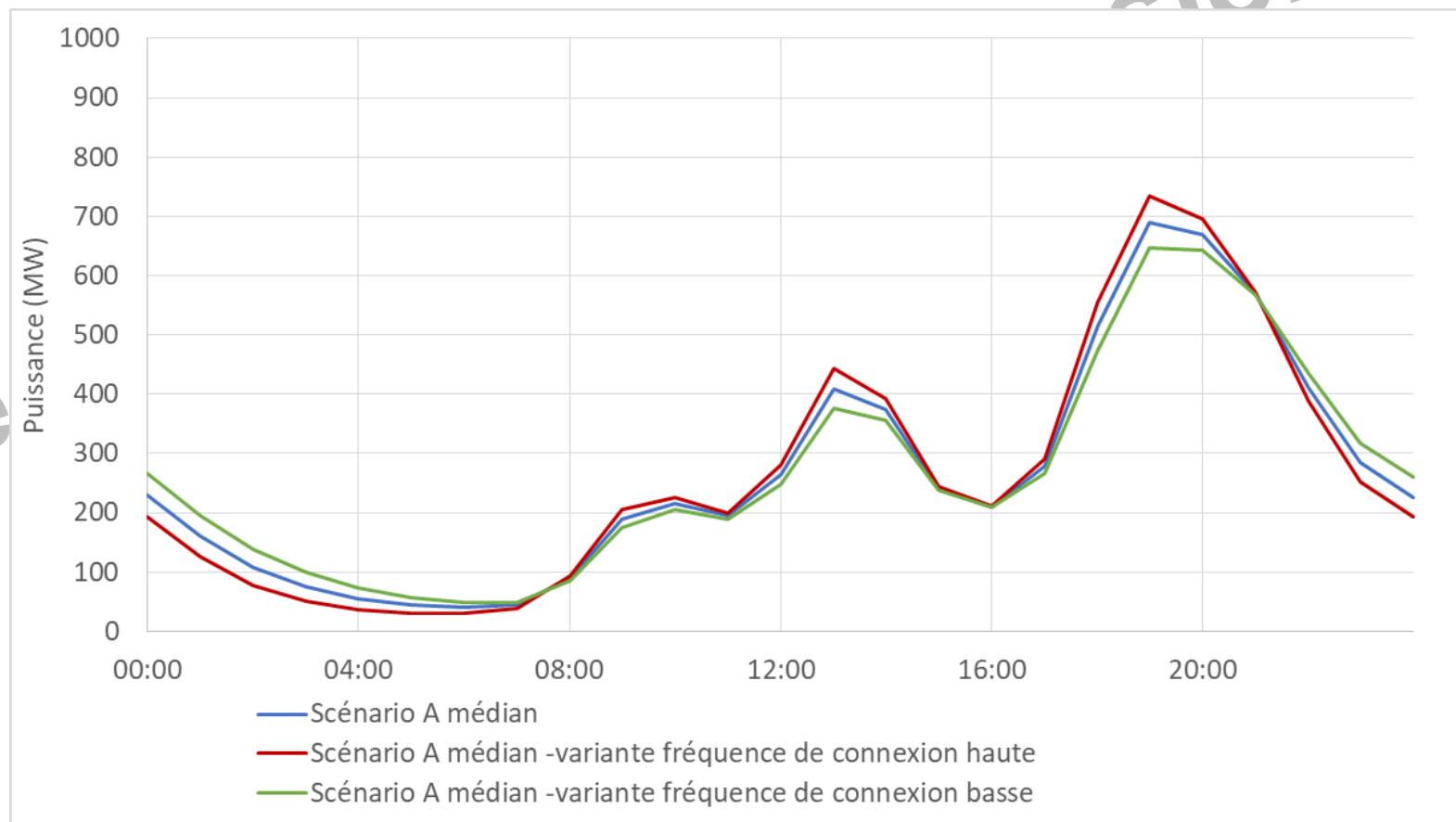
Puissance soustraite pour la recharge non pilotée d'un million de véhicules électriques en fonction de l'accès aux points de charge



Impact de la fréquence de connexion

- Les appels de puissance des recharges non pilotées dépendent de la **fréquence de connexion** aux **points de charge**.
- Une fréquence de recharge **systématique** (tous les jours par exemple) implique une synchronisation des recharges et des recharges plus courtes : les appels de puissance sont **plus « pointus »**.

Puissance soutirée pour la recharge non pilotée d'un million de véhicules électriques en fonction de la fréquence de connexion



Impact du mode de développement de la mobilité électrique

- Les appels de puissance des recharges non pilotées dépendent du développement de la mobilité électrique au sein de la population.
- Le scénario « A » considère un développement de la mobilité électrique plus marqué au sein des « actifs ».
- Ceci se traduit par des appels de puissance plus marqués le soir, en concomitance avec le retour au domicile après le travail.

Puissance soutirée pour la recharge non pilotée d'un million de véhicules électriques en fonction du développement de la mobilité électrique

