

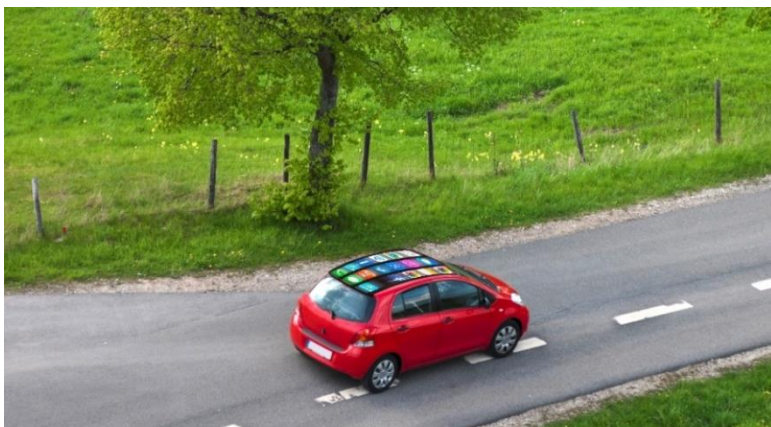


COLLOQUE : LES STOCKAGES ÉLECTROCHIMIQUES DU FUTUR PROBLÉMATIQUE DE L'ÉLECTRIFICATION DES VÉHICULES

François Badin : IFP énergies nouvelles

Maison de la Chimie, 11 juin 2018

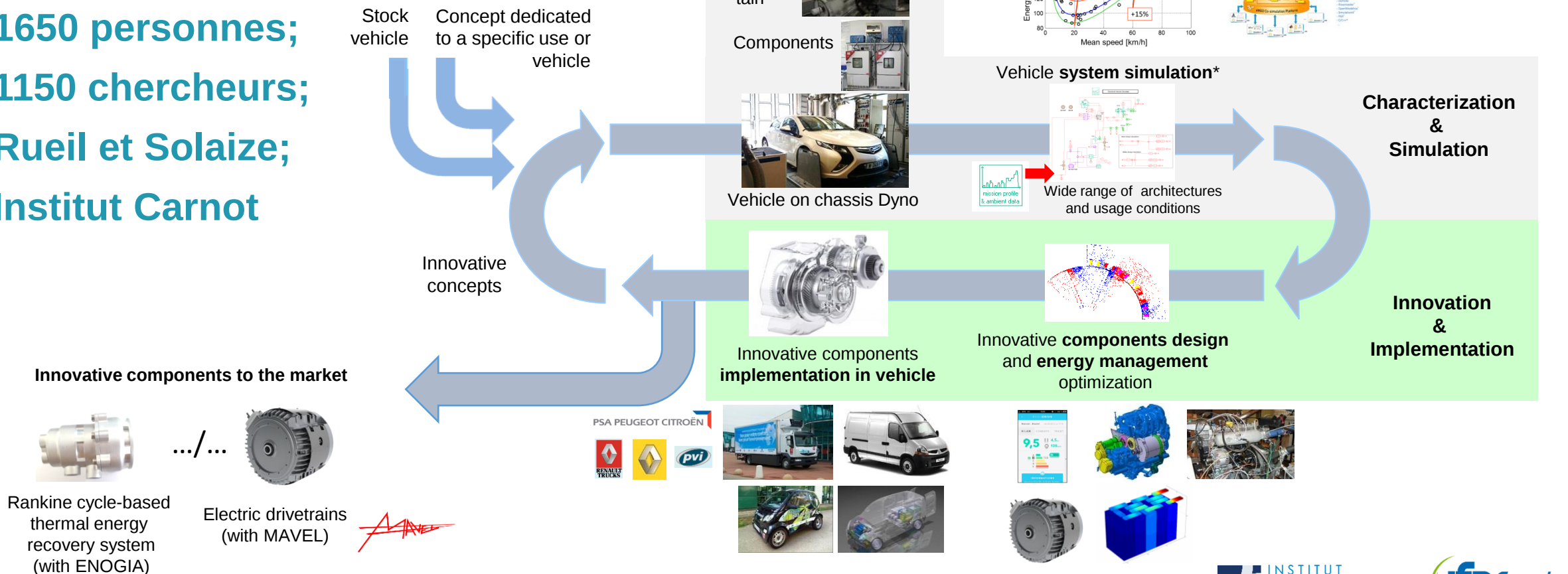

Fondation de la Maison de la Chimie
28 bis rue Saint-Dominique
75007 Paris



- IFP énergies nouvelles
- Problématique du choix d'une motorisation
- Véhicule à motorisation conventionnelle
- Véhicule à motorisation électrique
- Véhicule à motorisation hybride
- Exemple de Toyota
- Véhicule à motorisation hybride rechargeable
- Prospective de marché
- Éléments de conclusion

IFP énergies nouvelles :

- EPIC;
- 1650 personnes;
- 1150 chercheurs;
- Rueil et Solaize;
- Institut Carnot

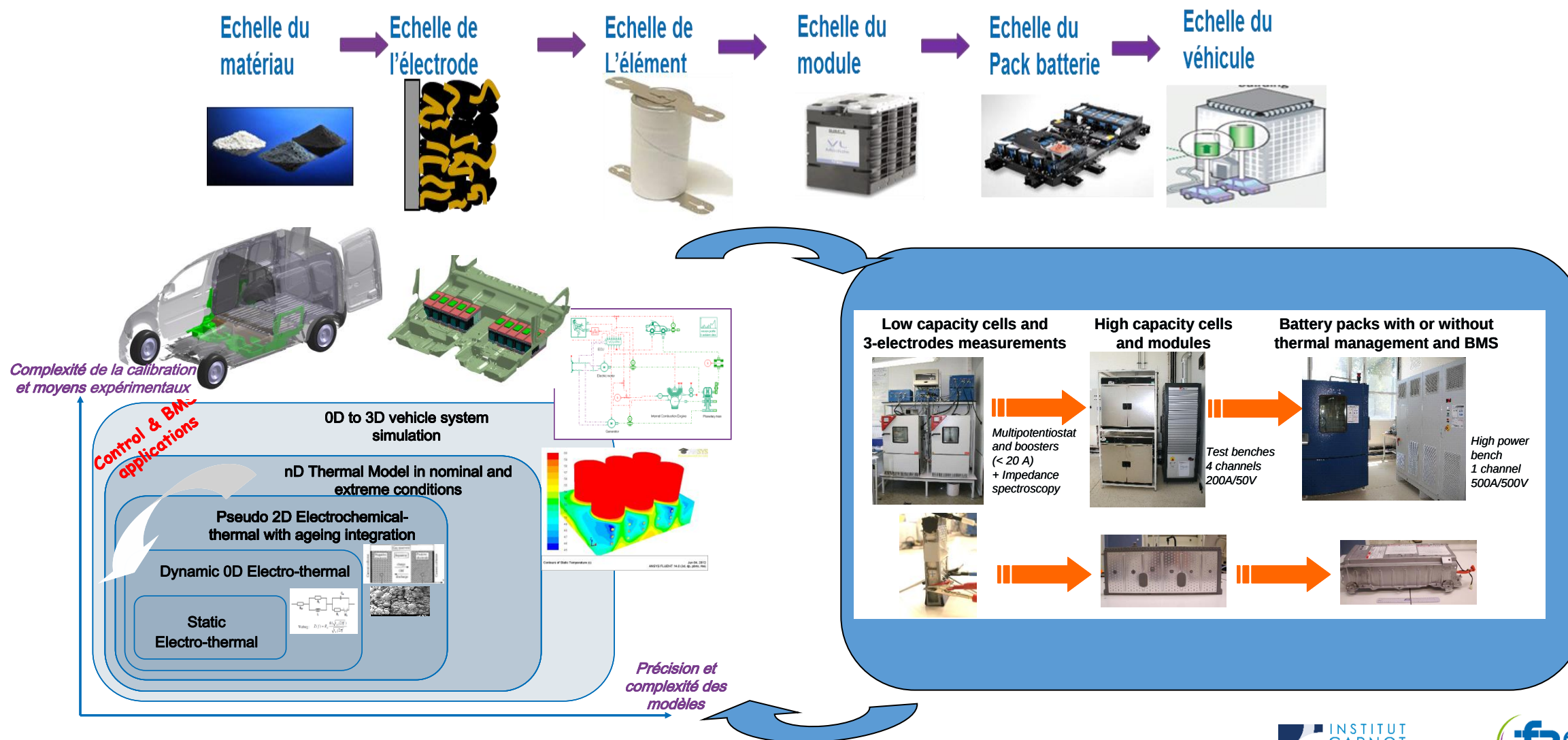


Activités batterie à IFP énergies nouvelles

Expérimentation & modélisation alliées à toutes les échelles

SUSTAINABLE MOBILITY

V. Sauvant-Moynot 2018



Activités batterie à IFP énergies nouvelles

Expérimentations : Moyens et compétences multi-échelles

SUSTAINABLE MOBILITY

V. Sauvant-Moynot 2018

Low capacity cells and 3-electrodes measurements



*Gloves-box, multi-potentiostat & boosters 100 A,
Electrochemical Impedance Spectroscopy*

High capacity cells and modules

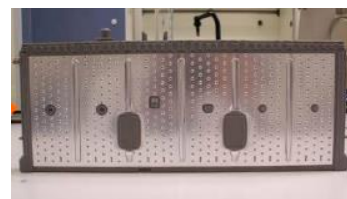


*4 channels 200A/50V
(10 kW)*

Battery packs with or without thermal management & BMS



*2 channels 300A/600V (75 kW)
Hardware-in-the-Loop option*



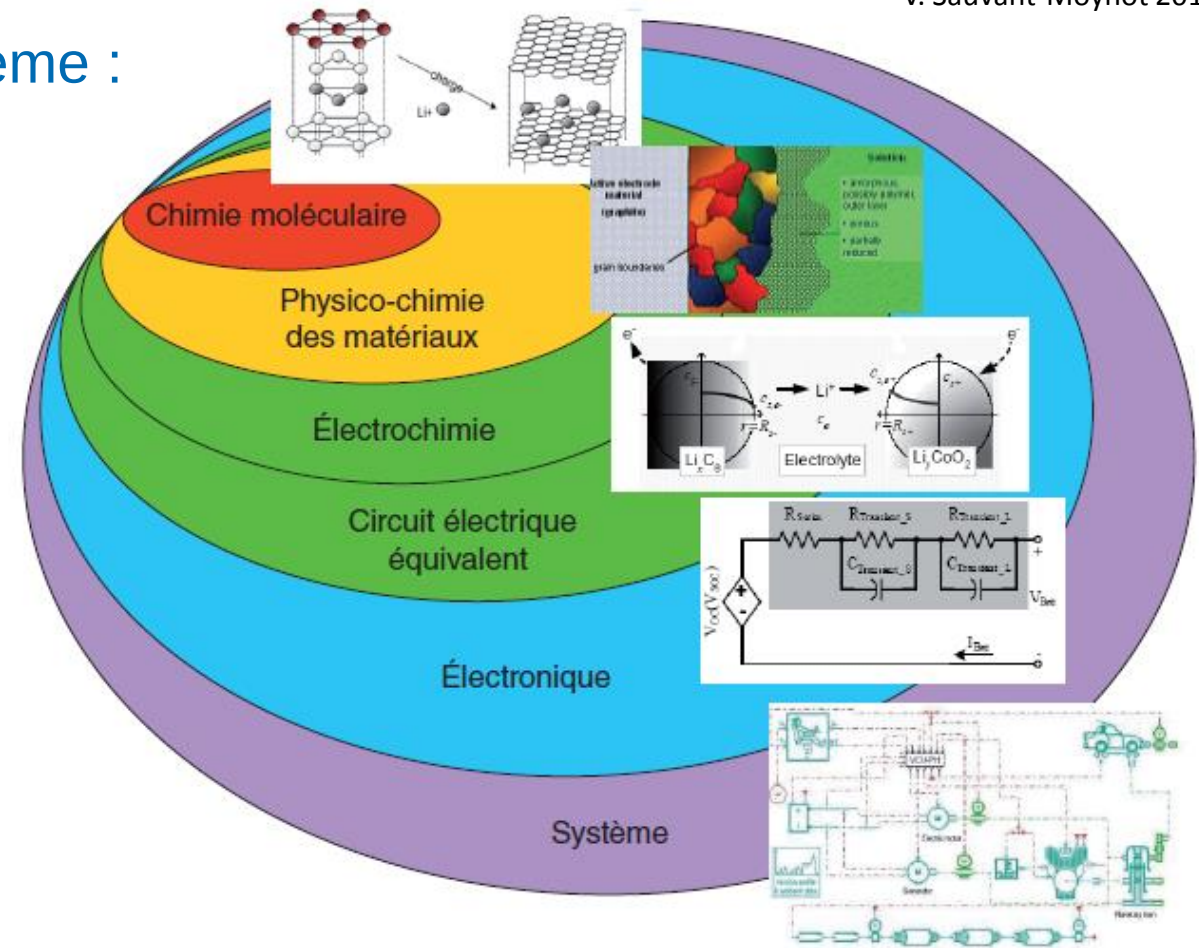
Activités batterie à IFP énergies nouvelles

Modélisation multi-échelle

SUSTAINABLE MOBILITY

V. Sauvant-Moynot 2018

- Cascade de modèles du matériau au système :
approches physiques et empiriques pour
décrire les phénomènes au bon niveau
avec un temps de calcul raisonnable.
- Déclinaison en modèles 0D à nD
 - 0D et pseudo 1-2D si calcul rapide
 - 1D-3D si localisation spatiale des
phénomènes utiles



ifp Energies nouvelles Publications

LES VÉHICULES HYBRIDES

Des composants au système

Sous la coordination de
François Badin

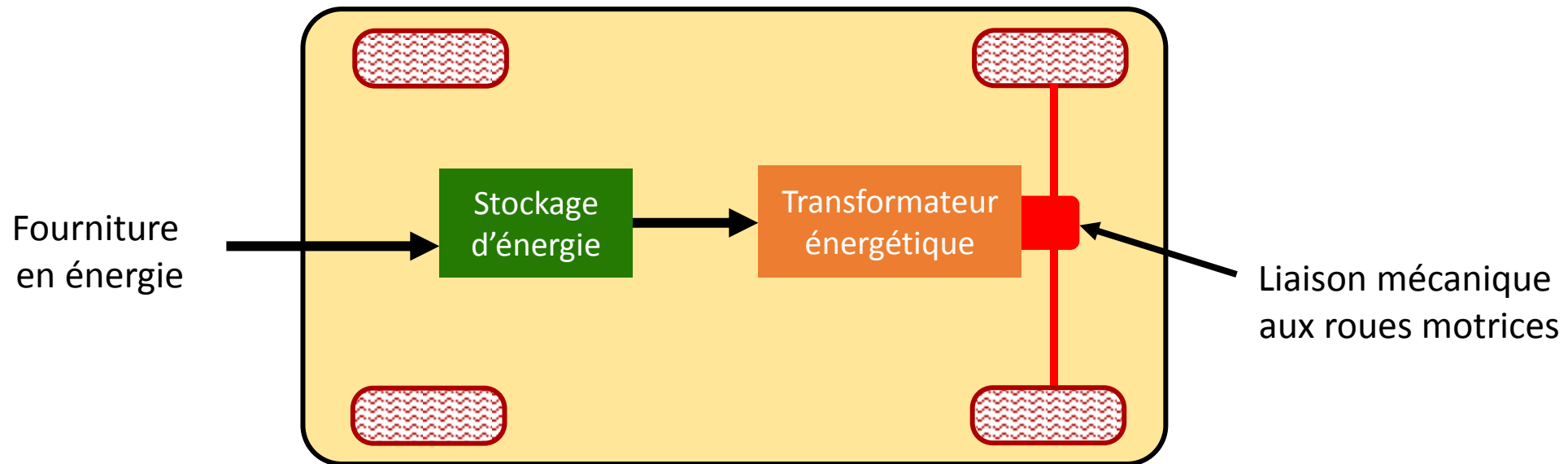


Réf. : *Systèmes de stockage embarqués de l'énergie, chap 4, Les Véhicules Hybrides, coordonné par F. Badin, Ed. Technip*

Badin : Maison de la Chimie, juin 2018

Problématique du choix d'un système de motorisation

● Principe général d'un système de motorisation

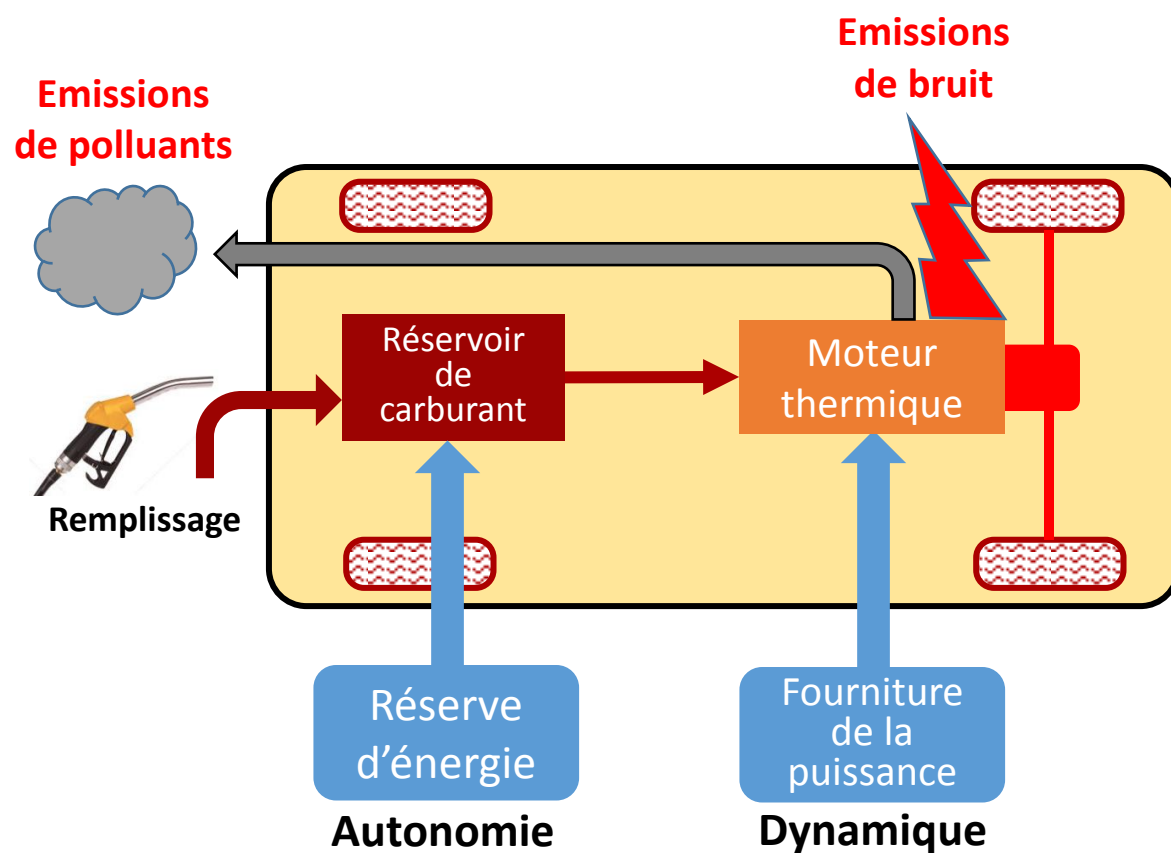


Véhicule à motorisation conventionnelle

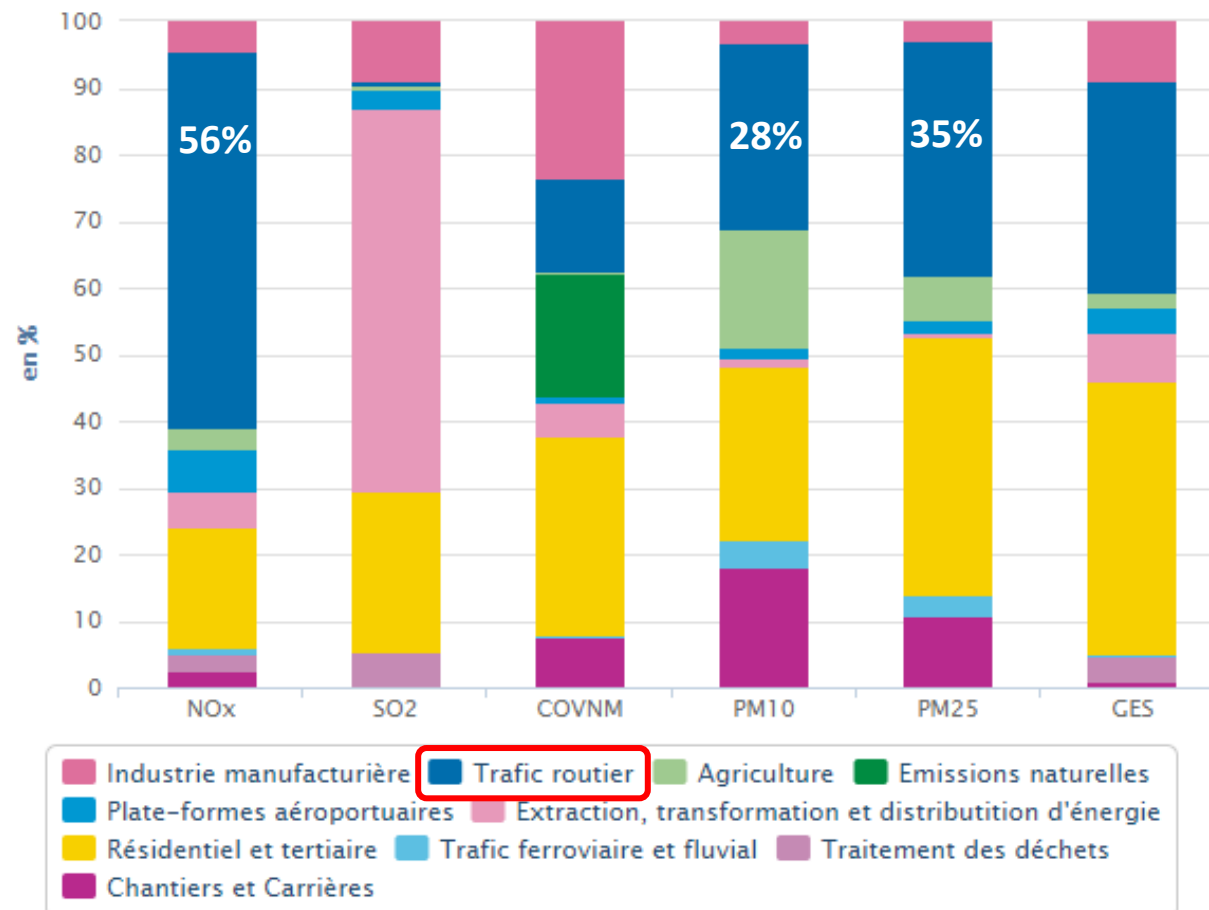
Véhicule à motorisation conventionnelle

SUSTAINABLE MOBILITY

● Emissions **locales** de polluants



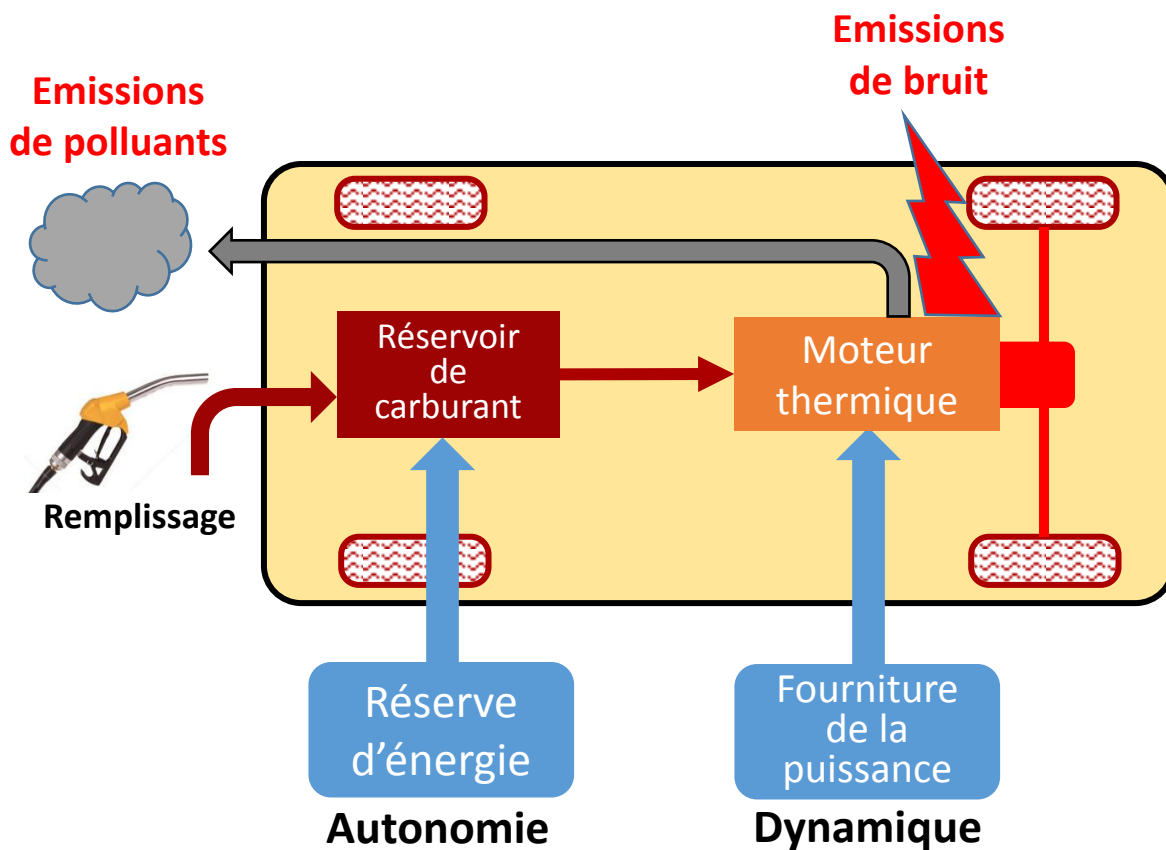
Région Ile de France



[Airparif 2014]

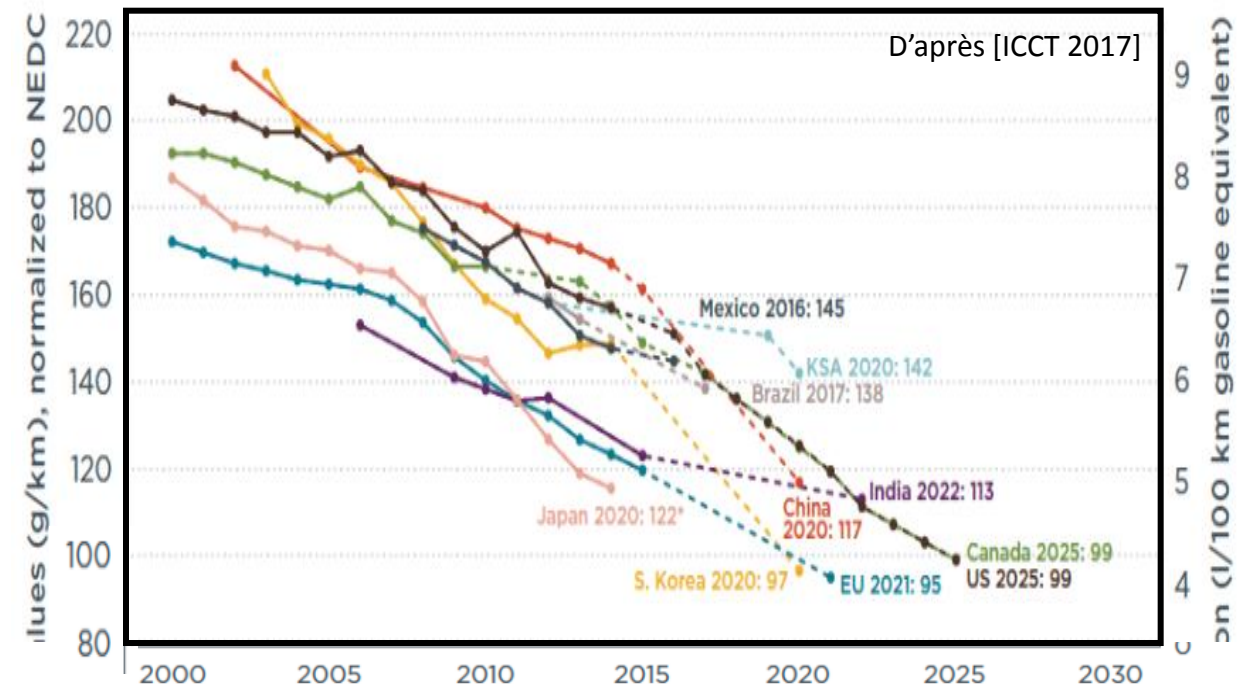
Véhicule à motorisation conventionnelle

● Emissions globales de polluants



Transports : Près de 30% du total en France
Difficile à réduire

Emission de CO2 et objectifs

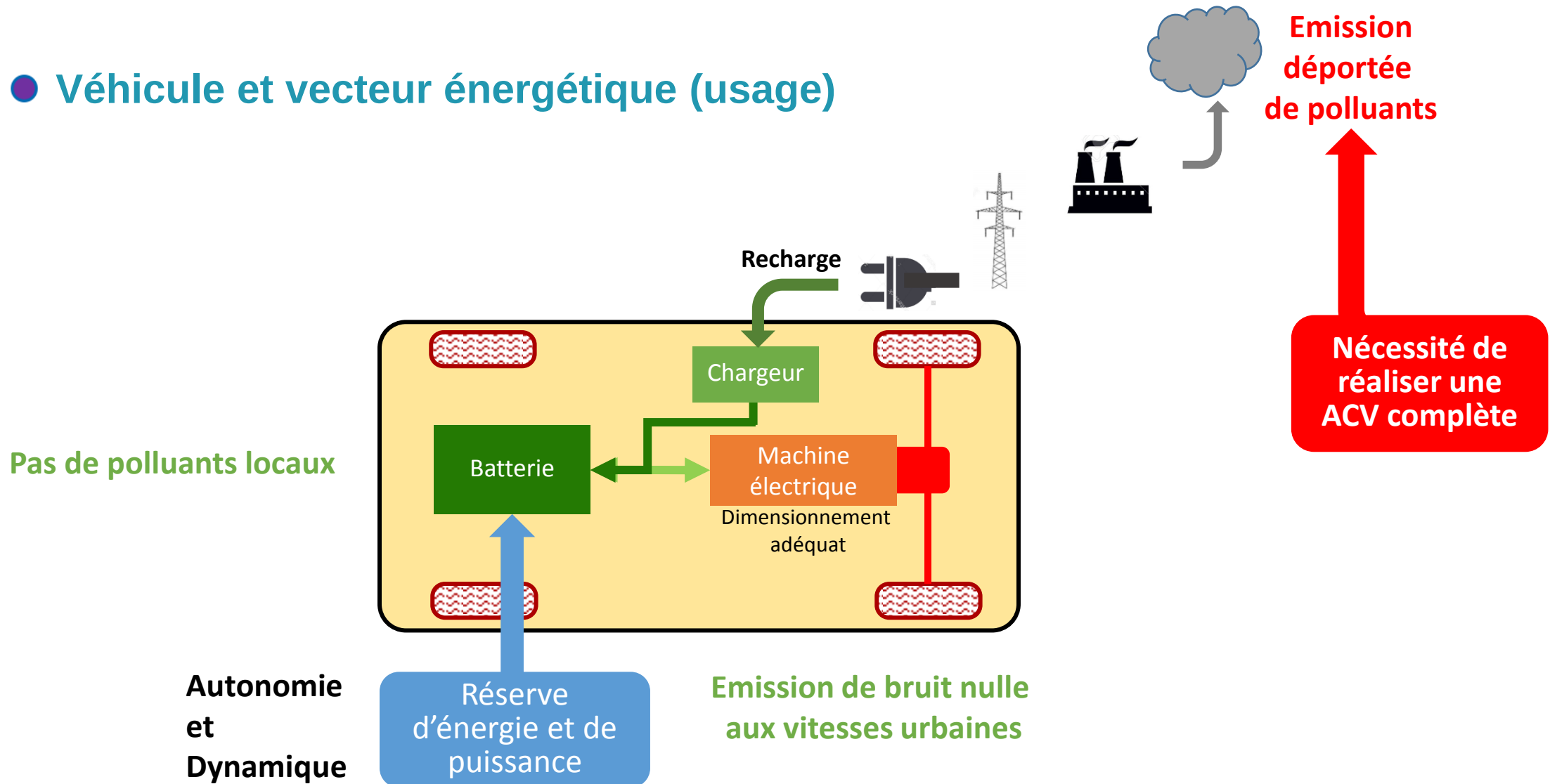


Véhicule à motorisation électrique

Nécessité d'une approche globale

SUSTAINABLE MOBILITY

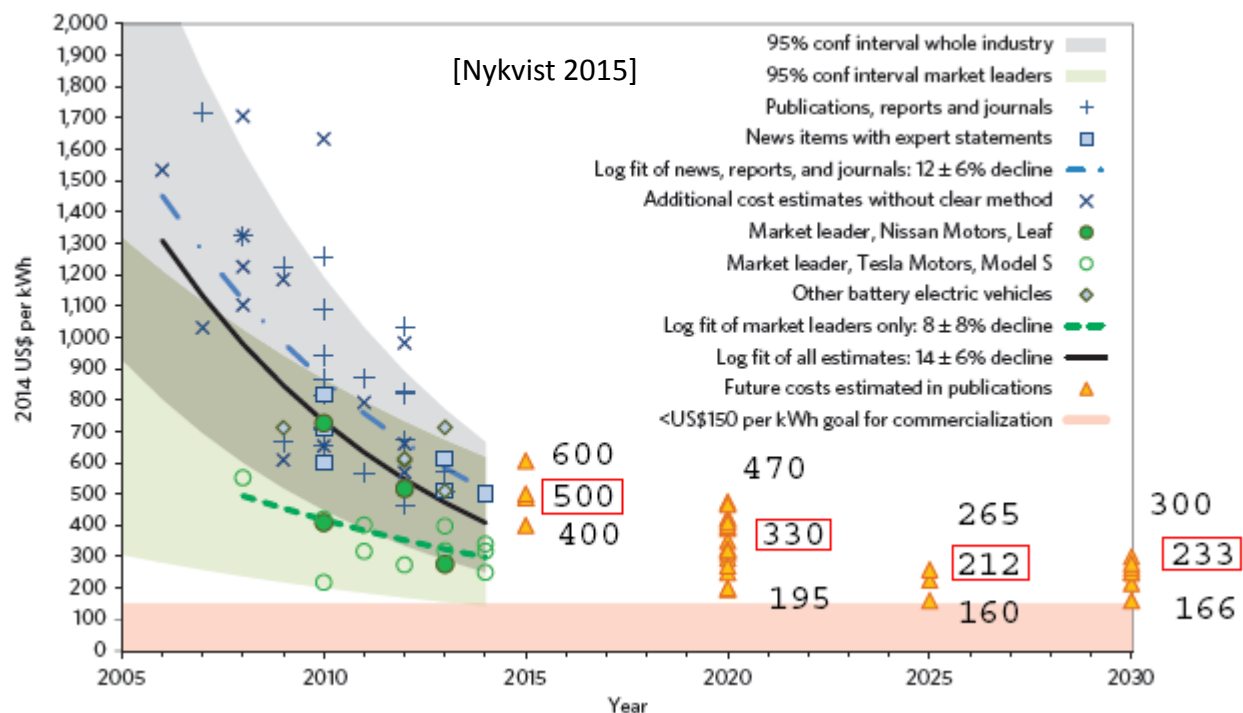
- Véhicule et vecteur énergétique (usage)



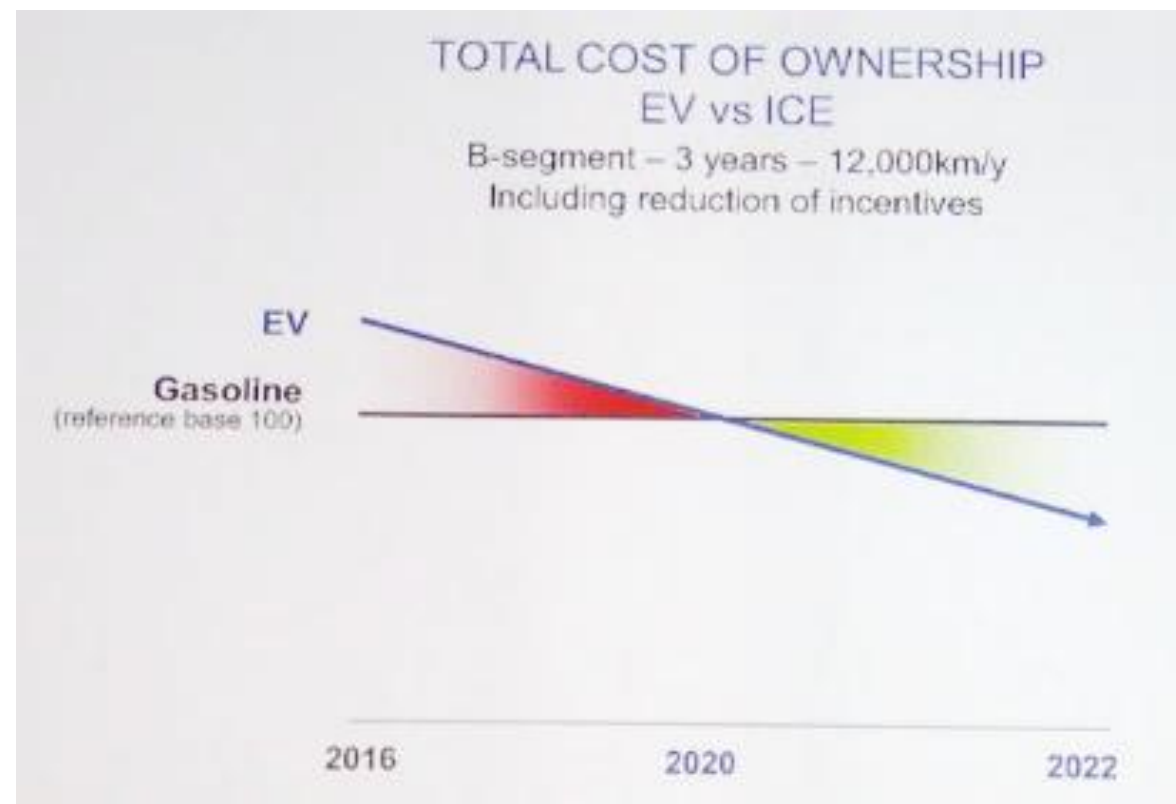
Quelques tendances

- Cout d'achat encore élevé ;
- Réduction prévue du TCO ;
- Importance des incitations au départ (fiscales, usages...)

Evolution estimée du coût batteries



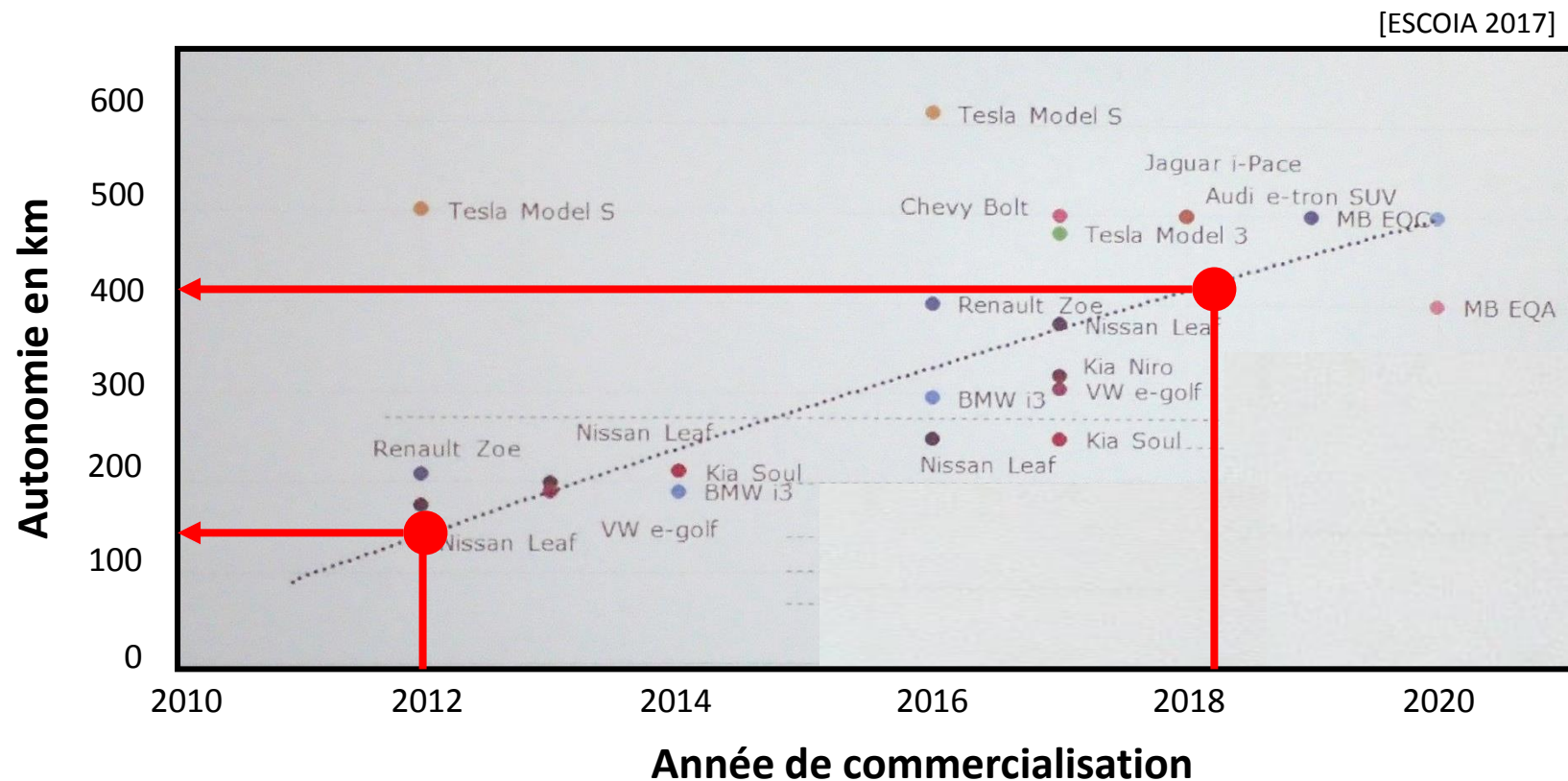
Evolution estimée du coût d'usage



[Renault 2017]

Une autonomie encore limitée mais en nette augmentation

● Evolution des autonomies selon procédure normalisée



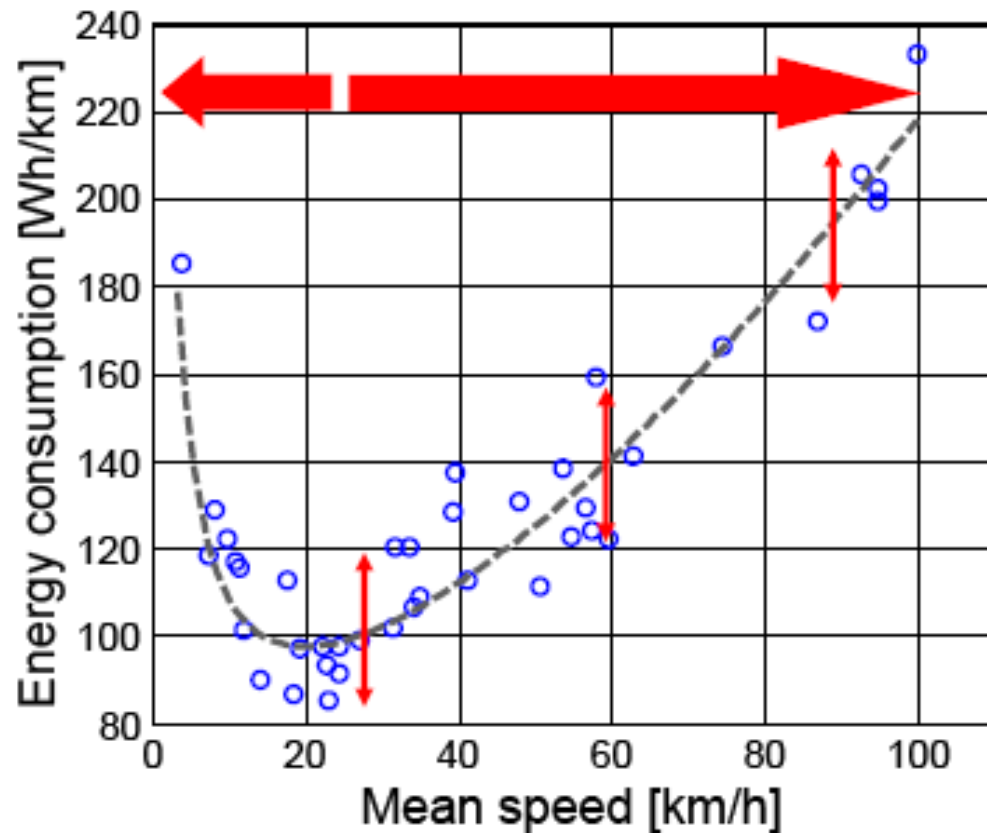
Grande sensibilité de l'autonomie aux conditions d'usage

ADEME

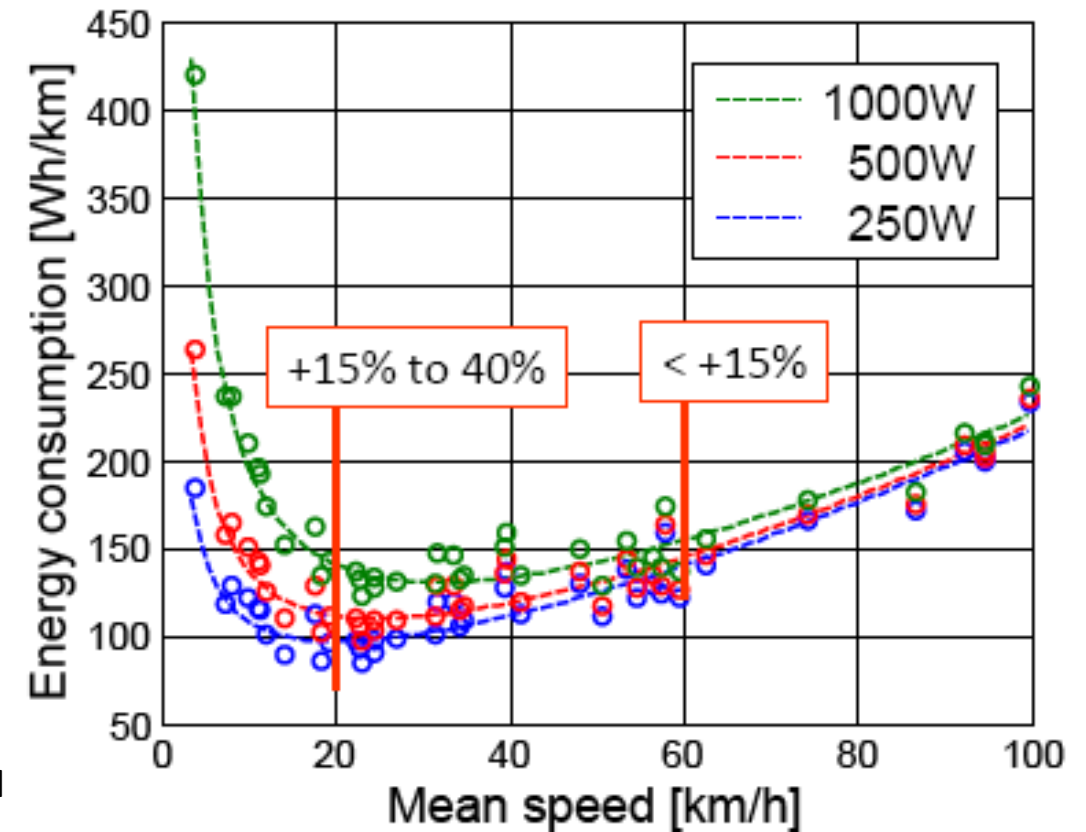


SUSTAINABLE MOBILITY

● Influence du type de circulation



● Influence de la conso des auxiliaires



[Badin, 2017]

SUSTAINABLE MOBILITY

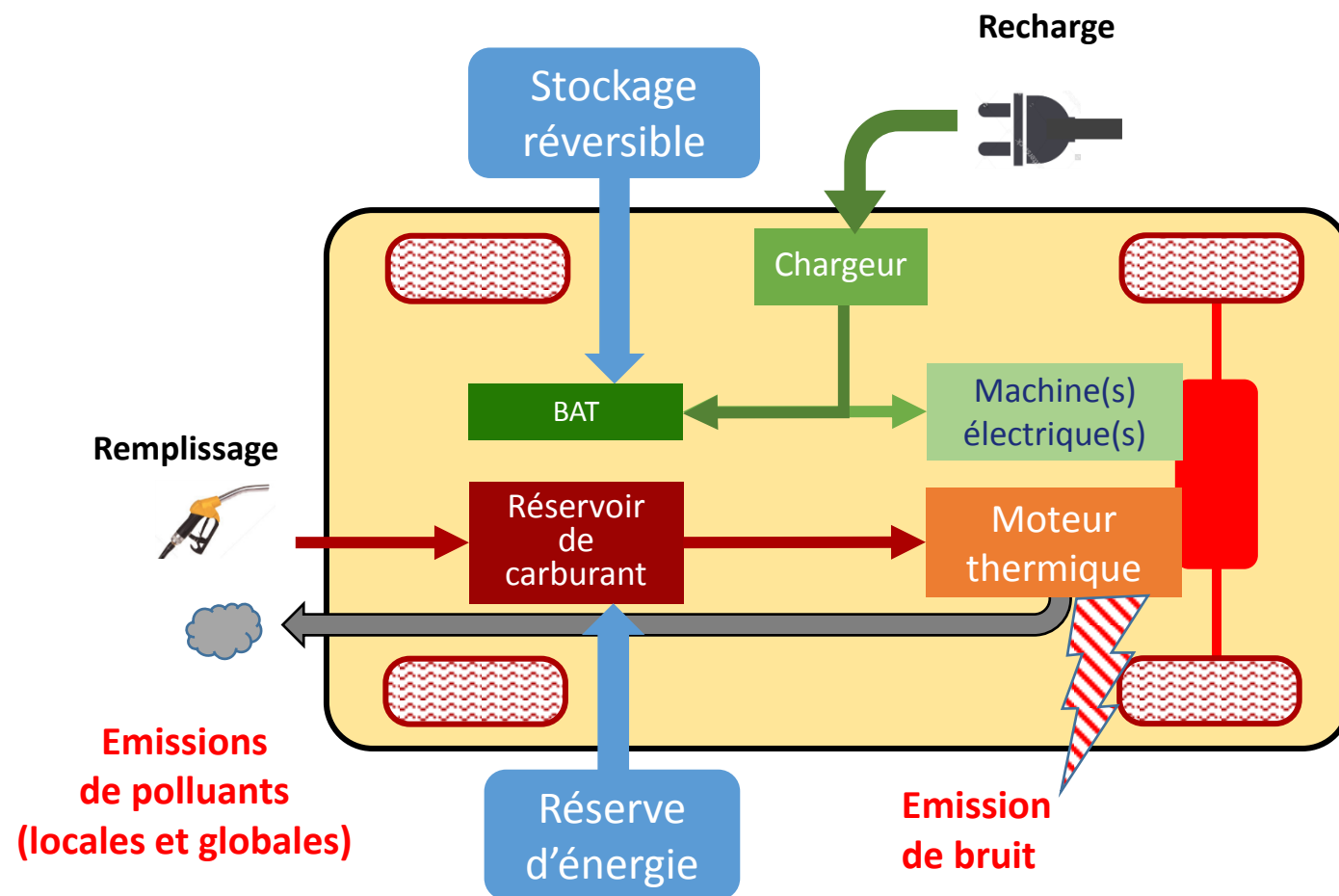
Le diagramme doit être lu pour la fin de vie du véhicule

-
- Emission de CO₂ en t eq**
- Distance en km**
- PRODUCTION** **USAGE** **FIN DE VIE**
- Essence**
- Diesel**
- Mix allemand**
- Mix Français**
- 6,5 t**
- 3,7 t**
- VP électrique 2012 - mix Fr** **VP électrique 2012 - mix All** **VP diesel 2012 - NEDC** **VP essence 2012 - NEDC**

Véhicule à motorisation hybride

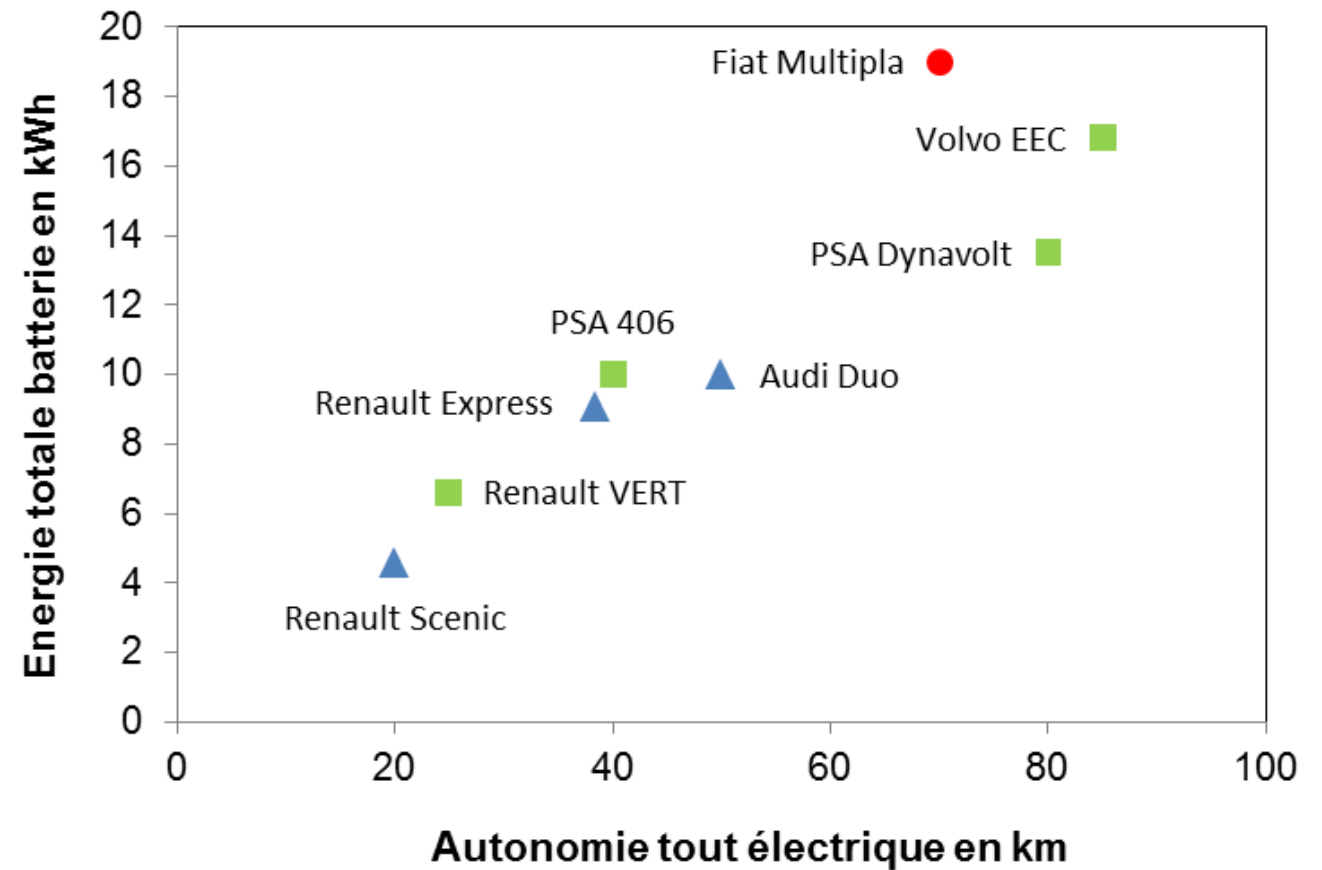
Principe

- **Synergie** entre les deux motorisations;
- **Optimisation** plus ou moins poussée des conditions de fonctionnement du moteur thermique :
 - **Stop & Start**;
 - **Boost et optimisation**;
 - **Mode tout électrique**.
- **Récupération au freinage**;
- **Un ou deux vecteur(s) énergétique(s)**



De nombreux projets dans les années 80s

- Rechargeables;
- Autonomie tout électrique;
- Variété d'architectures;
- Variété de performances



Des projets au marché !

● La batterie, et sa taille, posent problème, notamment :

- Coût;
- Gestion;
- Longévité;
- Infrastructure;
-

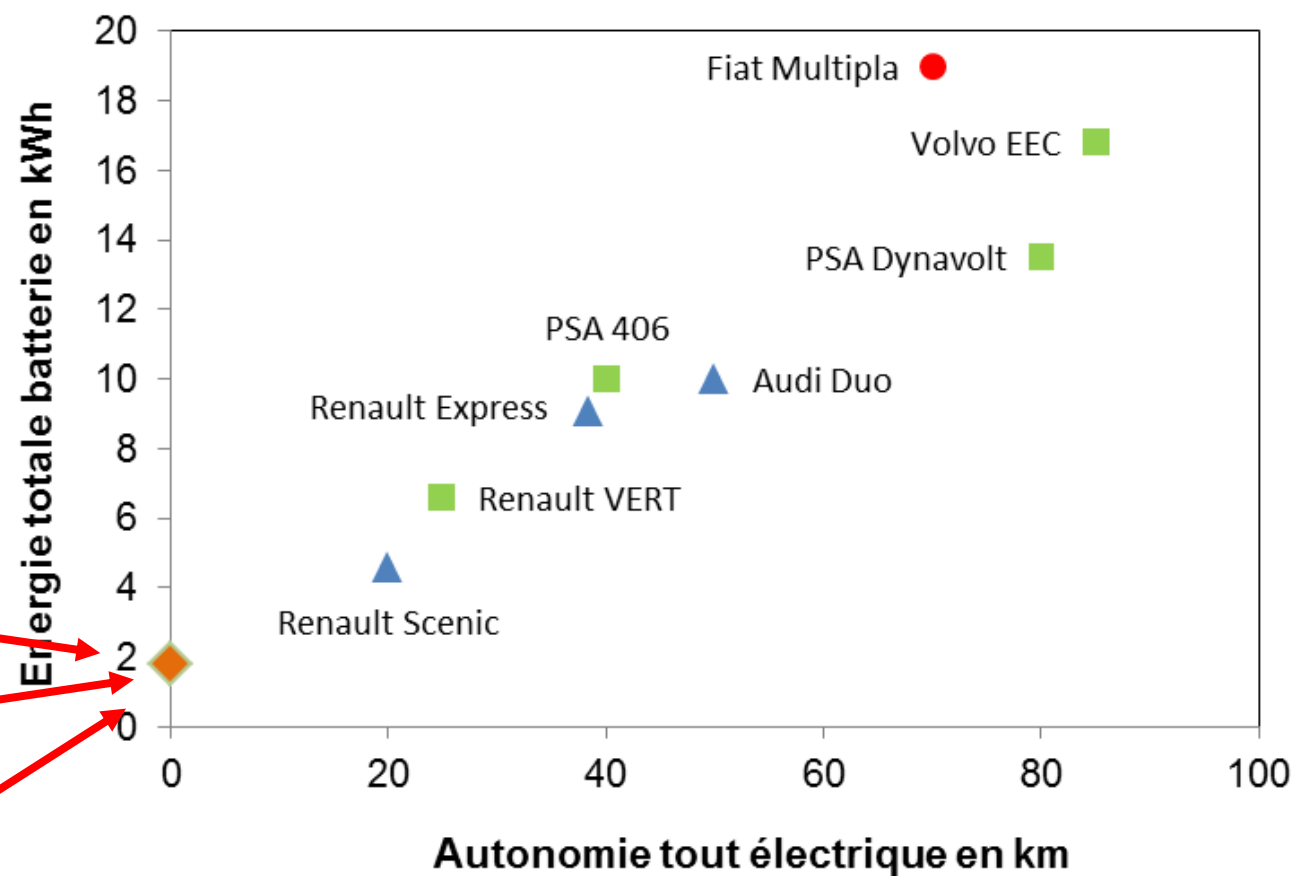
Toyota Prius



Honda Insight



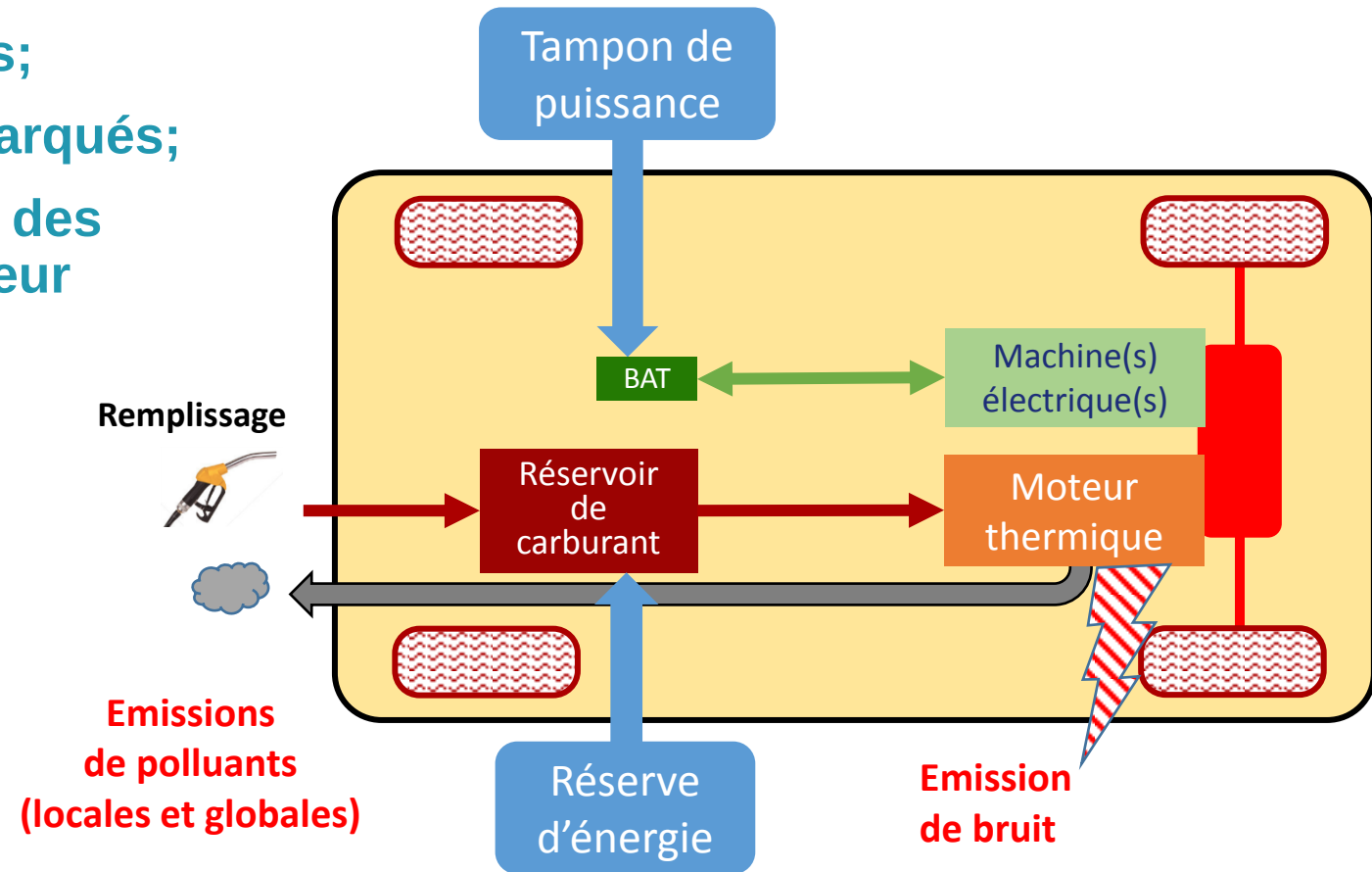
Nissan Tino



Exemple de Toyota

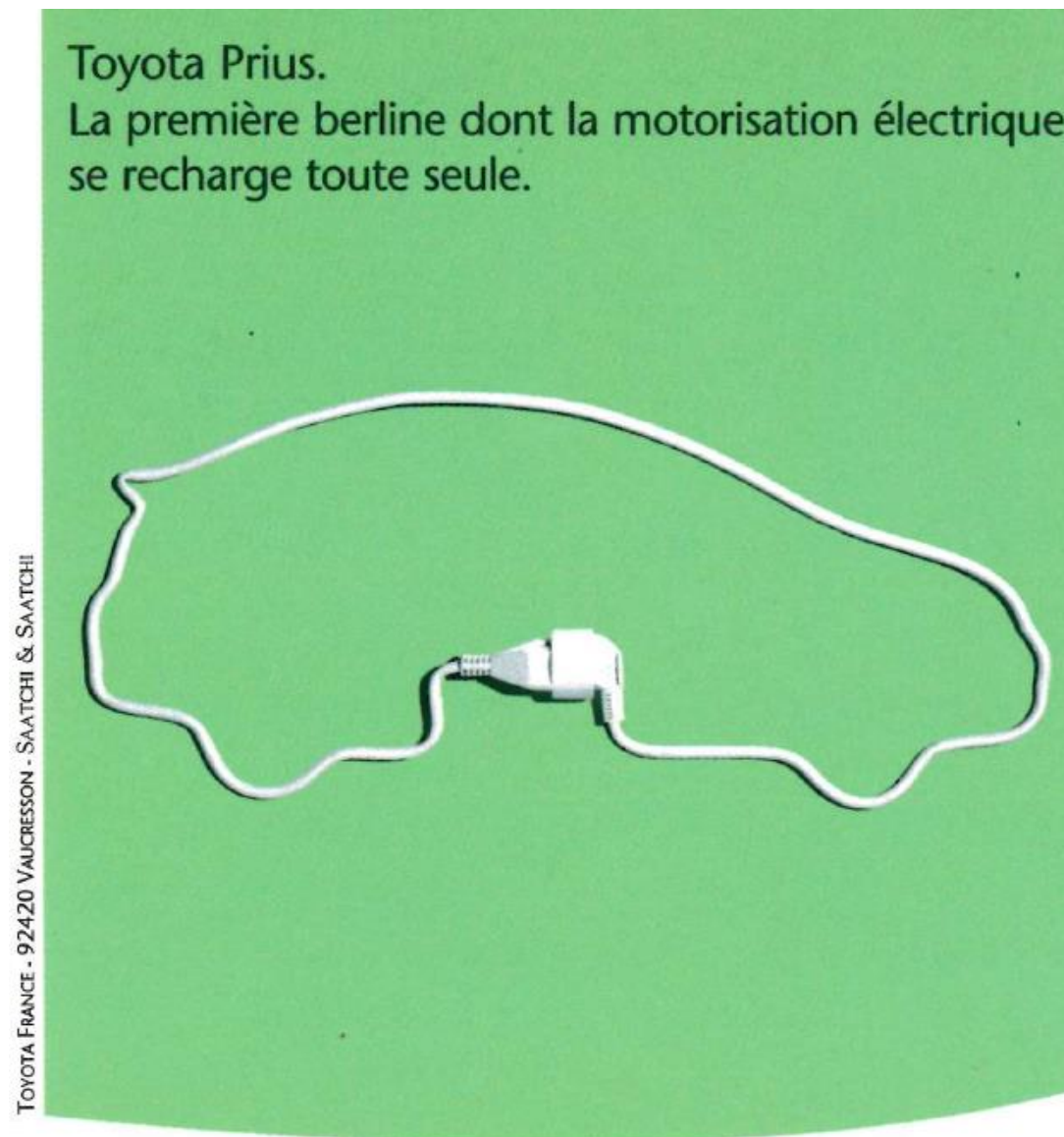
Décembre 1997, une rupture (1/2)

- **Synergie** entre les deux motorisations;
- **Complémentarité** des stockages embarqués;
- **Optimisation** plus ou moins poussée des conditions de fonctionnement du moteur thermique :
 - **Stop & Start;**
 - **Boost et optimisation;**
 - **Mode tout électrique**
- **Récupération au freinage;**
- **Un vecteur énergétique**



Décembre 1997, une rupture (2/2)

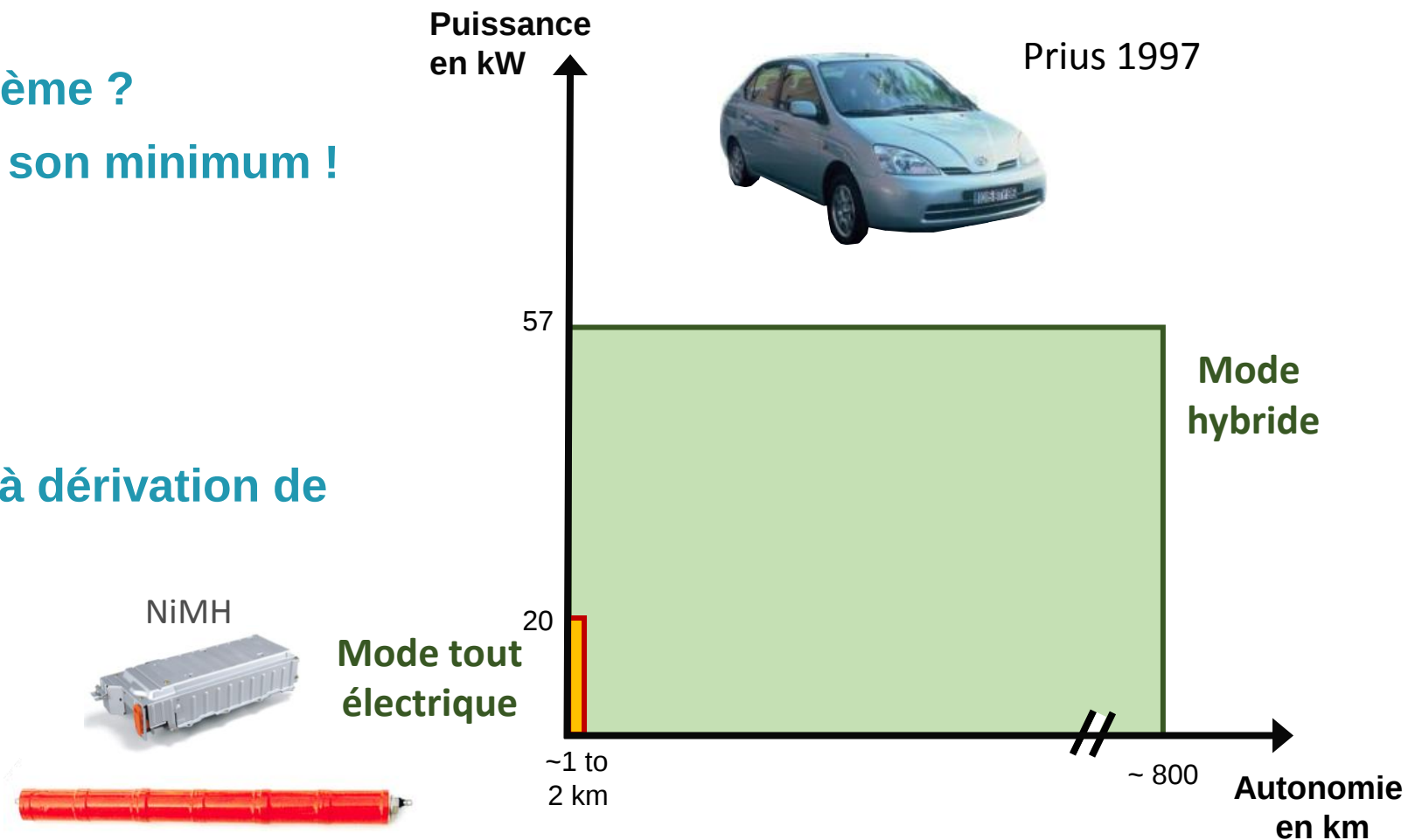
SUSTAINABLE MOBILITY



Toyota ~2007

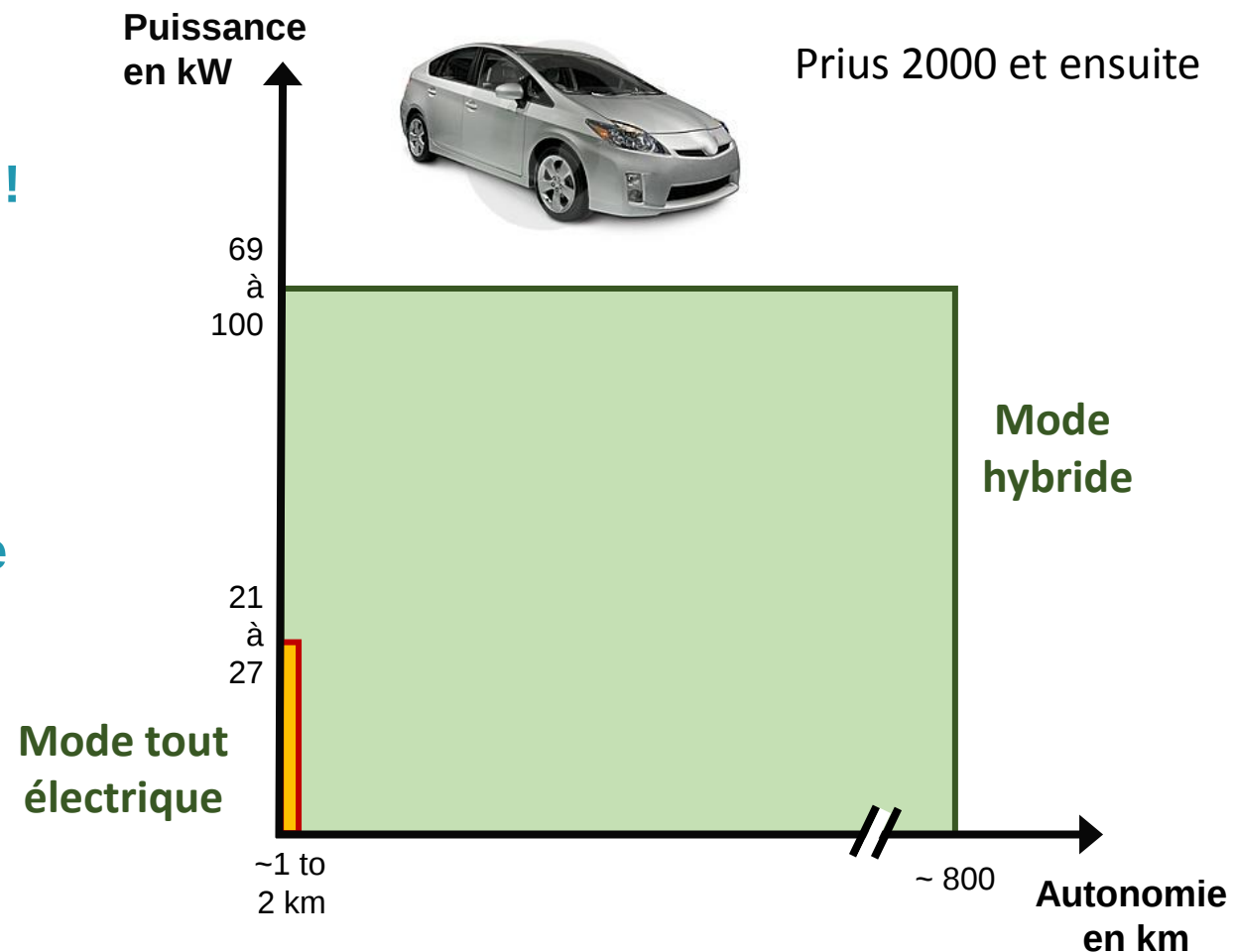
Toyota, premier sur le marché (1/2)

- La batterie est un problème ?
- Réduisons la batterie à son minimum !
- Tampon de puissance :
 - NiMH;
 - 1,9 kWh nominal;
 - ~20 kW;
- Architecture complexe à dérivation de puissance (e-CVT)



Toyota, premier sur le marché (2/2)

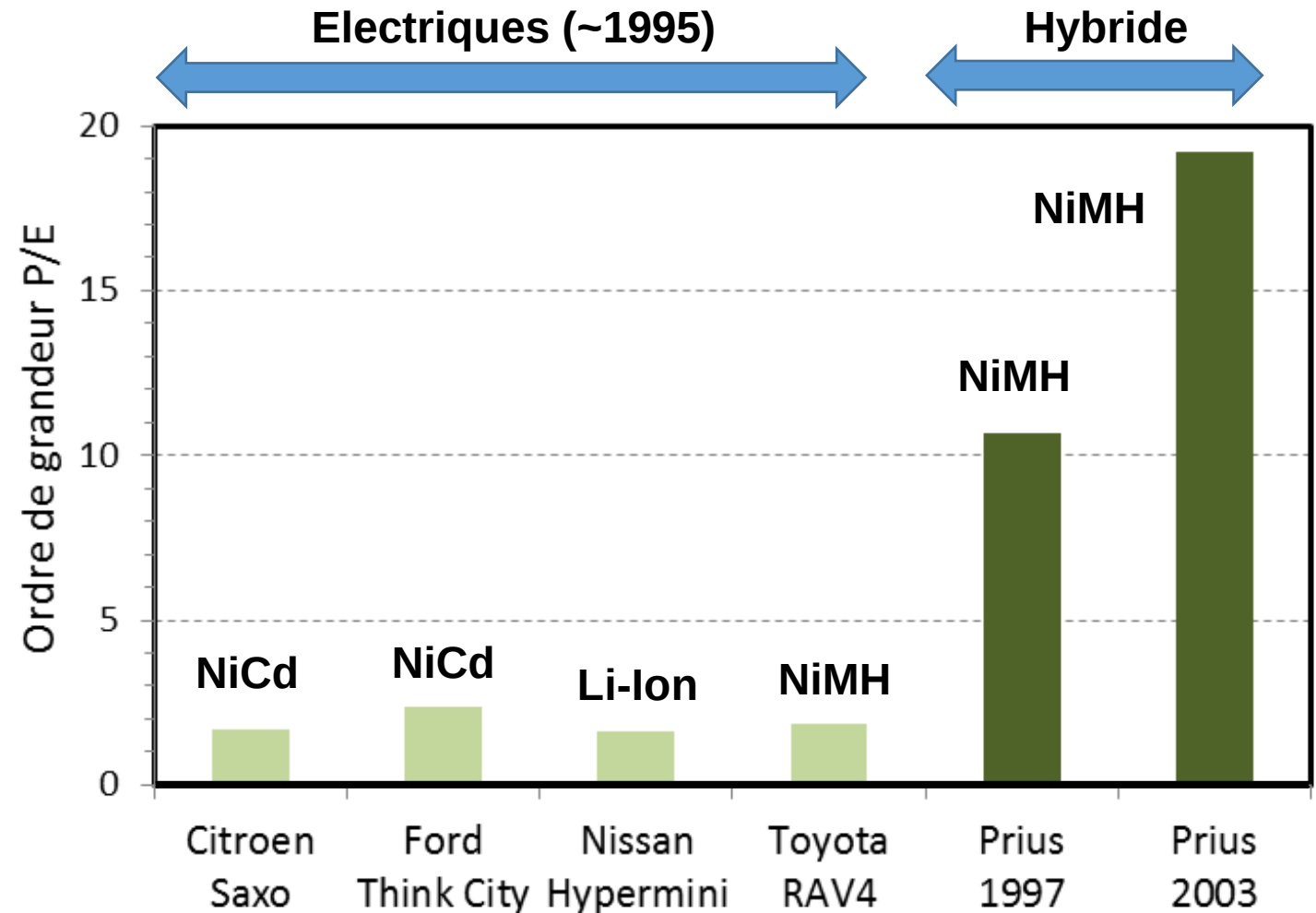
- La batterie est un problème ?
- Réduisons la batterie à son minimum !
- Tampon de puissance :
 - NiMH;
 - 1,3 kWh nominal;
 - ~21 à 27 kW
- Architecture complexe à dérivation de puissance (e-CVT)



Dimensionnement spécifique de la batterie en hybride

SUSTAINABLE MOBILITY

- **Tampon** de puissance;
- **Typage** spécifique;
- **Rapport :**
Puissance / Energie
(P/E)



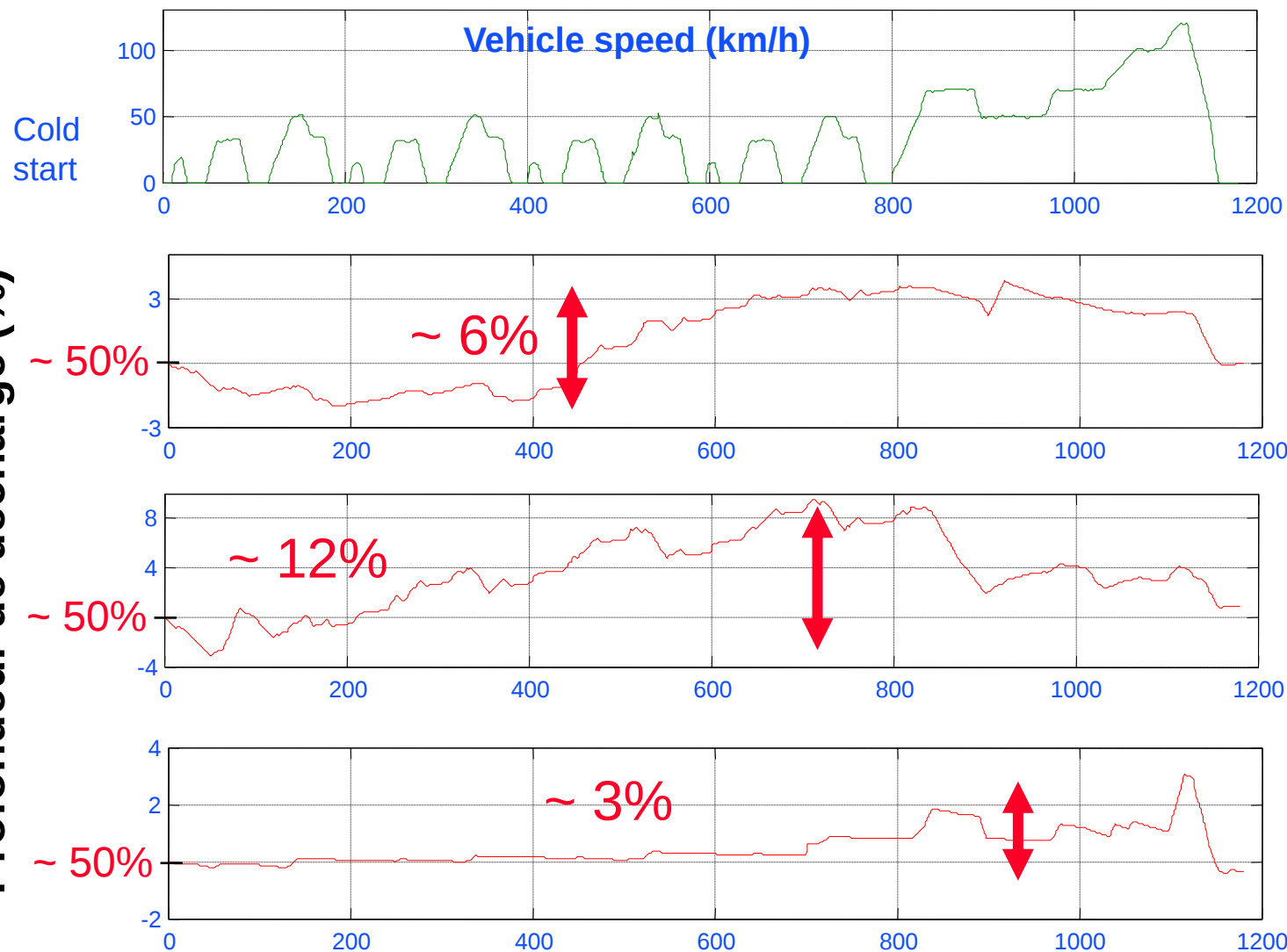
Usage spécifique de la batterie en hybride

SUSTAINABLE MOBILITY

- Etat de charge **maintenu** autour d'une **valeur moyenne**.

Etude ADEME – IFP - INRETS

Profondeur de décharge (%)



ADEME



Prius 1

Tino



Insight



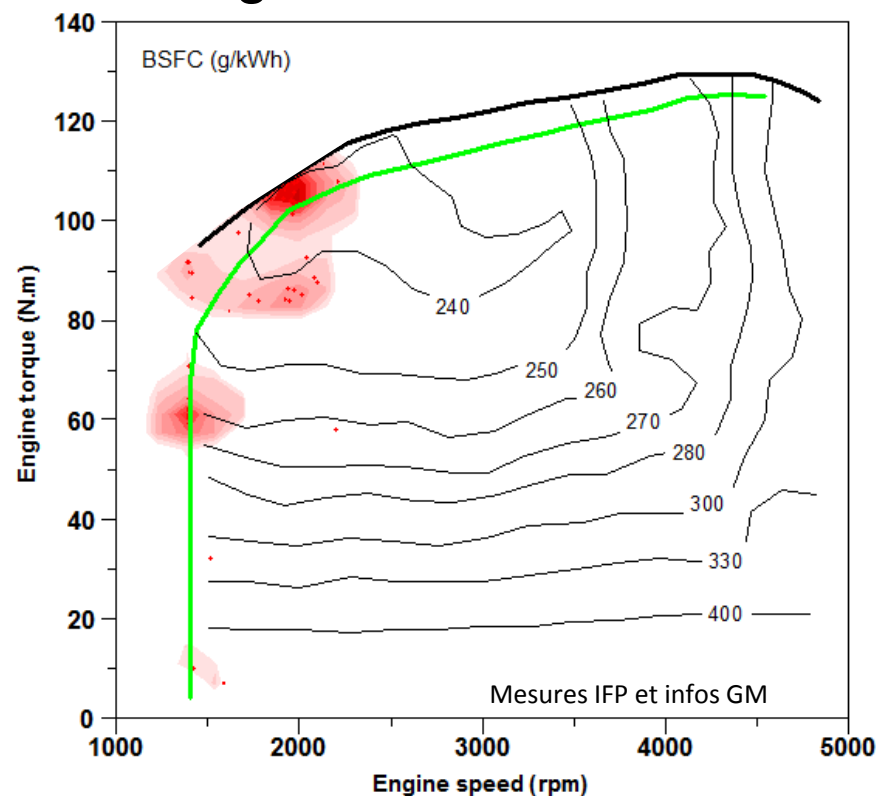
Conséquence sur la plage de fonctionnement du moteur thermique

SUSTAINABLE MOBILITY

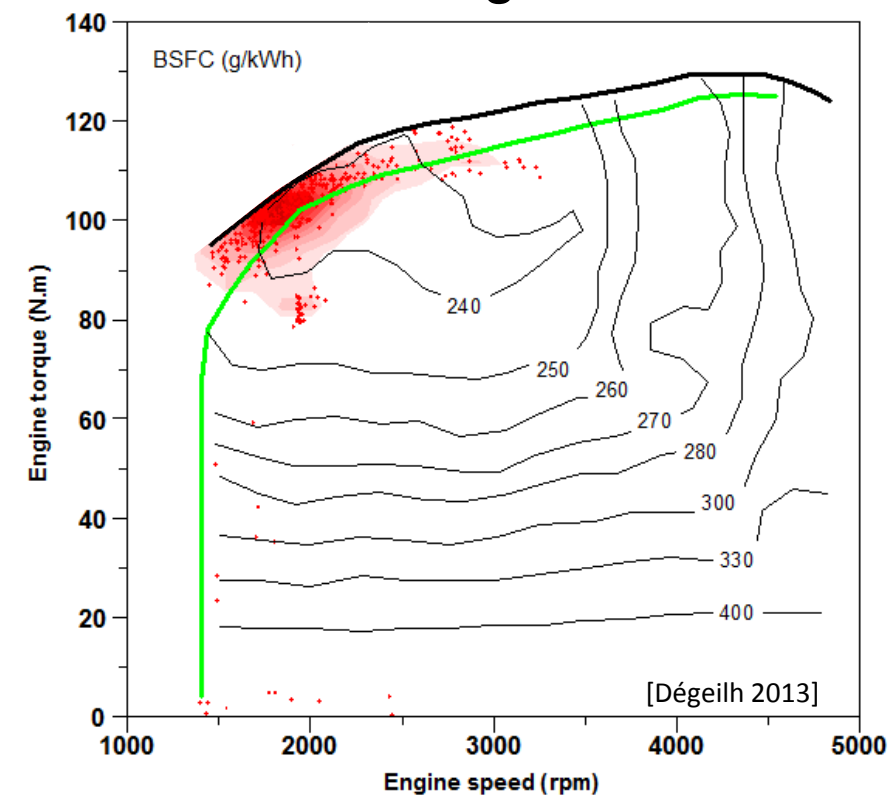
- Réduction de la plage d'utilisation du moteur;
- Maintien dans les zones de meilleur rendement



Usage urbain



Usage extra-urbain



Mesures sur banc à rouleau

Toyota, premier succès sur le marché



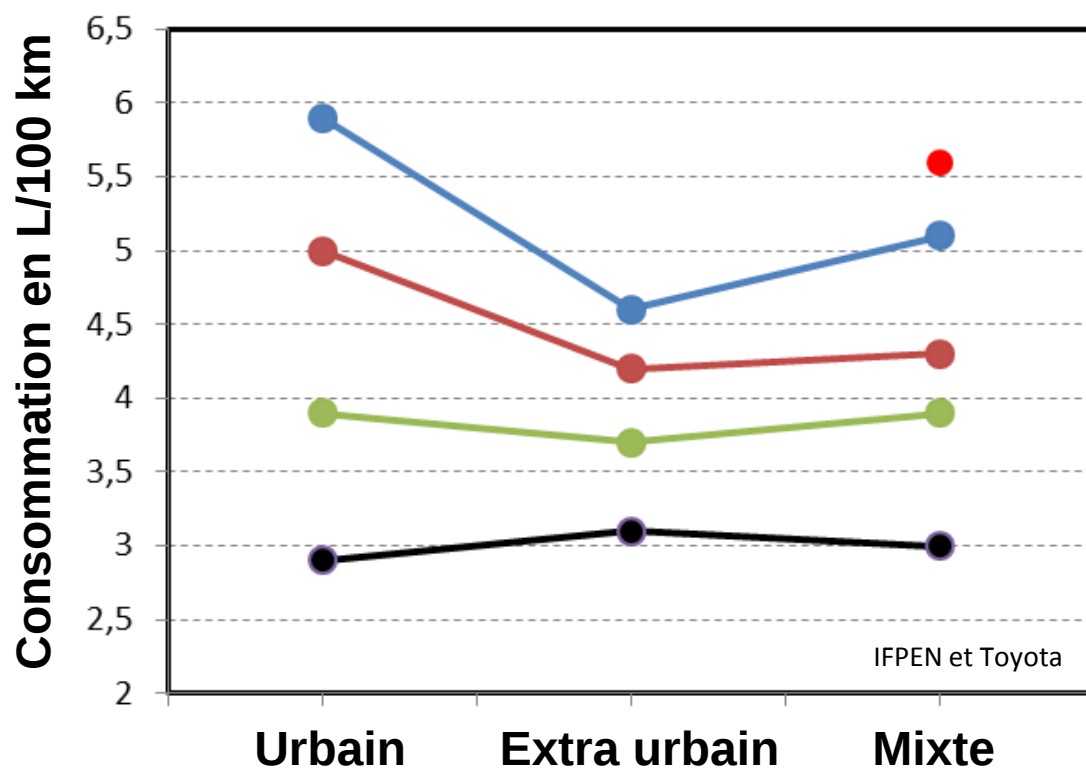
SUSTAINABLE MOBILITY

- 20 ans et 10 millions de véhicules plus tard ;

● Evolutions de la Prius



www.auto-innovation.com



Prius 0
1997



Prius 1
2000



Prius 2
2003



Prius 3
2009



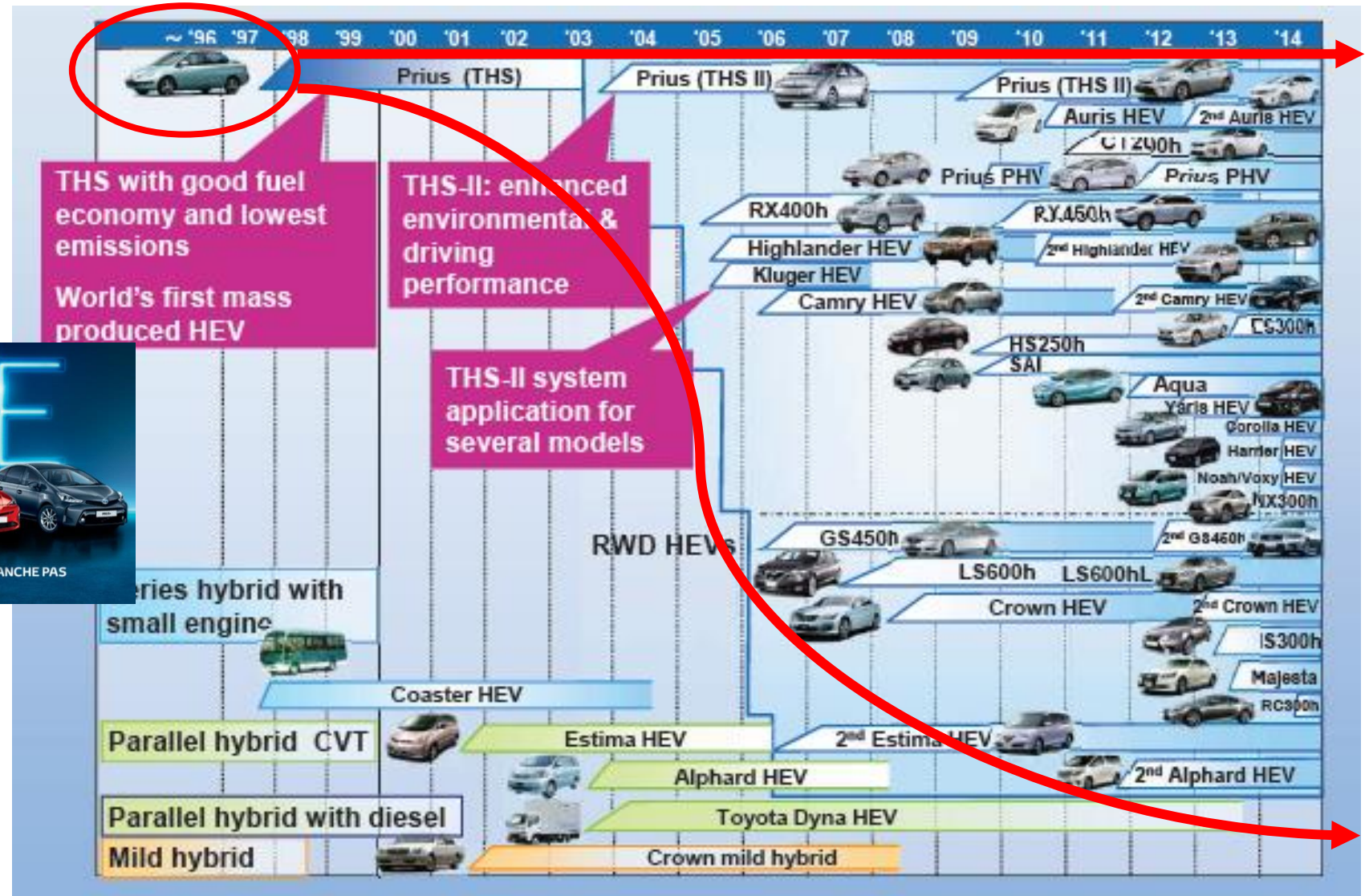
Prius 4
2016



Toyota

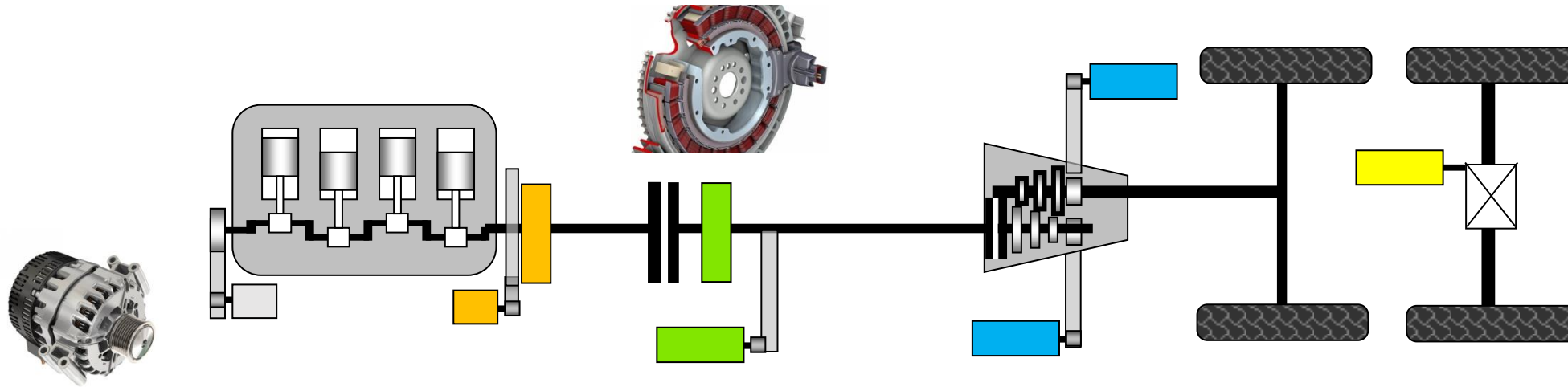
Extension progressive de la gamme hybride

SUSTAINABLE MOBILITY



Maintenant une très grande variété d'architectures proposées sur le marché

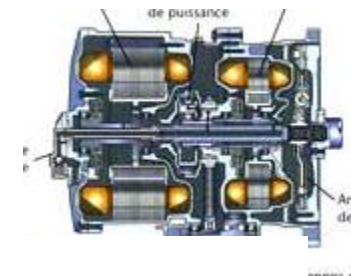
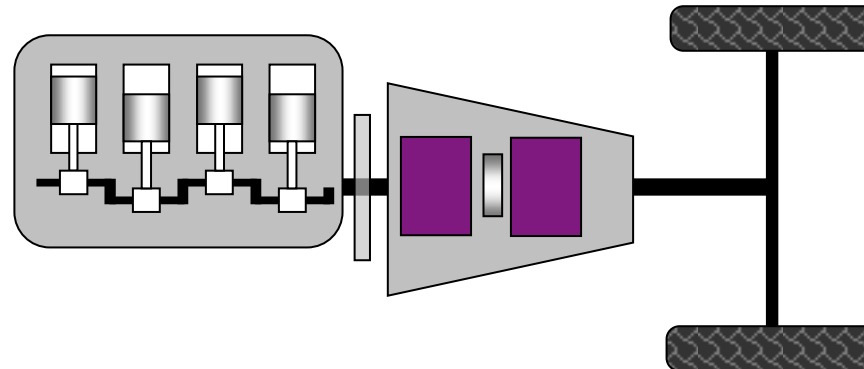
SUSTAINABLE MOBILITY



PS or DHT*

Power Split
2 E-Machine and a
planetary gear set inside
the gearbox

* Dedicated Hybrid Transmission



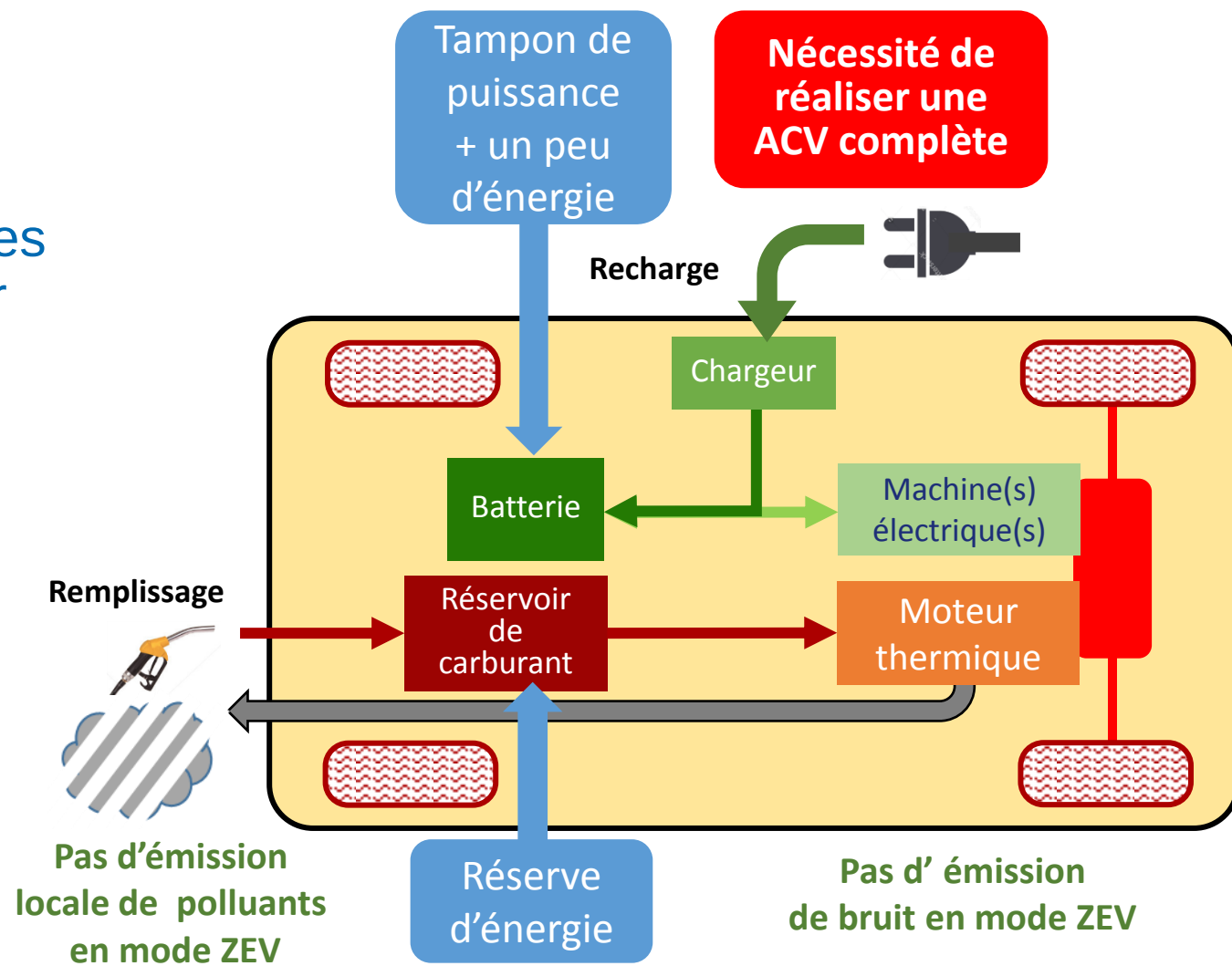
MG1
Oil Pump
MG2
Counter Drive Gear
Compound Gear
Power Split
Planetary Gear
Counter Driven Gear
Drive Pinion Gear
Motor Speed
Reduction
Gear
Differential
Ring Gear
Differential

Véhicule à motorisation hybride rechargeable

Véhicule à motorisation hybride rechargeable

SUSTAINABLE MOBILITY

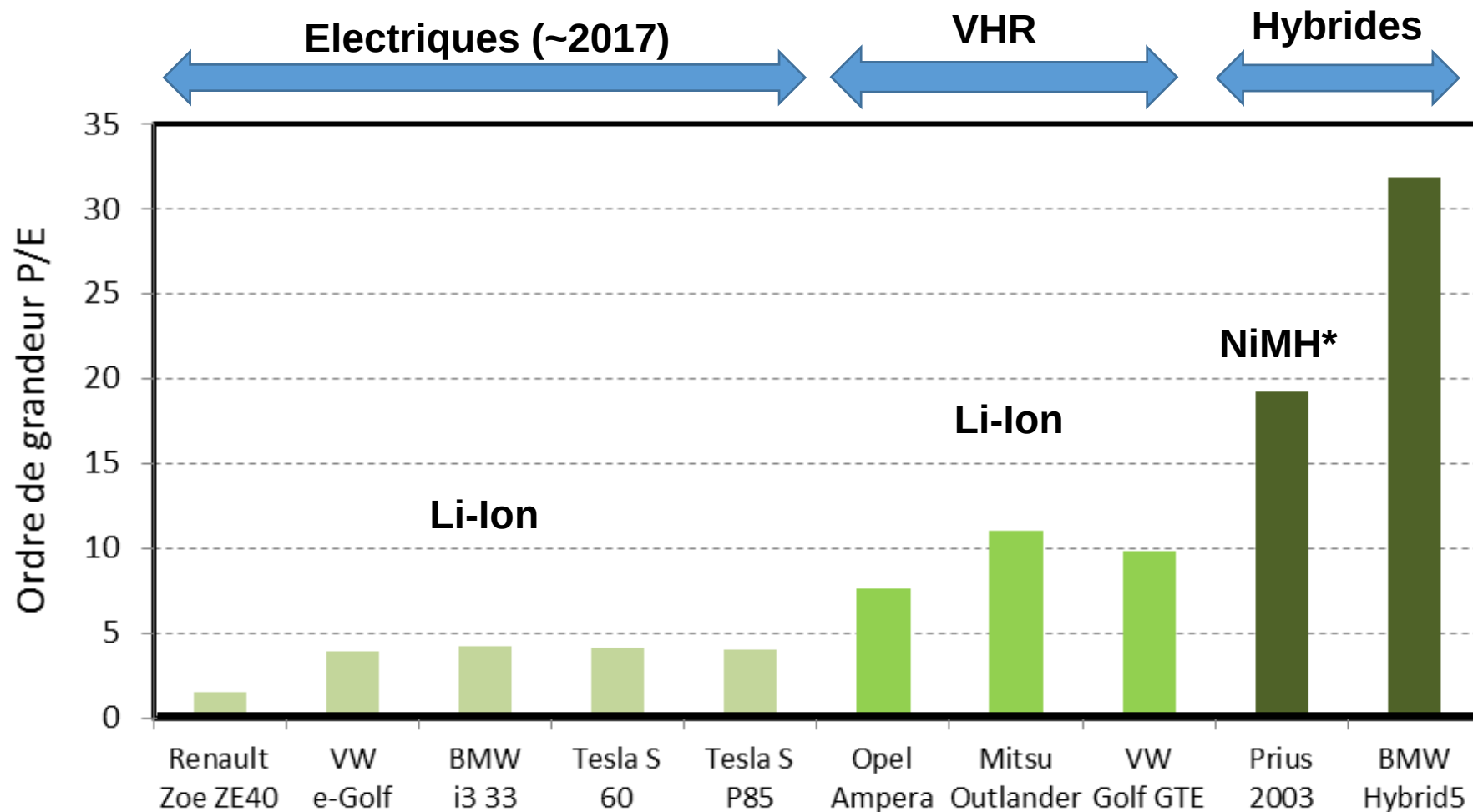
- **Synergie** entre les deux motorisations;
- **Optimisation** plus ou moins poussée des conditions de fonctionnement du moteur thermique :
 - Stop & Start;
 - Boost et optimisation;
 - Mode tout **électrique avec autonomie**.
- Récupération au freinage
- Deux vecteurs énergétiques



Dimensionnement intermédiaire de la batterie en hybride rechargeable

SUSTAINABLE MOBILITY

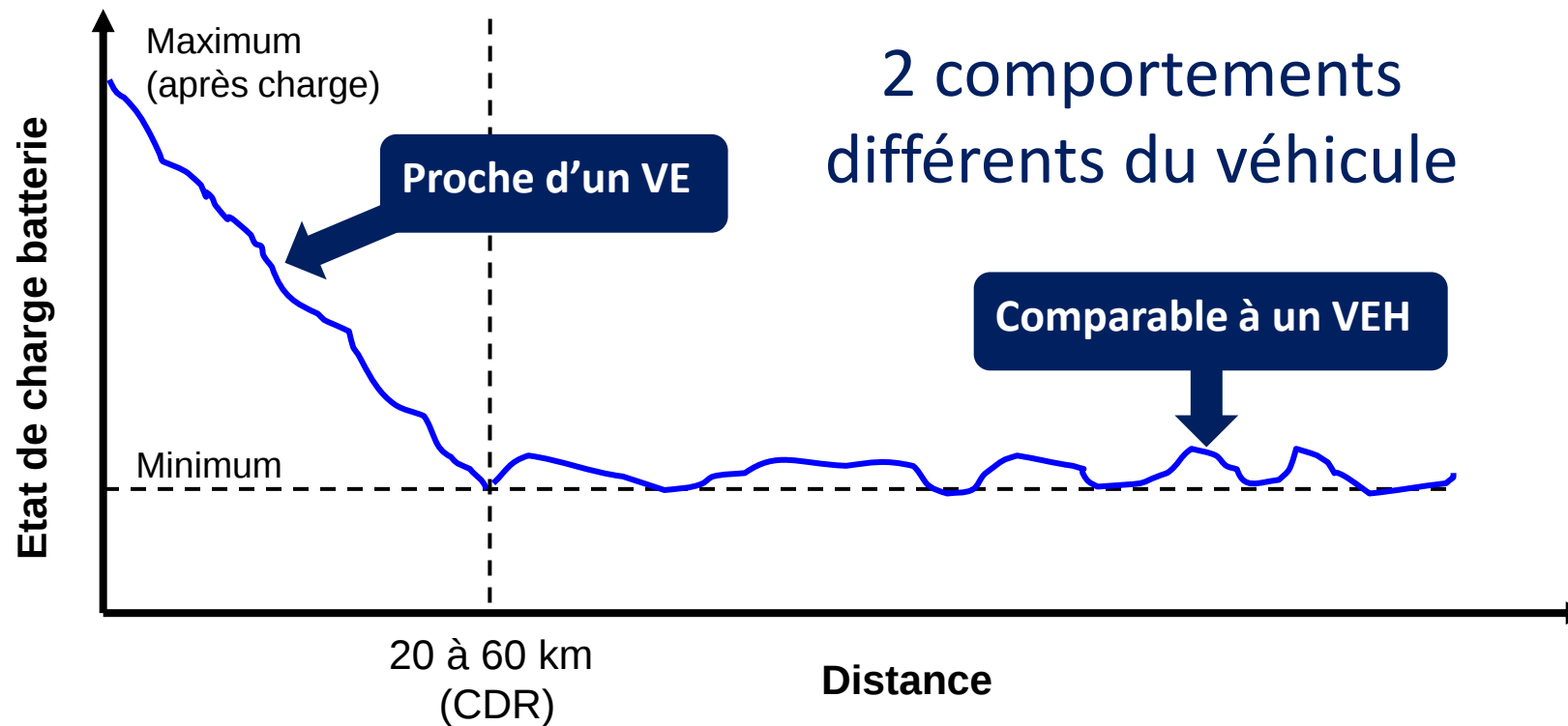
- Tampon de puissance;
- Stockage d'énergie (limité);
- Quelques exemples



* : Li-Ion sur Prius 2016 US

Véhicule à motorisation hybride rechargeable

- Décharge progressive de la batterie (*Charge Depleting - CD*)
- Maintien de la charge à son minimum autorisé (*Charge Sustaining – CS*)



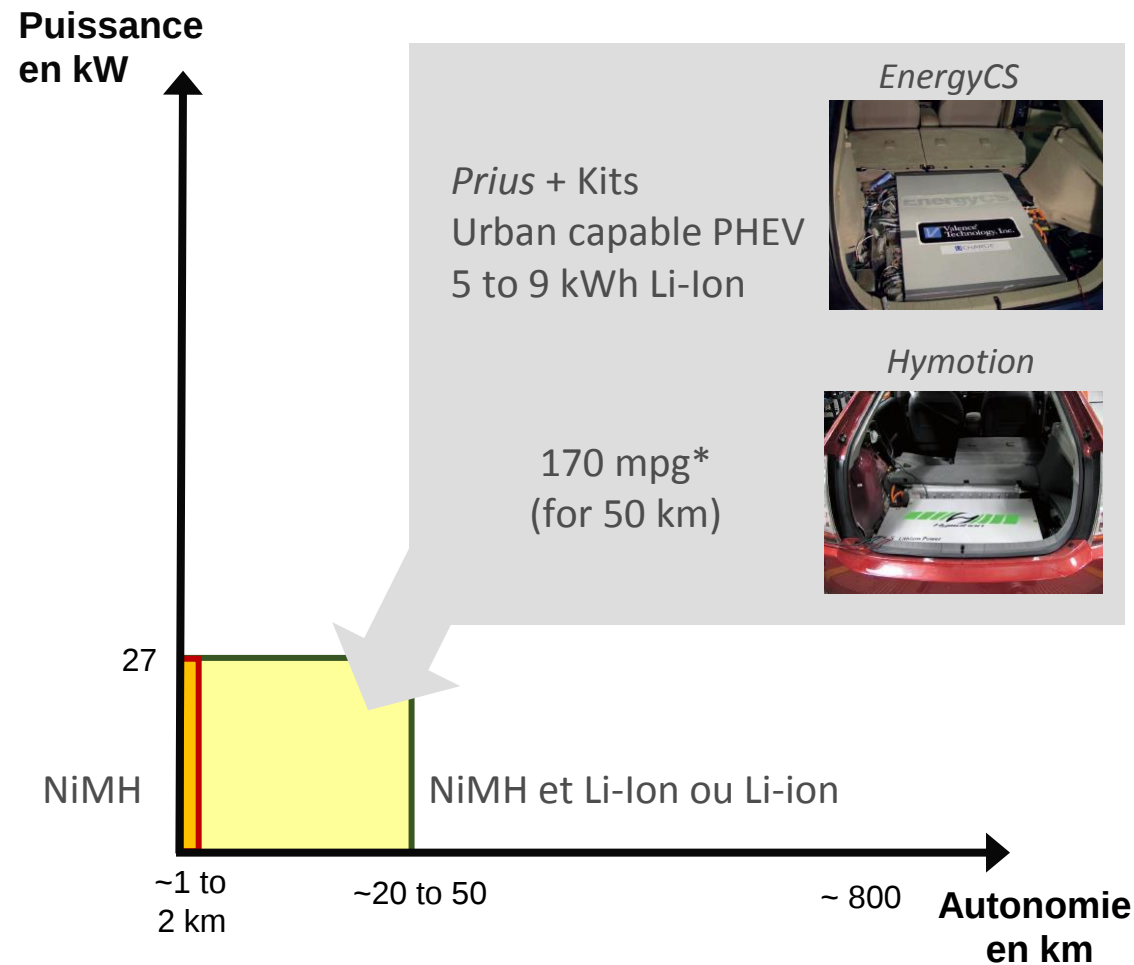
Véhicule à motorisation hybride rechargeable

SUSTAINABLE MOBILITY

- Mode tout électrique avec autonomie ;
- Recharge réseau ;
- Les pionniers sur le marché :
 - Kit de modification de Prius
 - EnergyCS;
 - Hymotion...



2,4 L/100 km

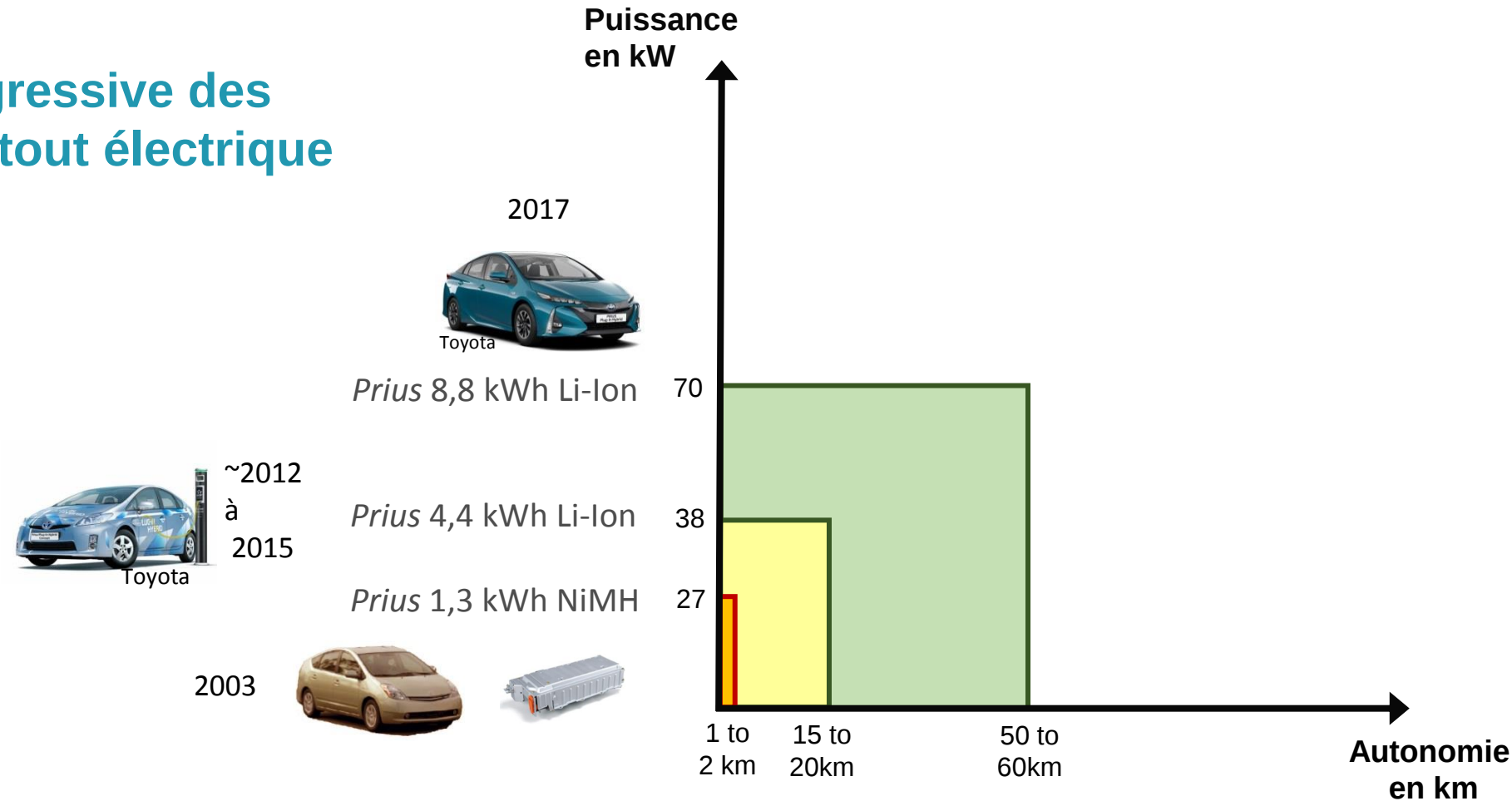


* : 1,4 L/100 km

Véhicule à motorisation hybride rechargeable

SUSTAINABLE MOBILITY

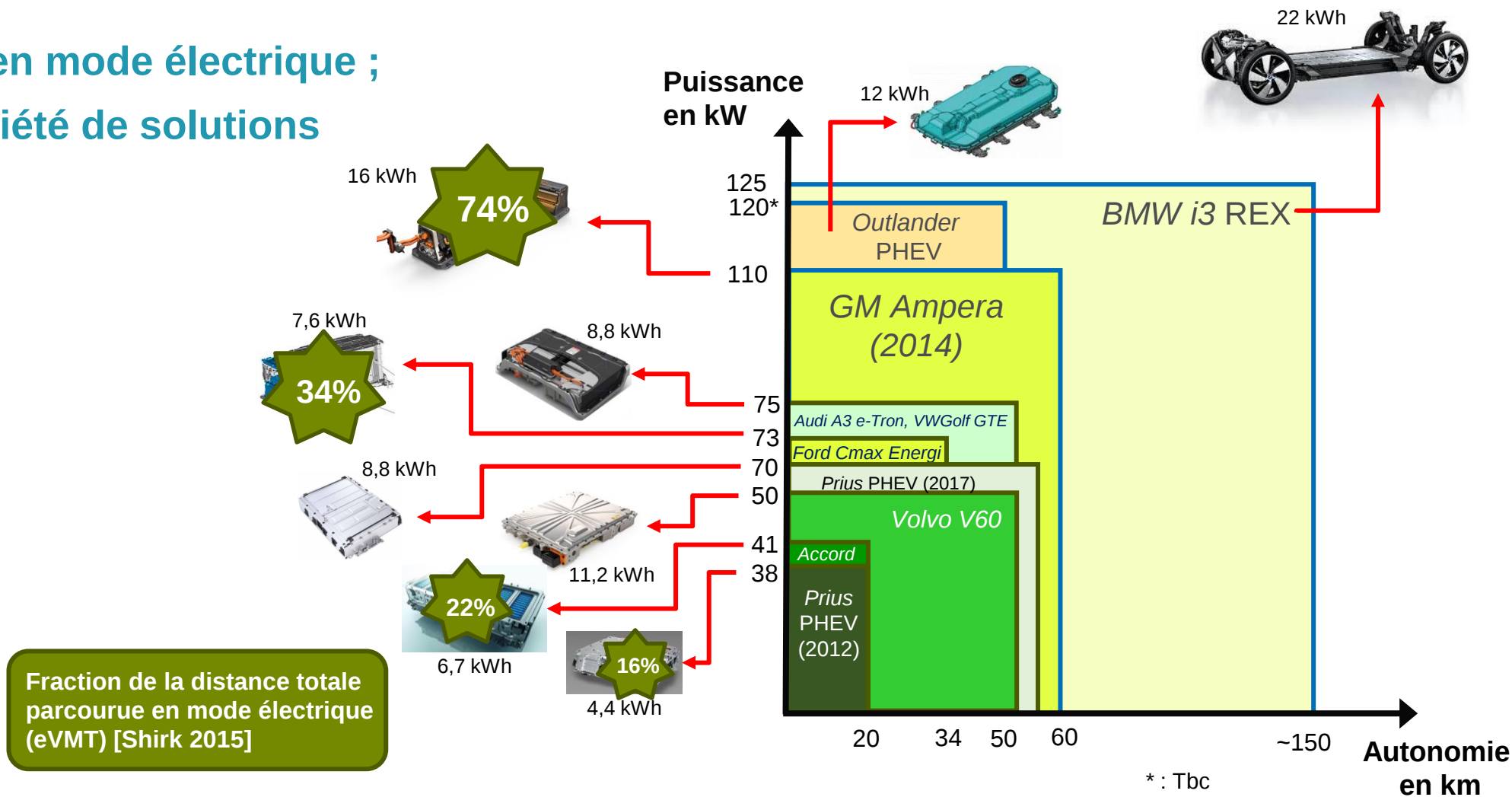
- Toyota Prius VHR ;
- **Augmentation** progressive des capacités du mode tout électrique



Véhicule à motorisation hybride rechargeable

SUSTAINABLE MOBILITY

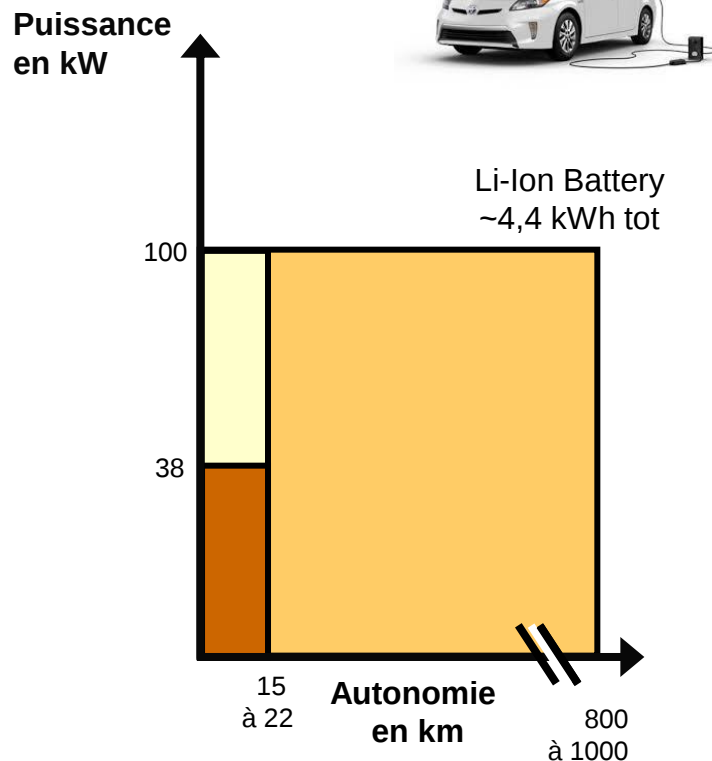
- Performances en mode électrique ;
- Une grande variété de solutions



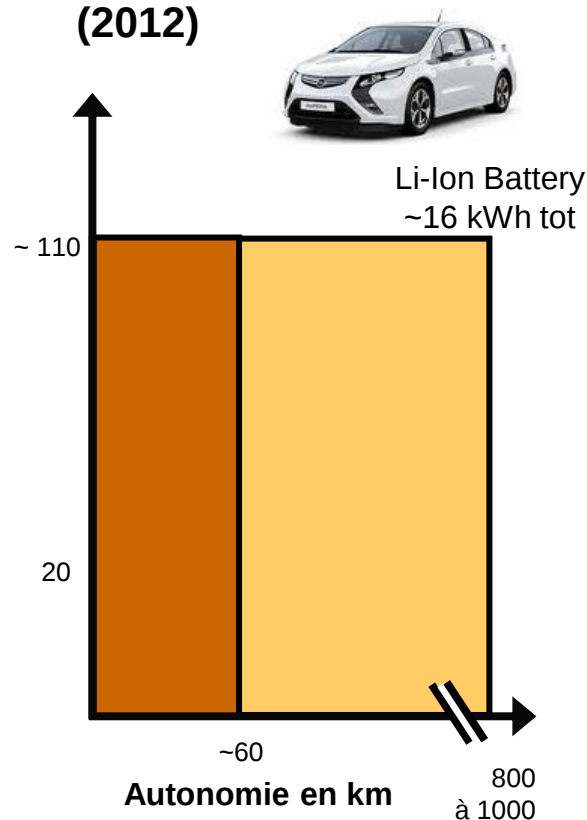
Véhicule à motorisation hybride rechargeable

Récapitulatif des performances

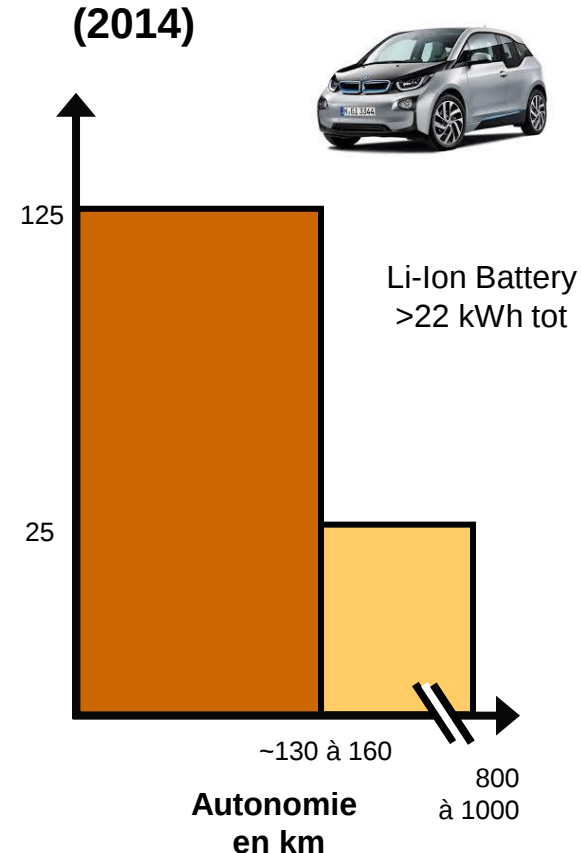
■ Blended Plug-in Prius (2013)



■ No compromise GM Volt, Opel Ampera (2012)



■ Range extender BMW i3 Range Extender (2014)



Hybrid mode in
charge depleting

Hybrid mode in
charge sustaining

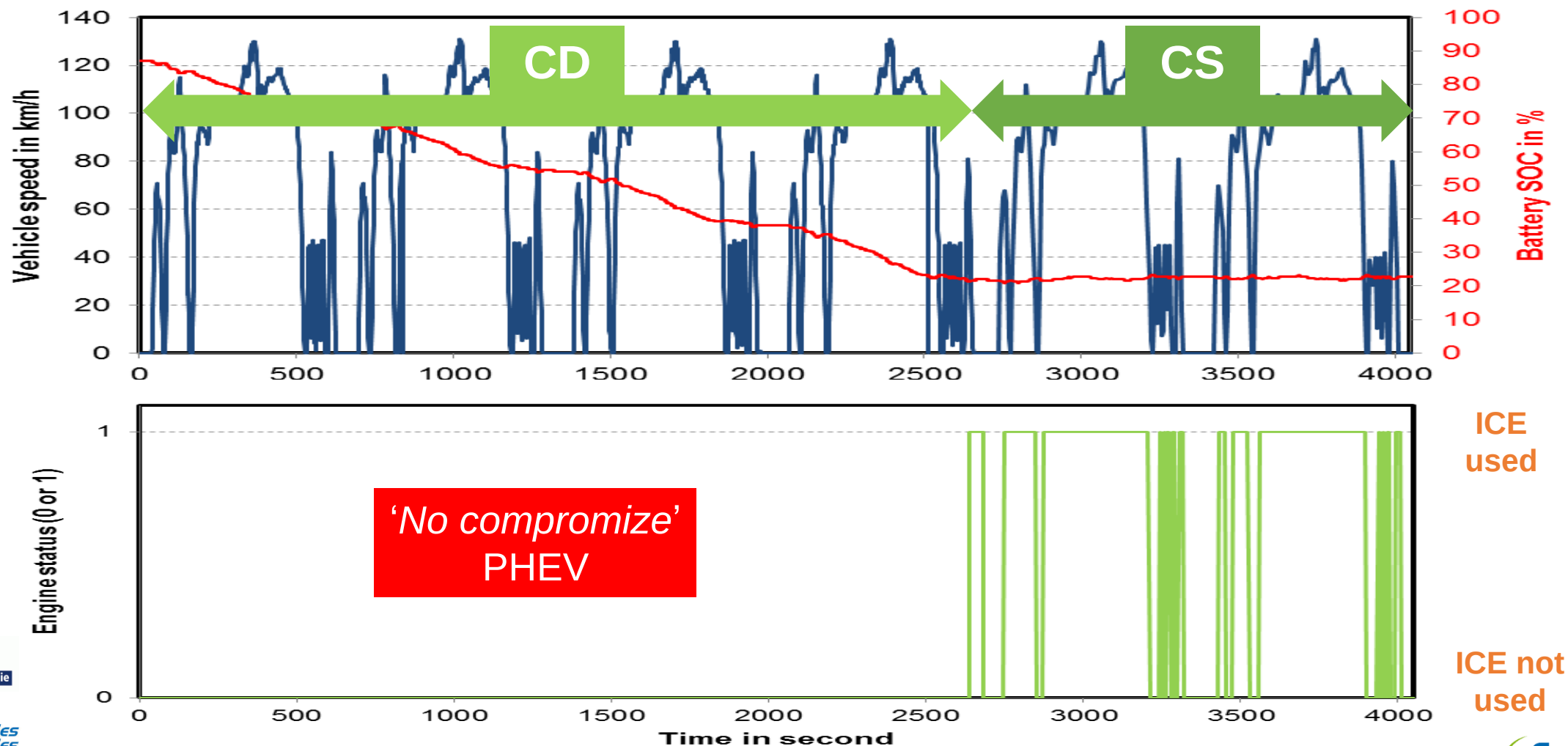
All electric mode

Spécificité du mode tout électrique



SUSTAINABLE MOBILITY

- Toutes les performances sans le moteur thermique (Opel Ampera on US06 cycle)



PSA PEUGEOT CITROËN

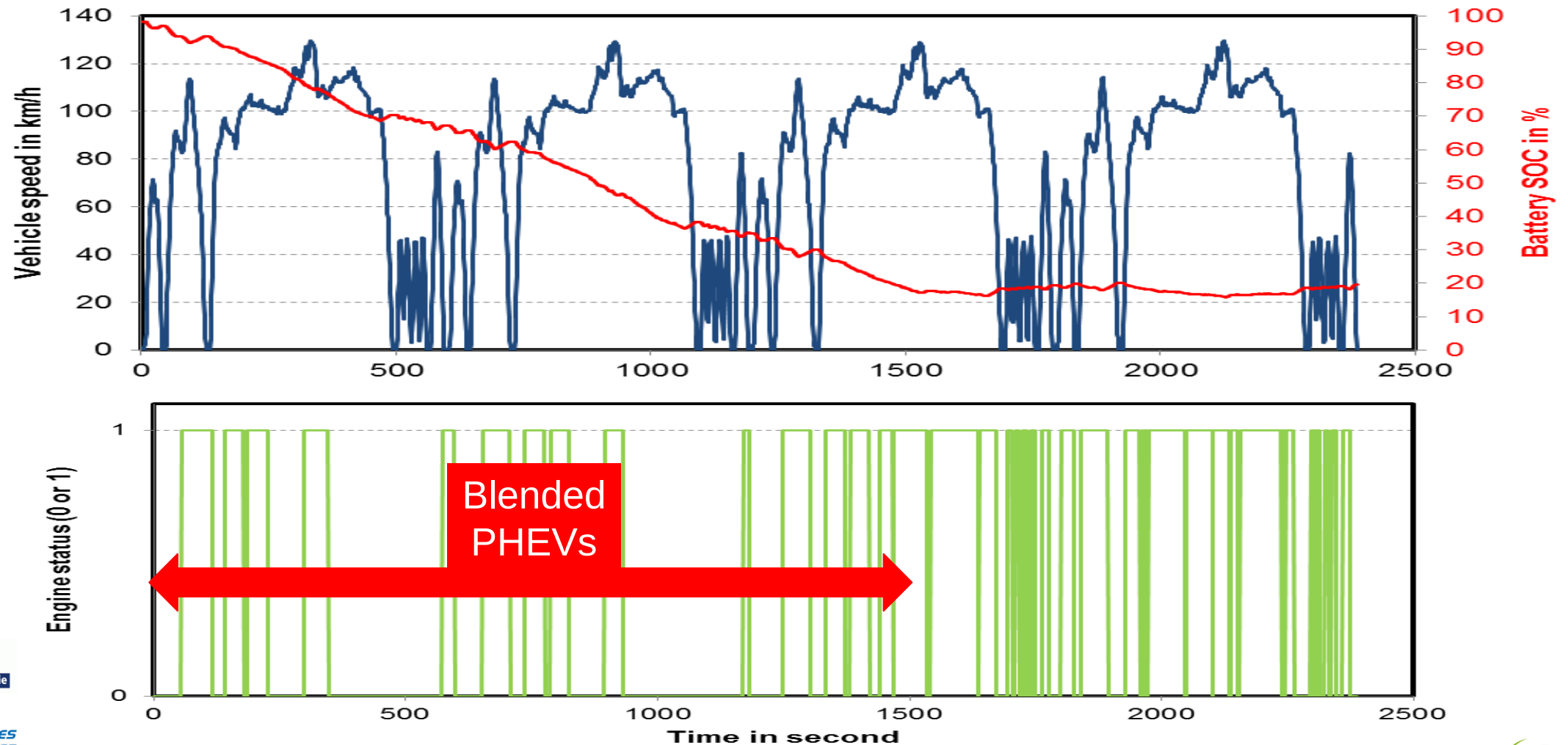


Spécificité du mode tout électrique



SUSTAINABLE MOBILITY

- Nécessité du moteur thermique (Ford Fusion on US06 cycle)



PSA PEUGEOT CITROËN

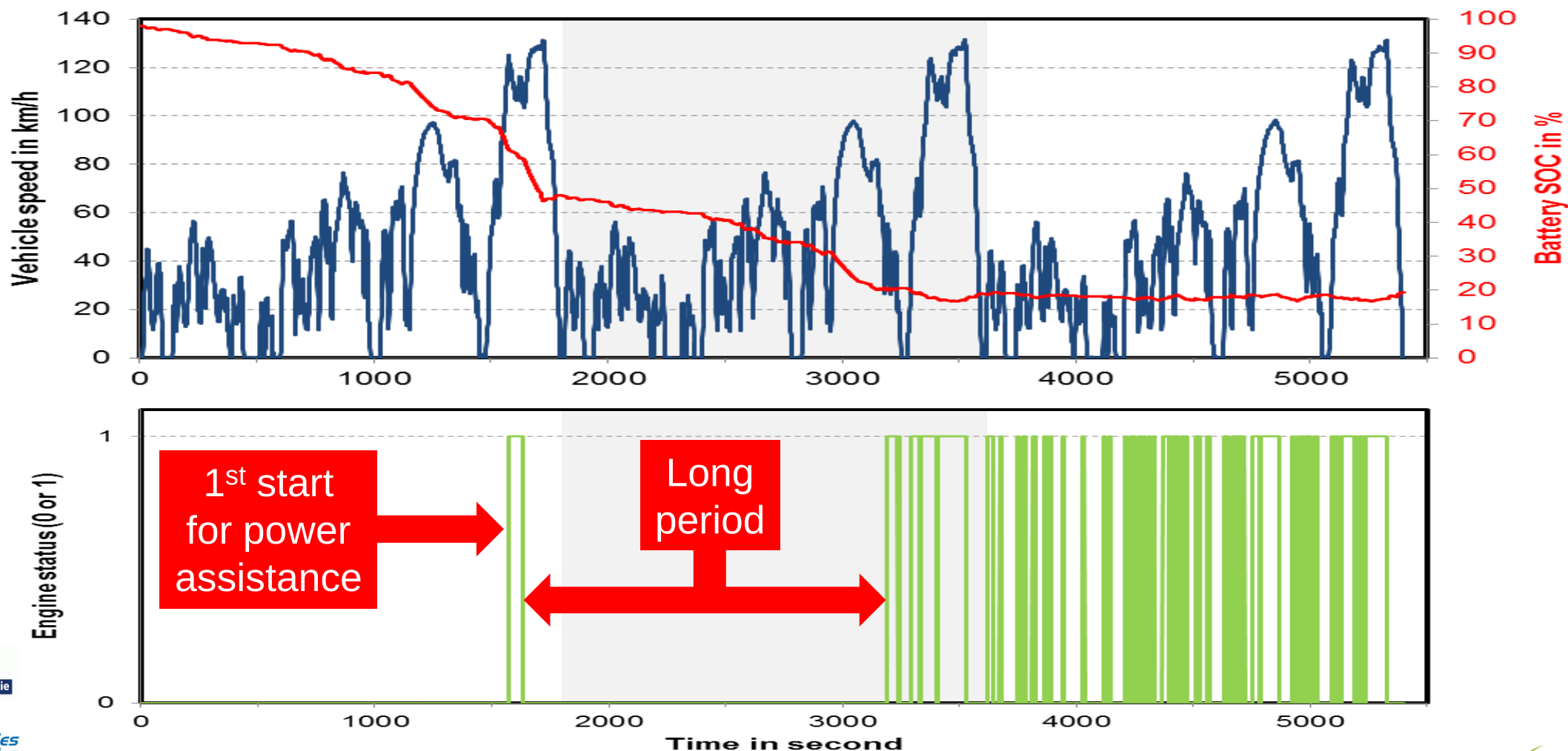


Spécificité du mode tout électrique



SUSTAINABLE MOBILITY

- Usage possible du moteur thermique (Ford Fusion on WLTC procedure)



PSA PEUGEOT CITROËN

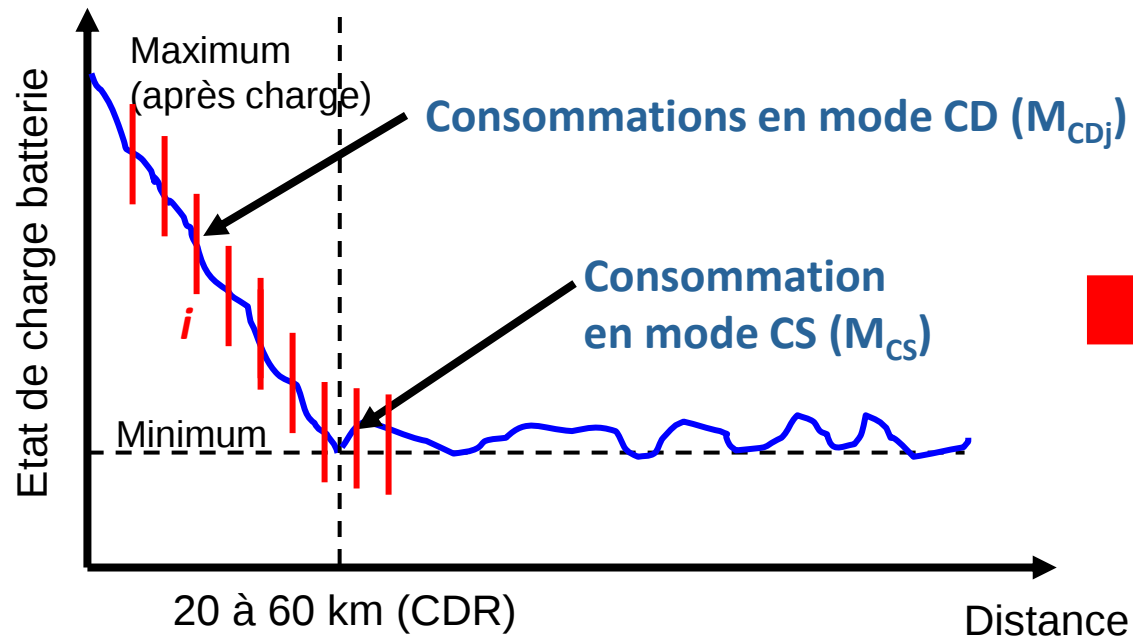


Procédure d'évaluation de la conso d'un VHR

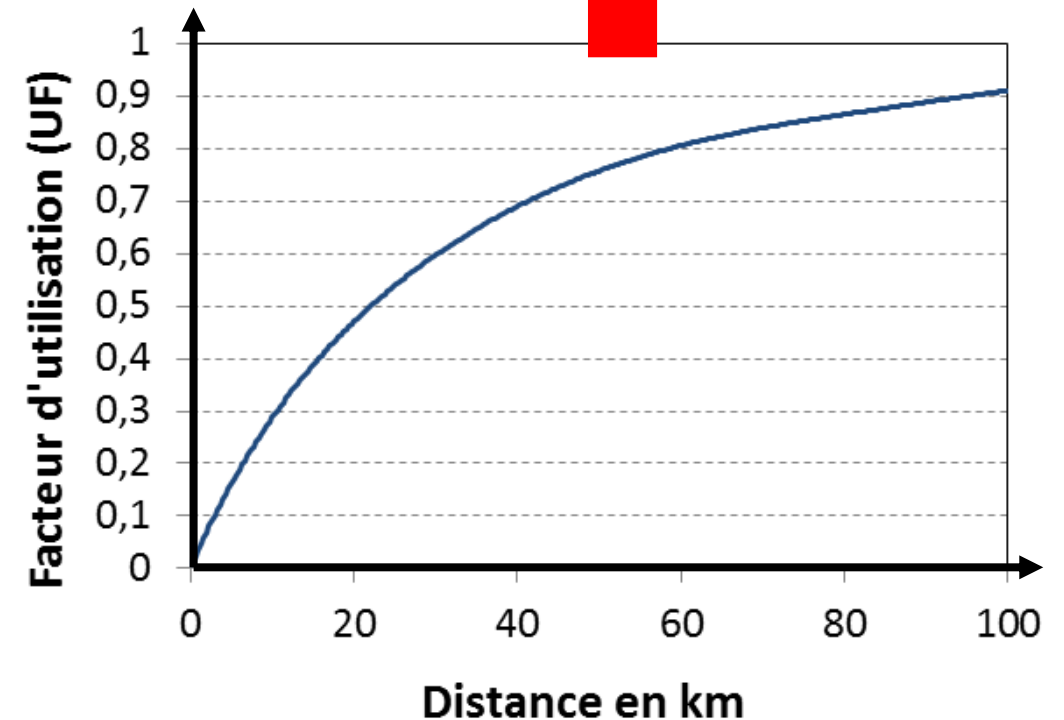
● Calcul pondéré

$$M_{i,weighted} = \sum_{j=1}^k (UF_j * M_{i,CD,j}) + \left(1 - \sum_{j=1}^k UF_j\right) * M_{i,CS}$$

Succession de k cycles jusqu'à atteindre l'état de charge mini (passage en CS)

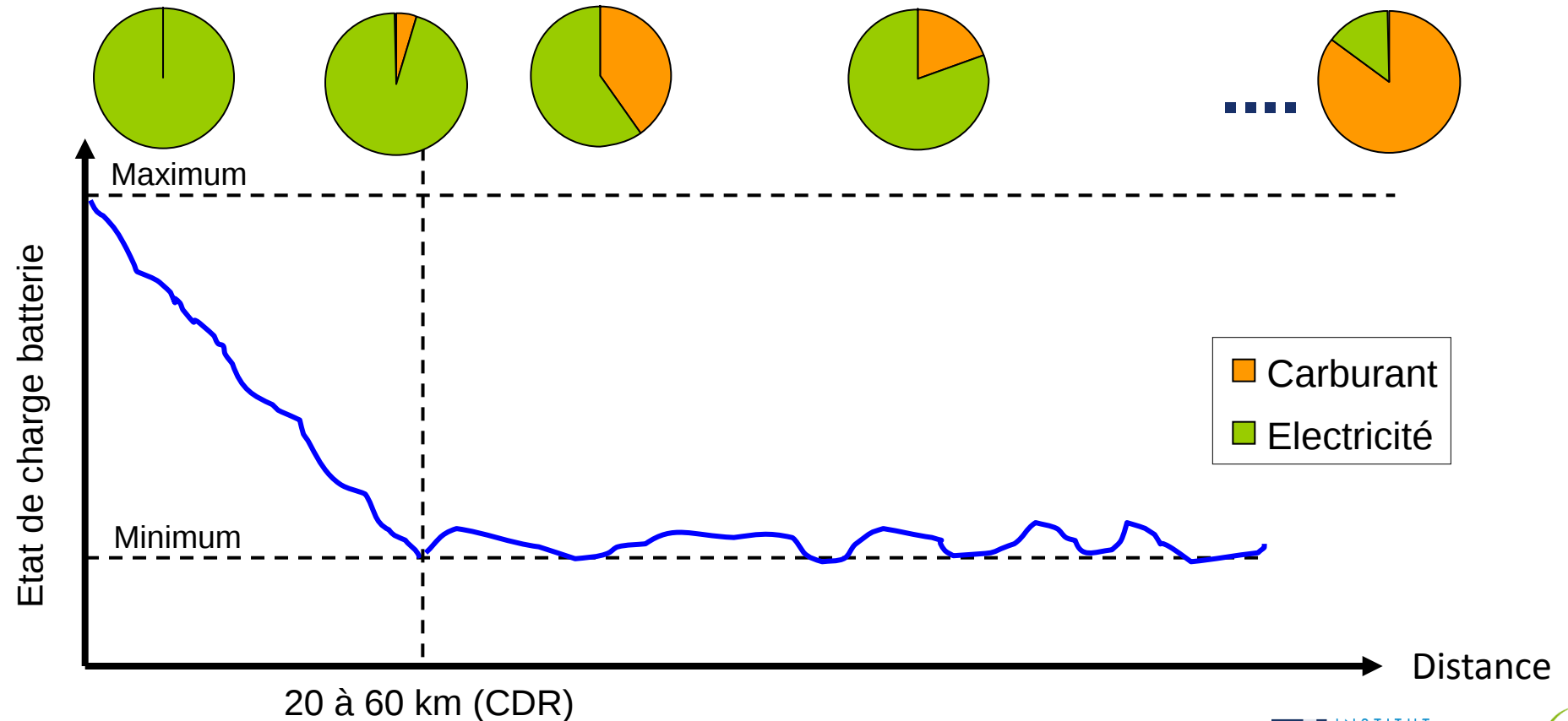


Utilisation d'une statistique d'usage (UF)



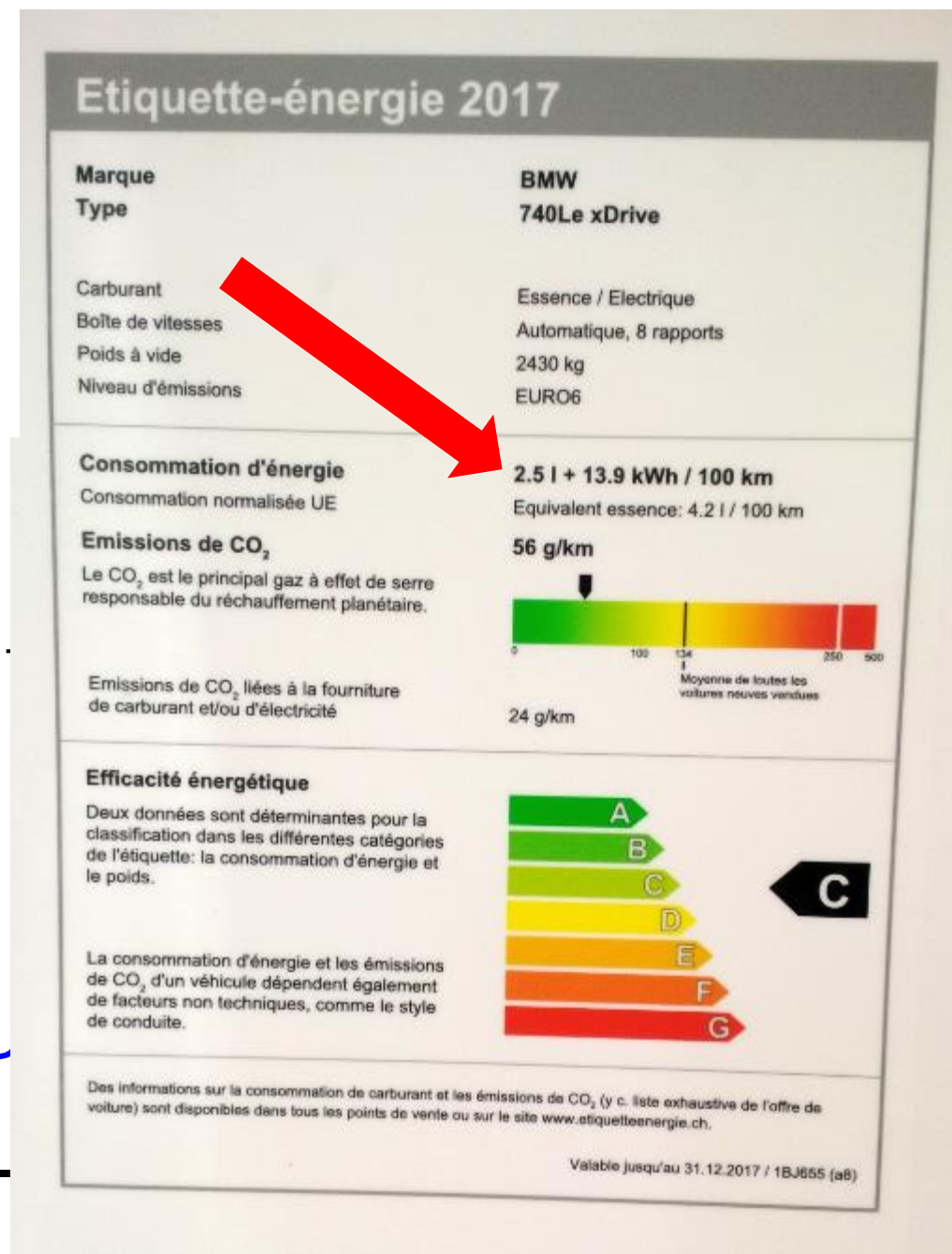
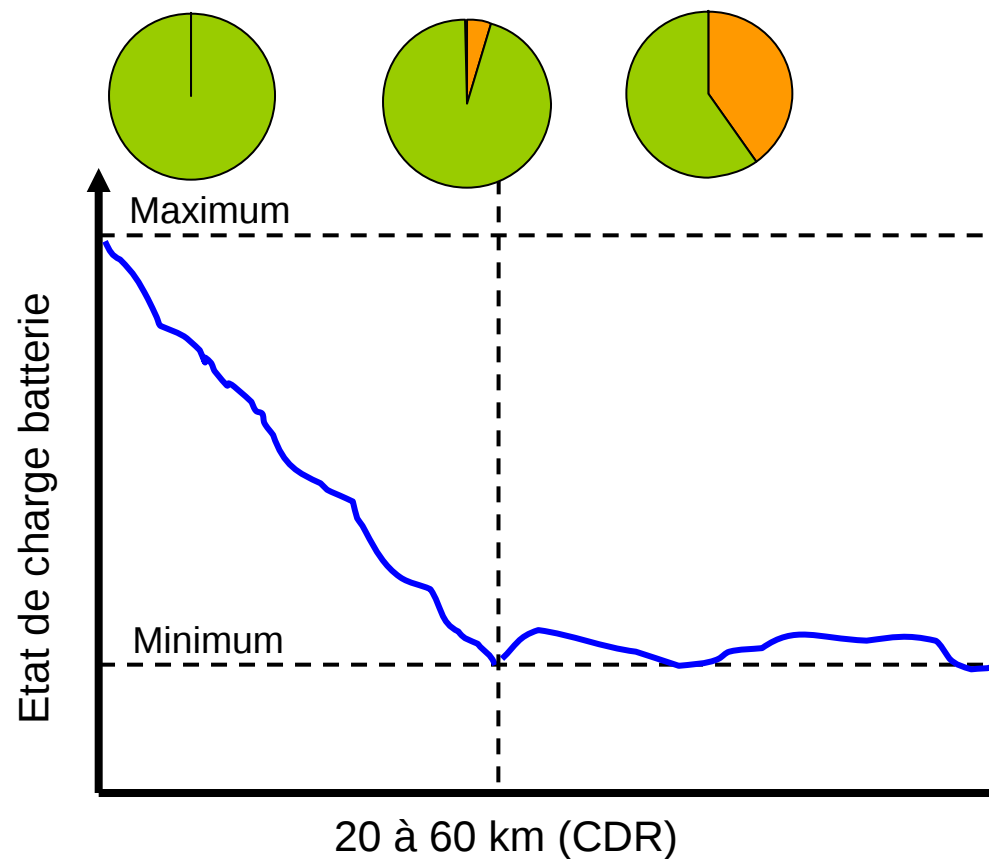
Véhicule à motorisation hybride rechargeable

- Pondération statistique dans le calcul suivant la norme ;
- Problématique de l'évaluation des consommations réelles d'un VHR



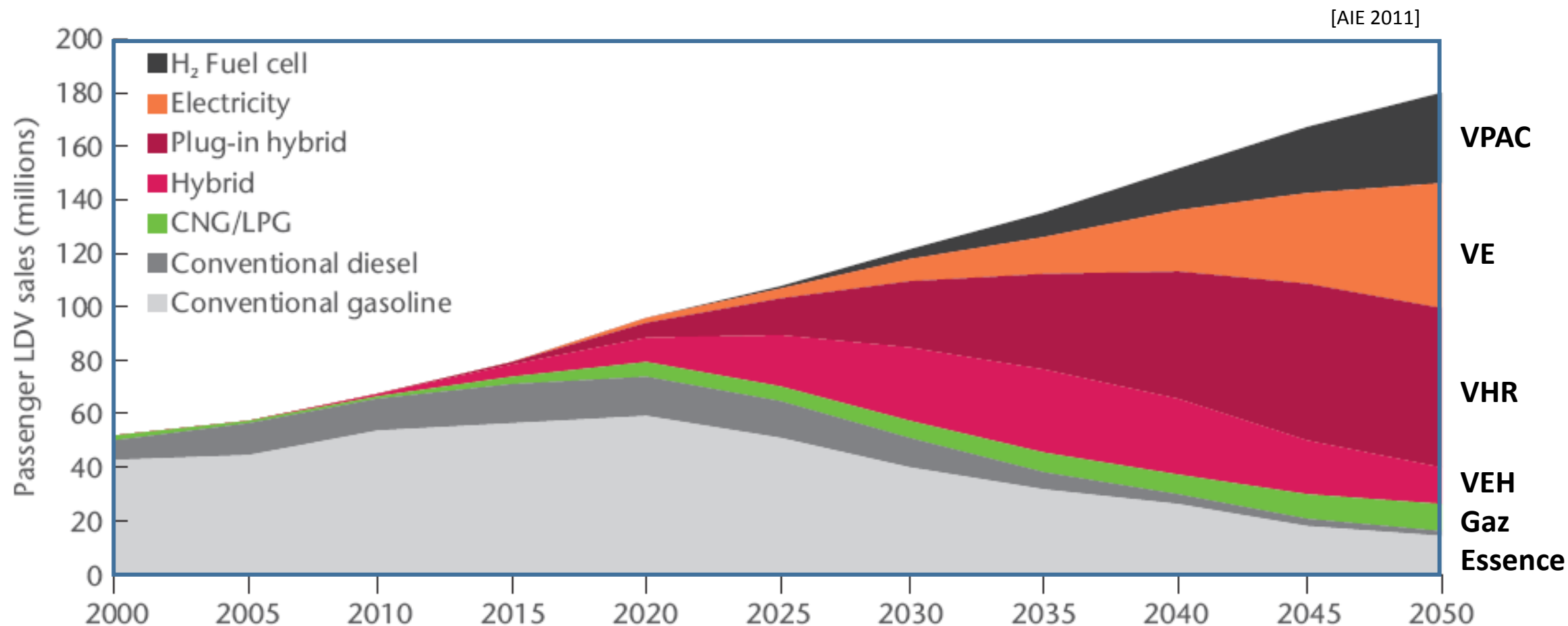
Véhicule

● Exemple



Evaluation des perspectives de marché

SUSTAINABLE MOBILITY



- L'électrification des véhicules est **en marche** ;
- Une très grande **variété de solutions** possibles :
 - **VEH** : micro au full, rechargeable, range extender, **VE**, **VPAC**... ;
- Importance des **politiques** (globales et locales, échéance 2040, city center ban...) ;
- Importance des **opinions publiques** (pollution urbaine, *dieselgate*...) ;
- Des **coûts d'achat** encore élevés mais un **TCO en décroissance** (couts batteries, 2^{ème} vie...) ;
- Des synergies avec d'autres avancées **ACES** (*Automated, Connected, Electric and Shared*) ;
- Une **infrastructure** de recharge à développer (puissances ?, investissements ?, gestion ?, monétique ?, V2H ?, V2G ?, H₂ ?) ;
- Des **outils industriels** à adapter ;
- Des pays qui peuvent initier une **rupture** (Chine... ?) ;
- Une grande variété de **vecteurs énergétiques** :
 - Hydrocarbures, électricité, hydrogène... ;
- La nécessité d'un **bilan environnement/ressources global** (fabrication, usage, fin de vie, matériaux rares...)

Merci de votre attention

Innovating for energy

Find us on:

 www.ifpenergiesnouvelles.com

 @IFPENinnovation