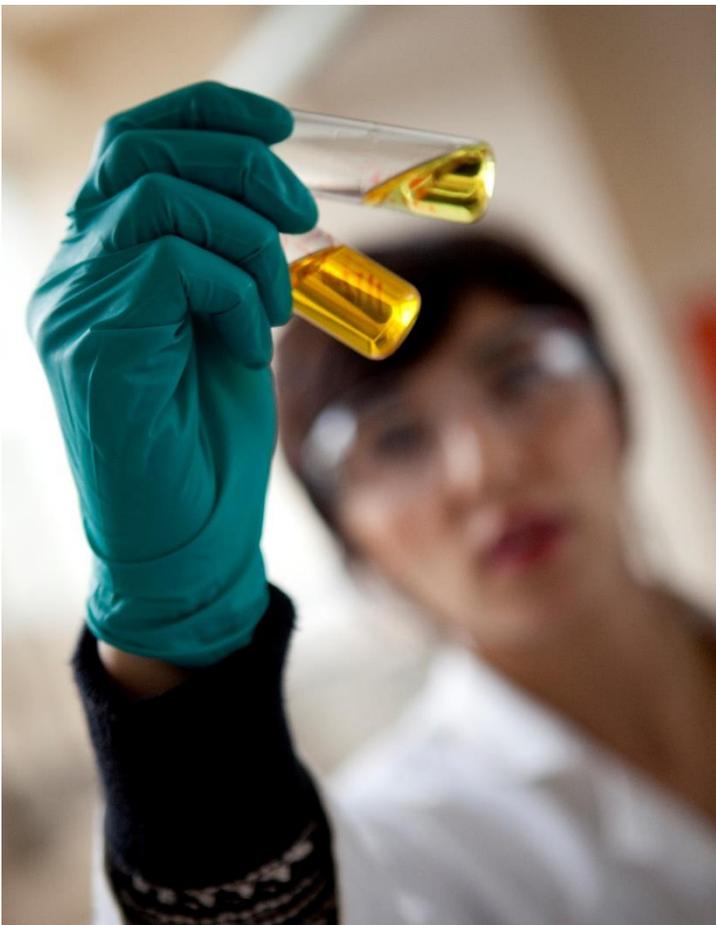




# LES MOTORISATIONS HYBRIDES

Fabrice LE BERR, IFP énergies nouvelles

Juin 2021

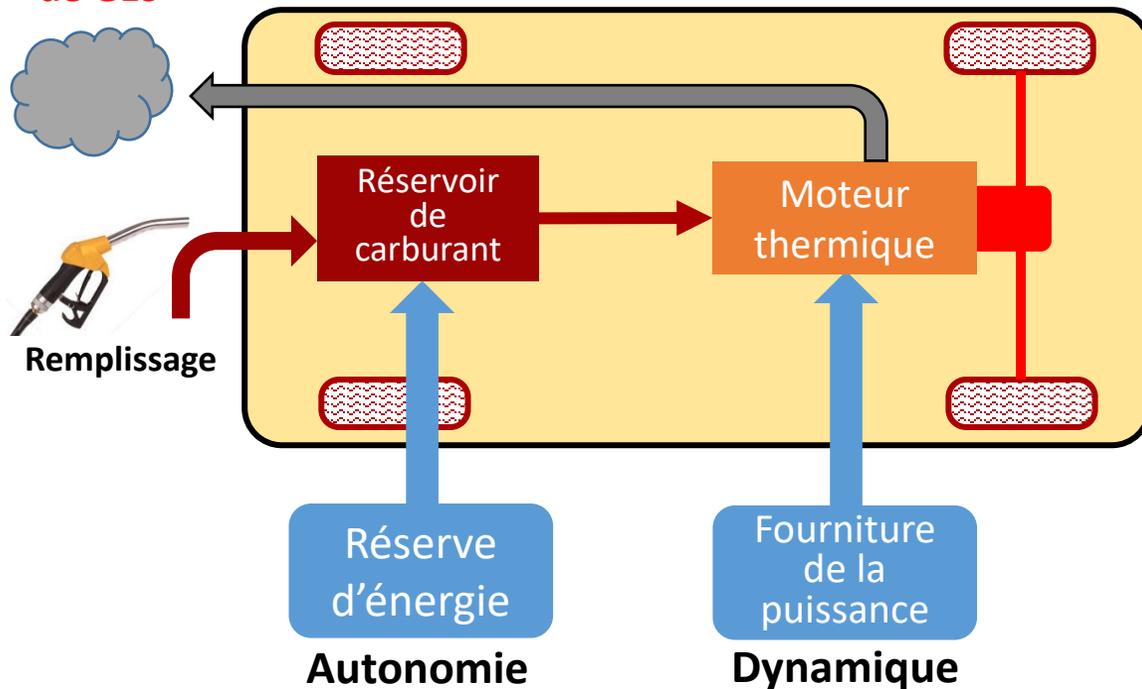


- **Contexte et enjeux**
- **Les différentes architectures hybrides**
  - Hybride parallèle
  - Hybride série
  - Hybride à dérivation de puissance
- **Les fonctionnalités liées à l'hybridation**
- **Bilan et perspectives**

# Motorisation conventionnelle

## ● Emissions GES (gaz à effet de serre)

Emissions de GES

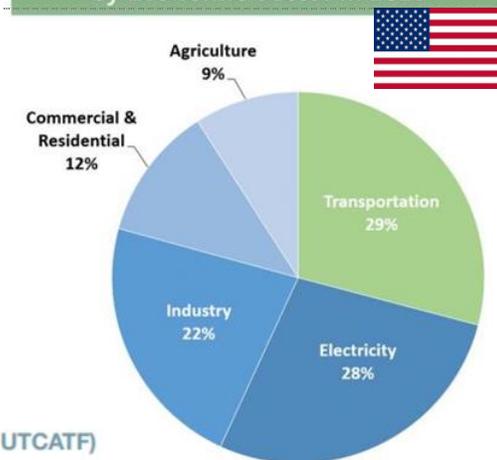


## ● Poids des transports

Principaux GES :

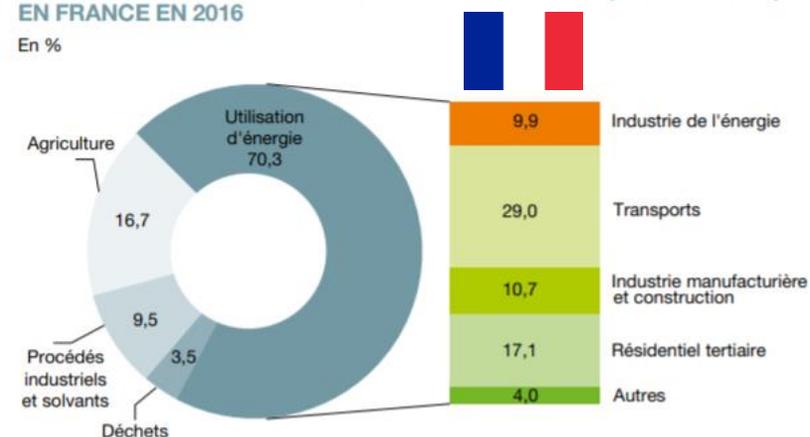
- H<sub>2</sub>O
- CO<sub>2</sub>
- CH<sub>4</sub>
- N<sub>2</sub>O
- O<sub>3</sub>

Total U.S. Greenhouse Gas Emissions by Economic Sector in 2017



RÉPARTITION PAR SOURCE DES ÉMISSIONS DE GES (HORS UTCATF) EN FRANCE EN 2016

En %

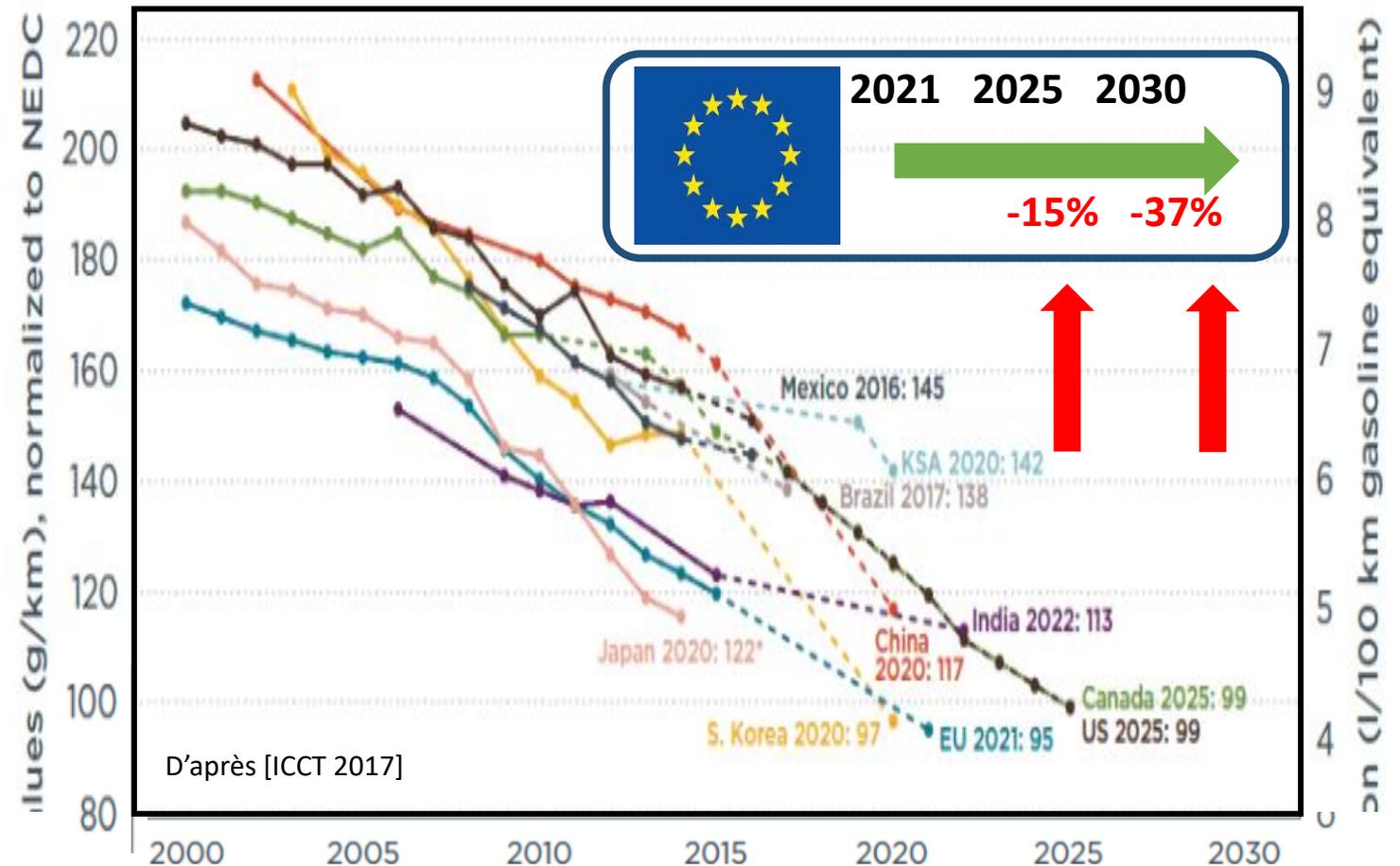


Source : AEE, 2018

# Une nécessité de réduire les GES

- Objectifs d'émissions CO2 véhicules dans le monde

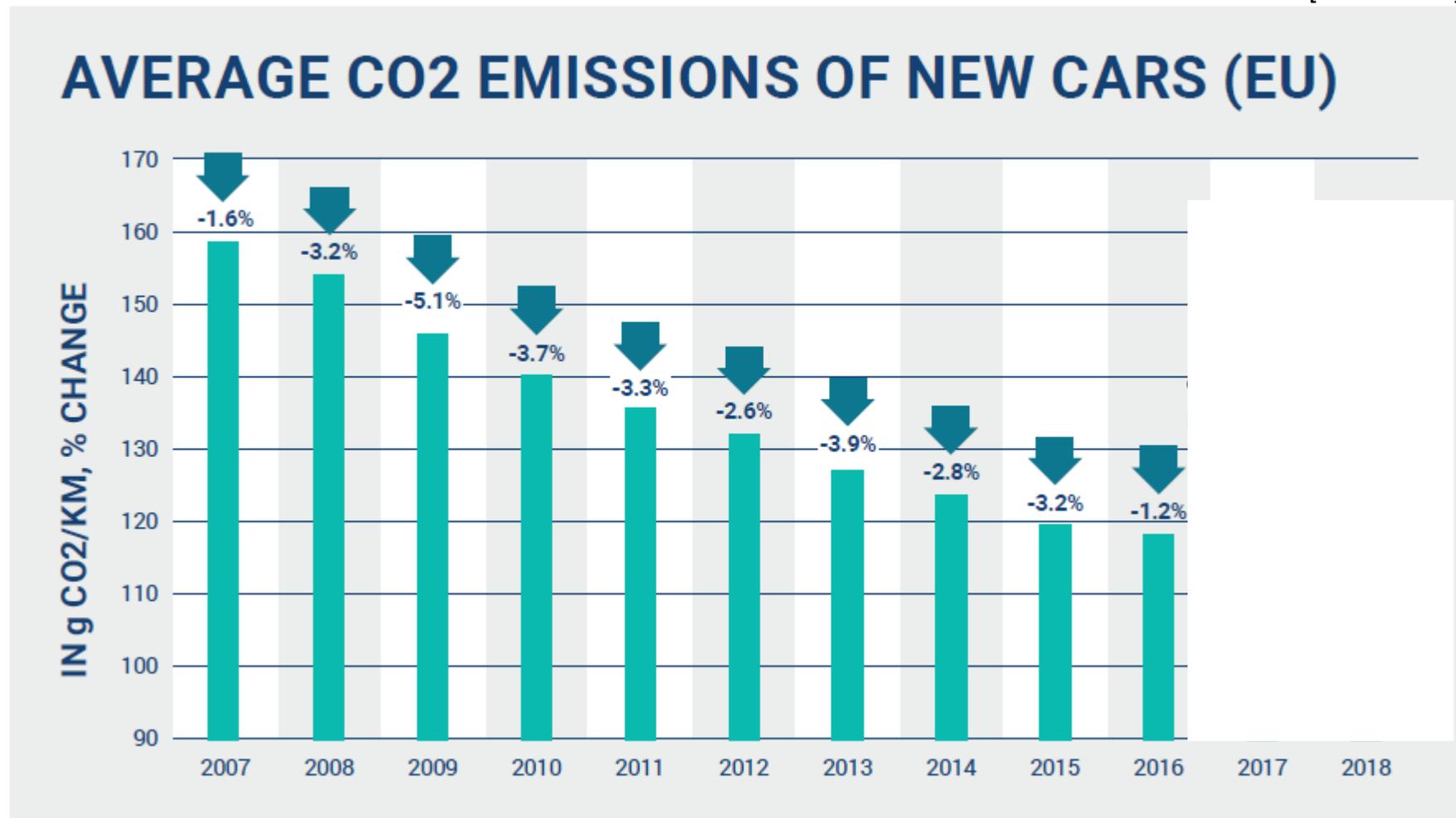
Emission de CO2 et objectifs



# Mais une difficulté de réduire dans les faits

[ACEA 2019]

- Emissions de CO2 des voitures neuves en Europe



# Un marché hybride/électrique récent mais en pleine expansion

- Marché dominé par la Chine (explosion ?) et les Etats-Unis;
- Une sensibilité du marché aux incitations (achat, usage...);
- Une progression croissante des PHEVs dans le total des véhicules électrifiés.

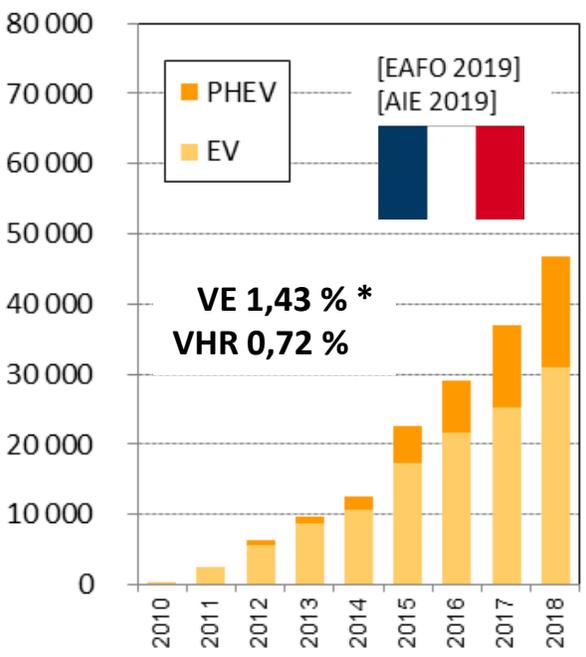
Véhicules particuliers

\* : Part de marché [AIE 2019]

**Attention aux statistiques**

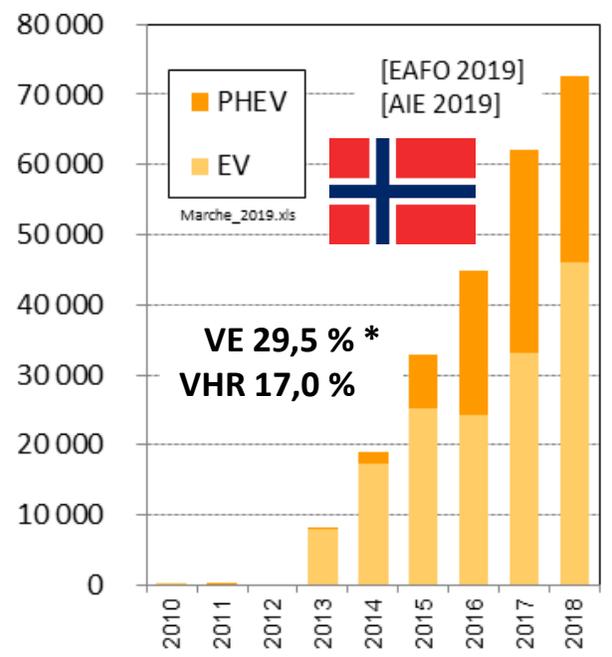
< 100 k

Ventes, France



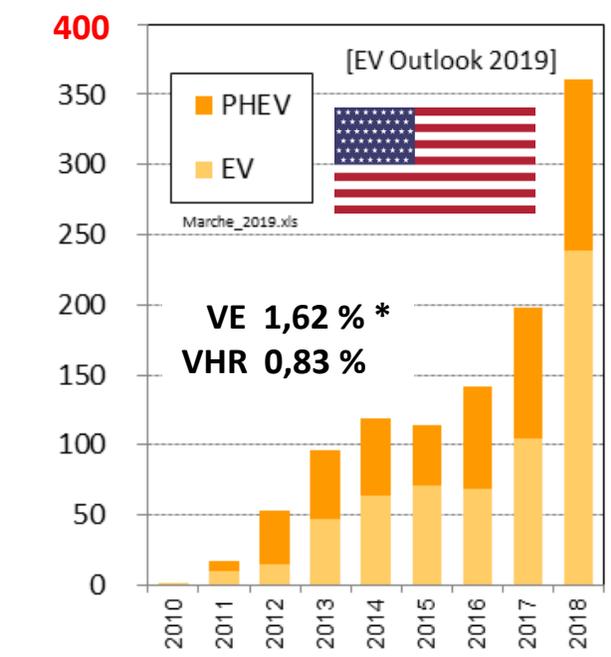
< 100 k

Ventes, Norvège



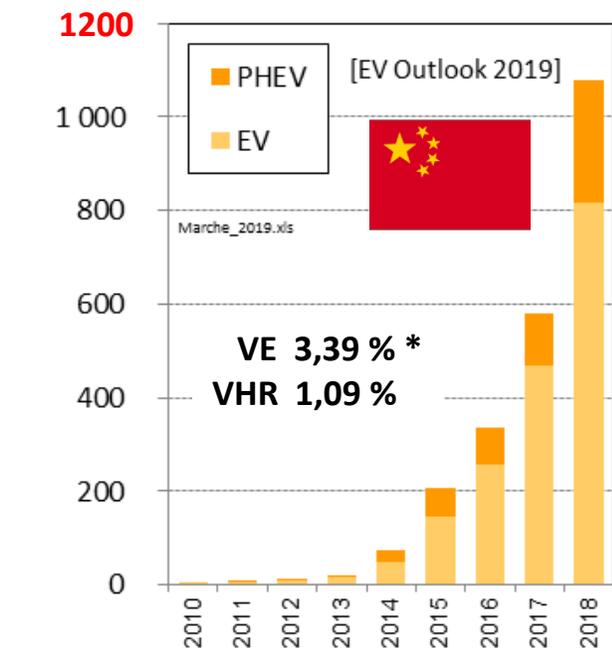
400 k

Ventes, Etats-Unis (milliers)



1200 k

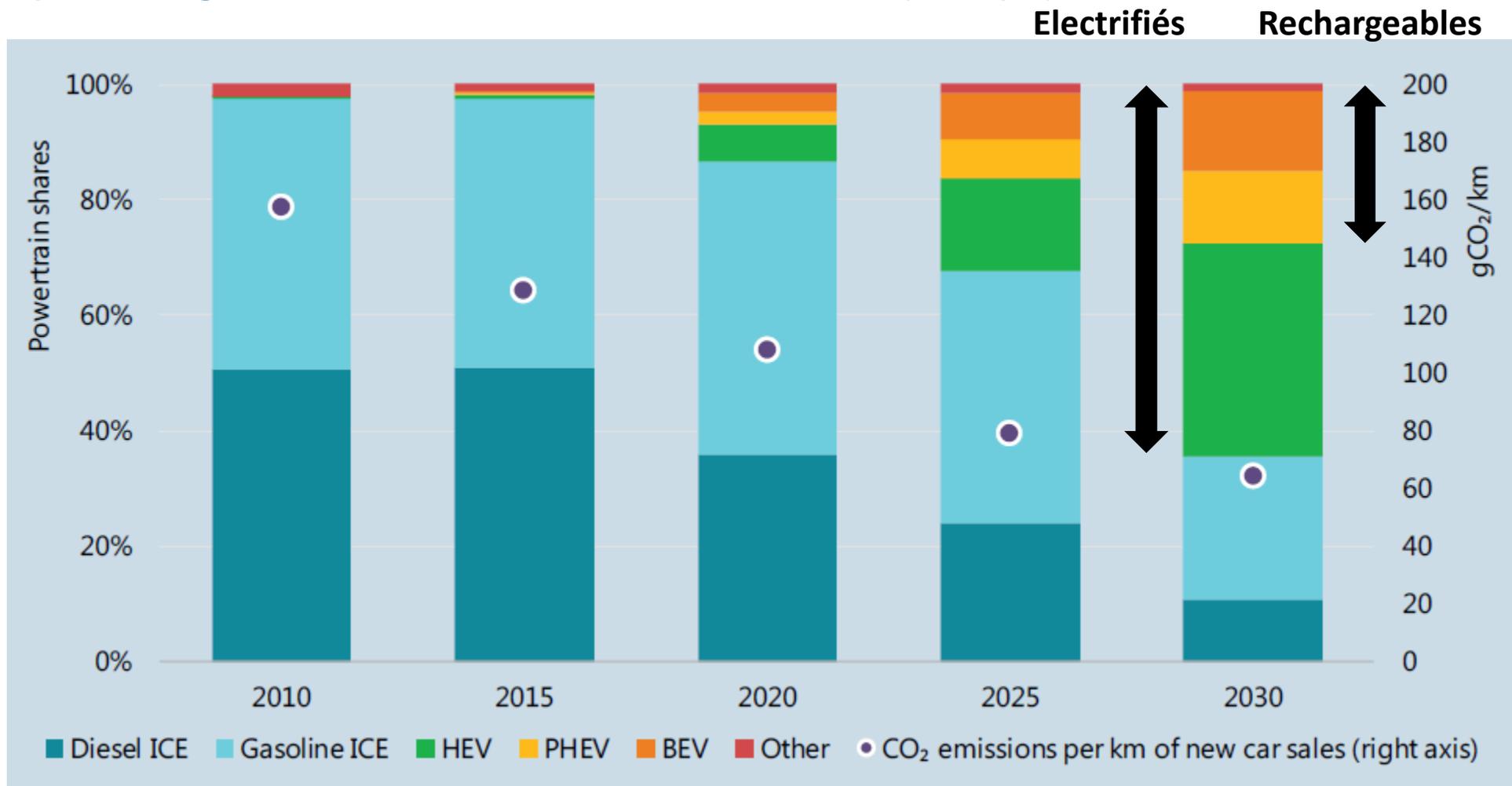
Ventes, Chine (milliers)



# Une diversification sensible du marché

- Un panachage attendu des solutions dans le futur (Europe)

[AIE, EV Outlook 2019]



### ● Contexte :

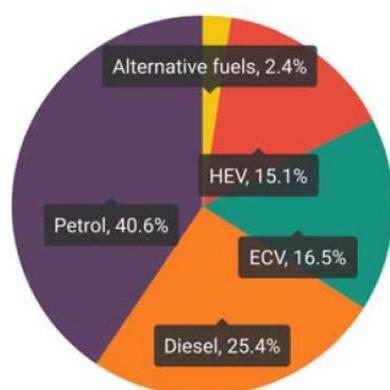
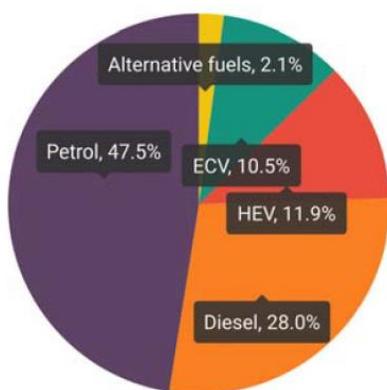
- Le marché de la mobilité électrifiée bénéficie d'un cadre mondial propice à la croissance
- L'automobile électrifiée est tirée par les objectifs d'électrification de masse du parc automobile

Fuel types of new cars: electric 10.5%, hybrid 11.9%, petrol 47.5% market share full-year 2020

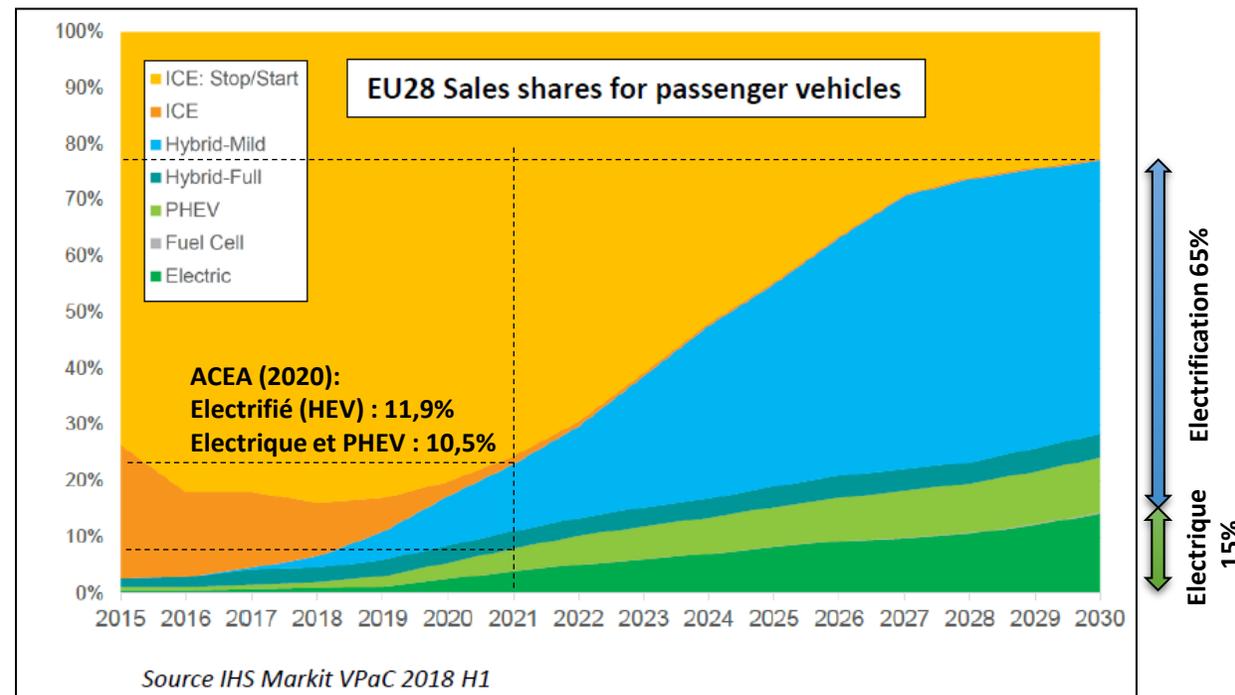
■ Petrol ■ Diesel ■ HEV ■ ECV ■ Alternative fuels

FULL-YEAR 2020

Q4 2020



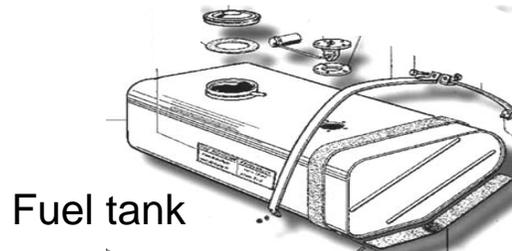
Source: ACEA



- Les chaînes de traction hybrides devraient avoir une part importante du marché sur 10 ans
- La prise des parts du marché du véhicule 100% électrique s'accélère fortement à l'horizon 2030

# Hybrid & electrified powertrain : the main issues

- But still energy density and charging duration issues ...



Fuel tank



Batteries

Mass	50 kg <small>(-5 kg réservoir)</small>	50 kg
Compactness	60 l	~ 55 l <small>(100 Wh/L)</small>
Energy	575 kWh	~ 5,5 kWh <small>(110 Wh/kg)</small>

✓ Useful energy at the wheels provided by fuel is up to **20** times greater than that of the batteries

- Contexte et enjeux
- **Les différentes architectures hybrides**
  - Hybride parallèle
  - Hybride série
  - Hybride à dérivation de puissance
- Les fonctionnalités liées à l'hybridation
- Bilan et perspectives

## ● Hybrid powertrain definition

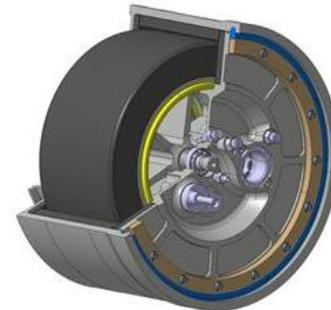
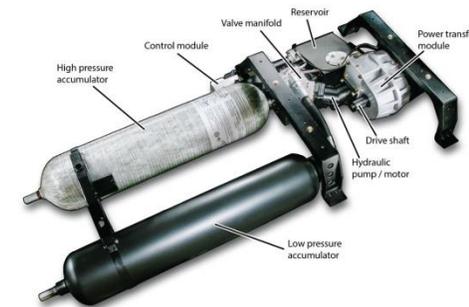
- Having an additional reversible energy storage system (besides the fuel tank)
  - Electric : battery, super-capacitors
  - Mechanic : kinetic energy storage (flywheel)
  - Hydraulic : pneumatic energy storage (nitrogen tank)

## ● Most common hybrid powertrains in transport sector

- HEV : Hybrid Electric Vehicle
- PHEV : Plug-in Hybrid Electric Vehicle
- EV : Electric Vehicle
- EREV : Extended Range Electric Vehicle

## ● Several ways of classification

- by family : micro, mild, full...
- by available functions : boost, zero emission mode, plug-in...
- by powertrain architecture : parallel, serial, power-split...



# Tableau croisé : Architectures x Fonctionnalités

1

		Architectures				
		Parallèle	Série-parallèle	Série	Fonctionnalités <sup>1</sup>	
Energie(s) consommée(s)	Hydrocarbure	<i>Micro hybrid</i>			Stop-Start + récupération au freinage faible + récupération moyenne et assistance au MTH	Hybrides discrets
		<i>Micro-Mild hybrid</i>				
		<i>Mild hybrid</i>				
	<i>Full Hybrid</i>			+ récupération bonne, assistance au MTH et mode électrique superviseur		
Hydrocarbure et électricité		<i>Plug-in hybrid</i> <i>(Blended, Urban capable, No compromise E-REV, E-REV)</i>			+ mode électrique client et liaison réseau électrique	Hybrides fonctionnels

2

←

Qualificatif

Électrification croissante

# Tableau croisé : Architectures x Fonctionnalités

1<sup>ère</sup> approche : Par **architecture**

1

		Architectures			Fonctionnalités <sup>1</sup>		
		Parallèle	Série-parallèle	Série			
Energie(s) consommée(s)	Hydrocarbure	<i>Micro hybrid</i>			<i>Stop-Start</i>	Hybrides discrets	Qualificatif
		<i>Micro-Mild hybrid</i>			+ récupération au freinage faible		
		<i>Mild hybrid</i>			+ récupération moyenne et assistance au MTH		
	<i>Full Hybrid</i>			+ récupération bonne, assistance au MTH et mode électrique superviseur			
	Hydrocarbure et électricité	<i>Plug-in hybrid (Blended, Urban capable, No compromise E-REV, E-REV)</i>			+ mode électrique client et liaison réseau électrique	Hybrides fonctionnels	

2

 Électrification croissante

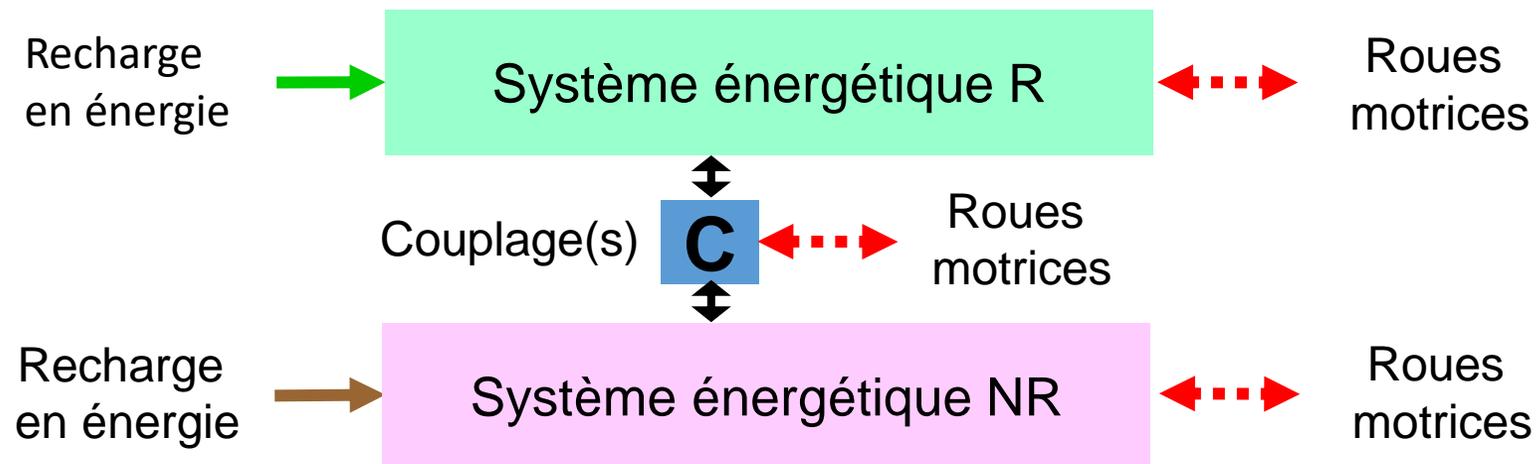
# Motorisation hybride

## Une définition possible (3/6)

- Motorisation hybride

- Met en œuvre plusieurs (2 ou 3) systèmes énergétiques à bord à des fins de propulsion;
- Un au moins est réversible;

Exemple avec 2 systèmes énergétiques



On peut trouver plusieurs définitions :  
Adaptées à des cas particuliers

# Motorisation hybride

## Composants utilisables

- La motorisation peut mettre en œuvre une grande variété de composants;
- Elle est généralement caractérisée par la nature du (des) couplage(s)

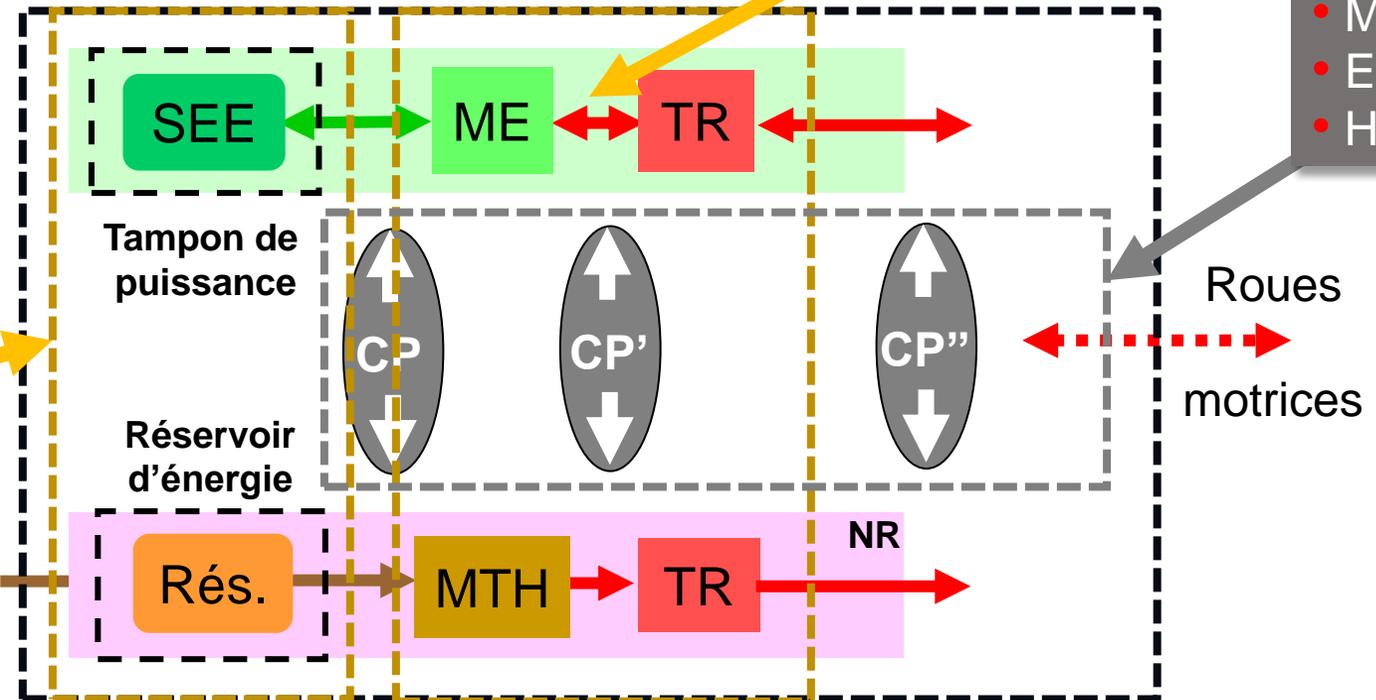
### Convertisseurs :

- Moteurs thermiques
- Machines électriques
- Machines hydrauliques
- Pile à combustible
- Convertisseurs mécaniques
- Convertisseurs électriques

### Couplages :

- Mécaniques
- Électriques
- Hydrauliques

Couplage(s)  
Stockages  
Convertisseurs



### Stockages :

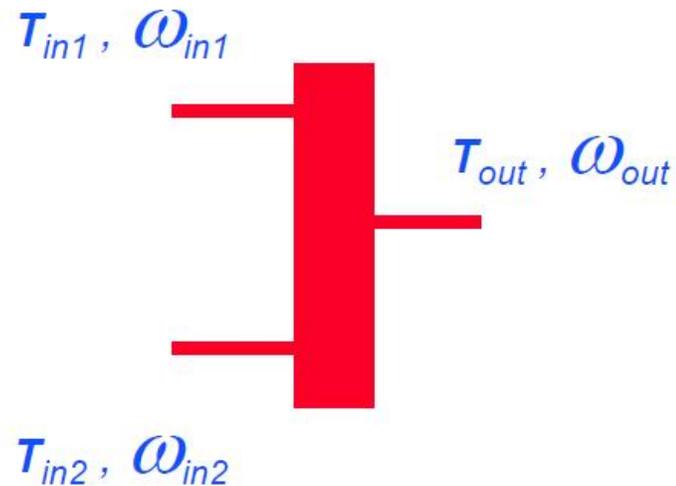
- Batteries
- Supercondensateurs
- Oléopneumatique
- Volant d'inertie
- Réservoirs

- Contexte et enjeux
- Les différentes architectures hybrides
  - Hybride parallèle
  - Hybride série
  - Hybride à dérivation de puissance
- Les fonctionnalités liées à l'hybridation
- Bilan et perspectives

# Hybridation parallèle

## Couplage mécanique par addition de couple

- Principe



$$T_{out} = k_1 T_{in1} + k_2 T_{in2}$$

[Ehsani 2005]

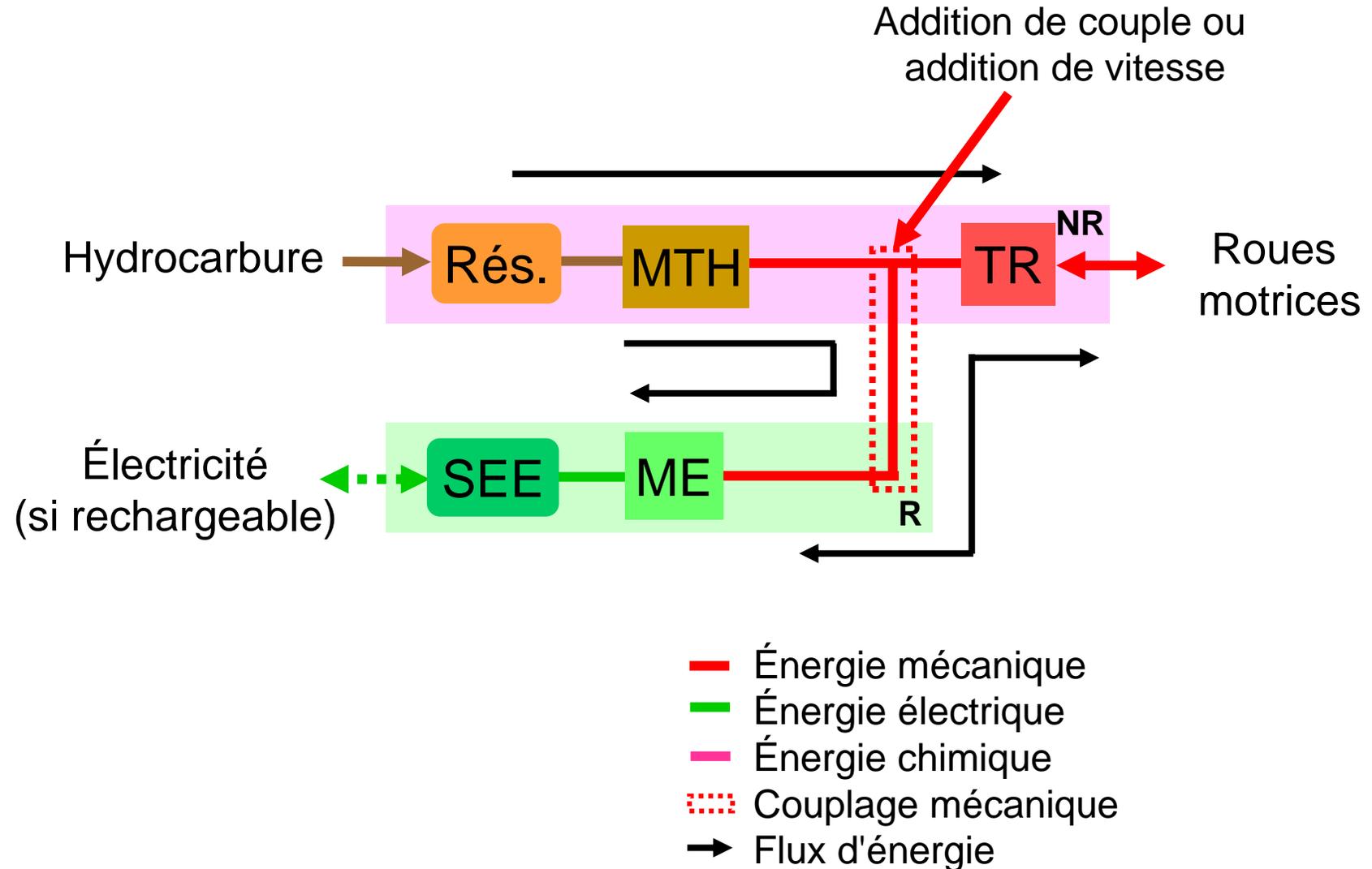
$$\omega_{out} = \frac{\omega_{in1}}{k_1} = \frac{\omega_{in2}}{k_2},$$

*Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*

# Véhicule hybride thermique – électrique

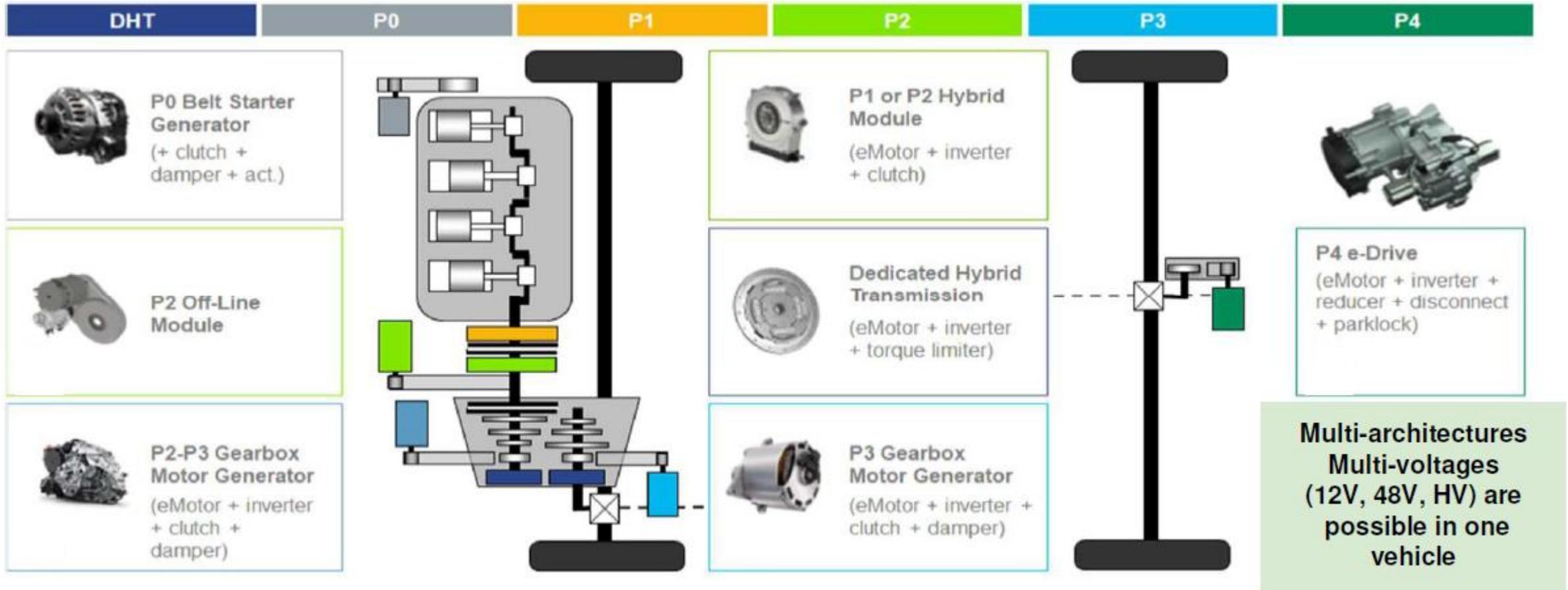
## Architecture parallèle

### ● Principe



# Parallel hybrid based architecture

- Multi parallel hybrid architectures are possible for a vehicle



**Multi-architectures  
Multi-voltages  
(12V, 48V, HV) are  
possible in one  
vehicle**

Source : PFA

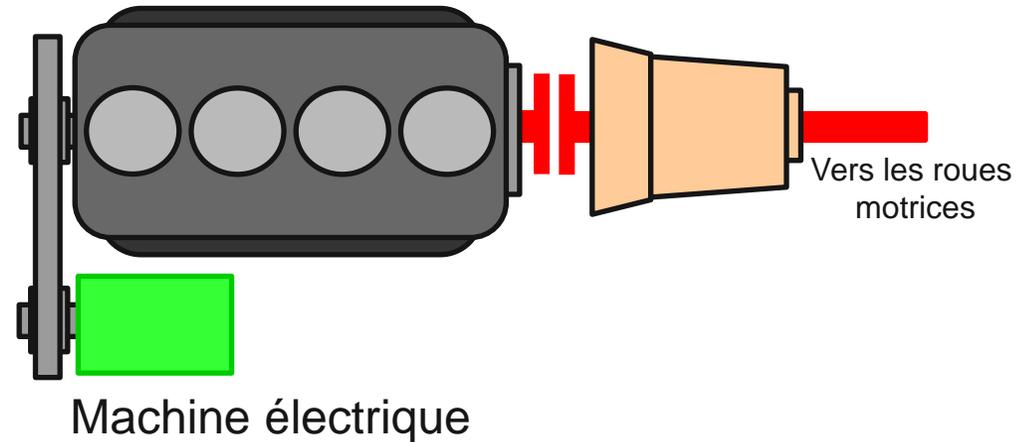
# Véhicule hybride thermique – électrique

Architecture parallèle, addition de **couple**

**Machine non intégrée**

- Schéma technologique

**Belt Starter Generator  
BSG ou P0**



# Véhicule hybride thermique – électrique

Architecture parallèle, addition de **couple**  
**Machine non intégrée**

- Exemples : Systèmes Stop&Start et Stop&Go

Valeo StARS



Doc. Valeo

GM eAssist



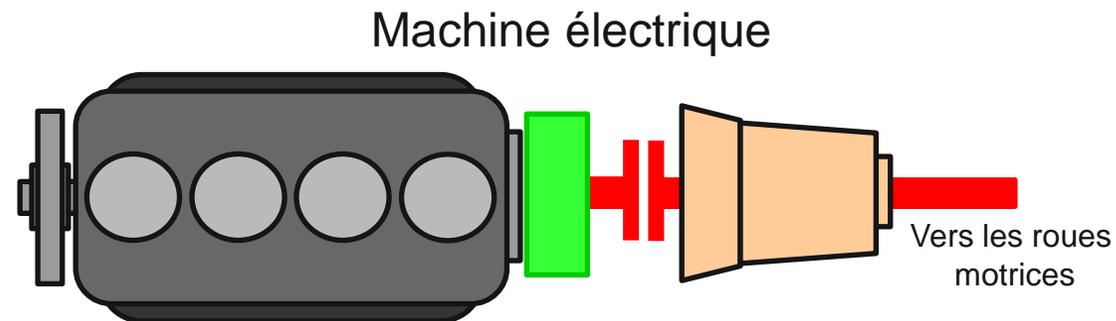
[Savagian 2011]

# Véhicule hybride thermique – électrique

Architecture parallèle, addition de **couple**  
**Machine intégrée**

- Schéma technologique

**Integrated Starter Generator  
ISG ou P1**



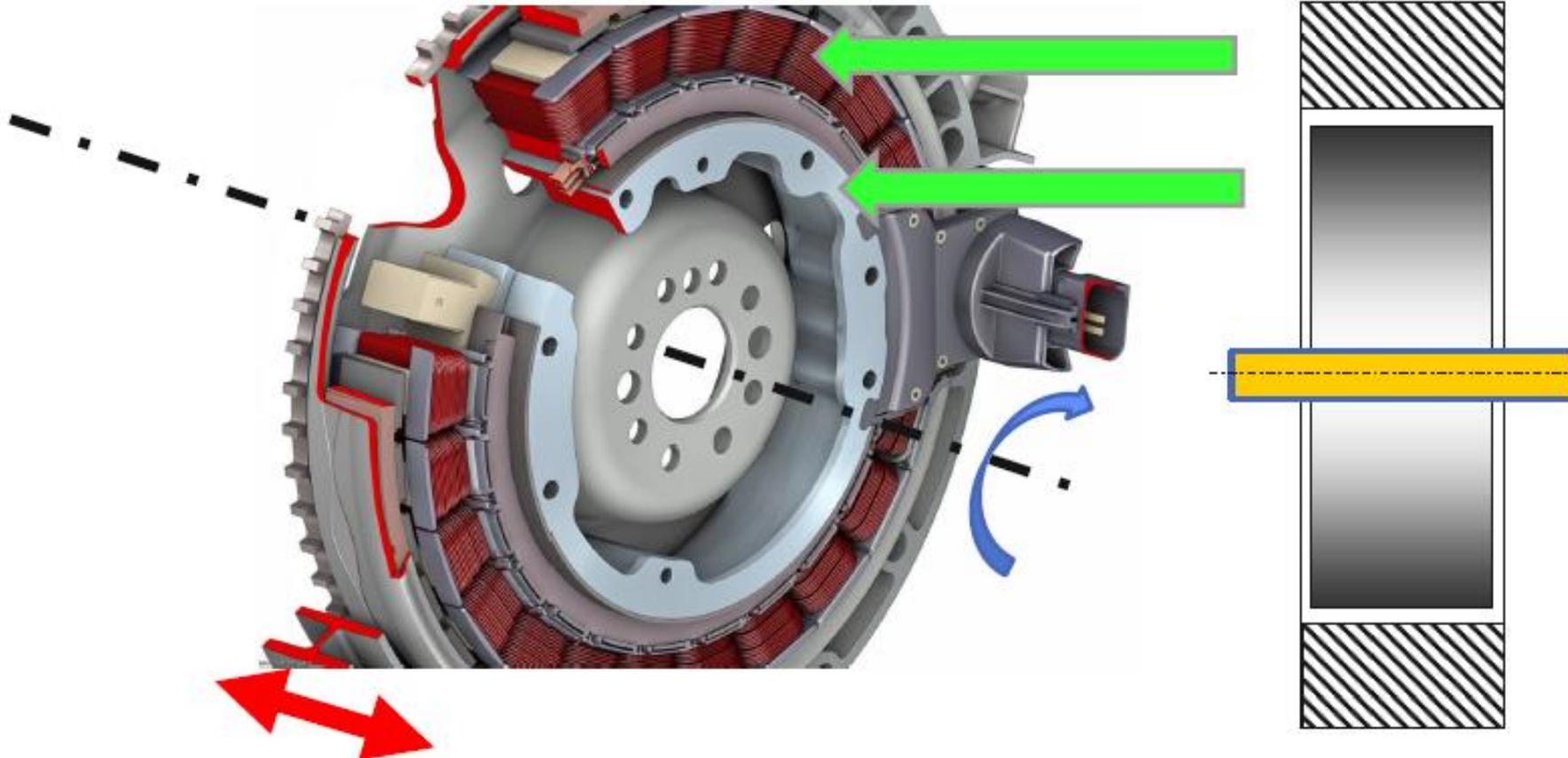
# Véhicule hybride thermique – électrique

Architecture parallèle, addition de **couple**

**Machine intégrée**

SUSTAINABLE MOBILITY

- Contrainte technologique : géométrie particulière de la machine électrique intégrée

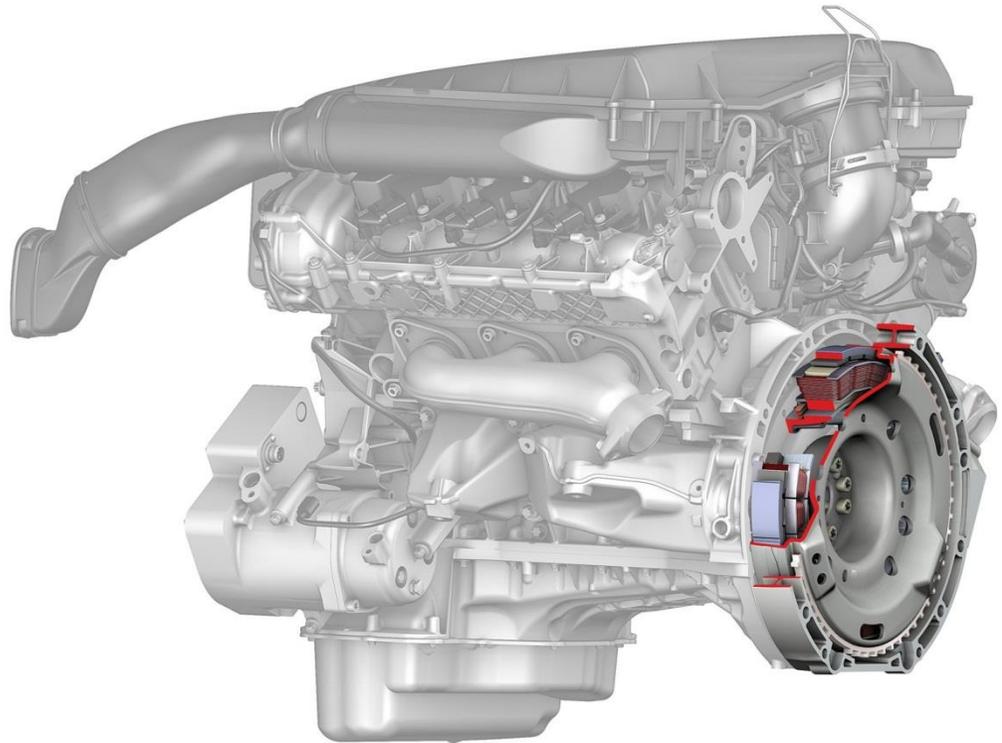


# Véhicule hybride thermique – électrique

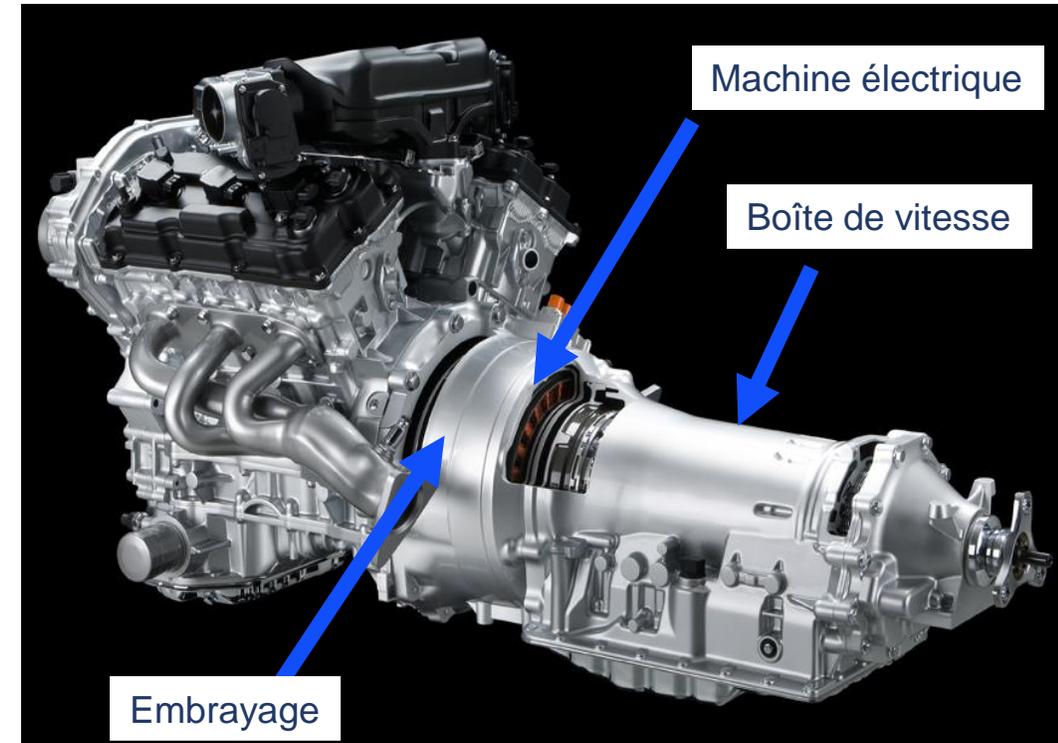
Architecture parallèle, addition de **couple**  
**Machine intégrée**

SUSTAINABLE MOBILITY

## ● Exemples



CARICOS.COM



# Véhicule hybride thermique – électrique

Architecture parallèle, addition de **couple**

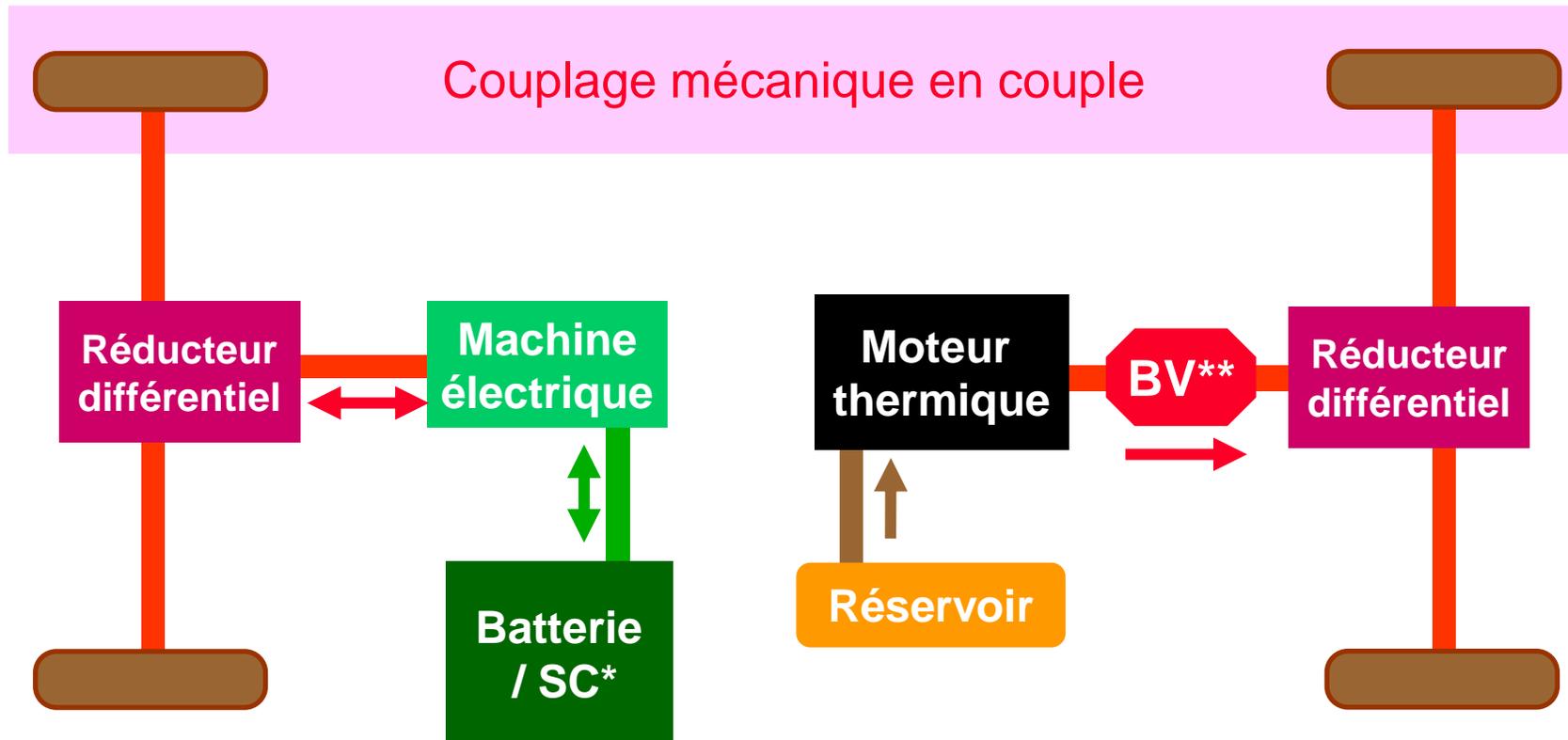
**Couplage par la route**

SUSTAINABLE MOBILITY

- Schéma technologique

Through The Road

TTR



\*SC=Super-condensateur, \*\*BV=Boite de Vitesses

# Véhicule hybride thermique – électrique

Architecture parallèle, addition de **couple**

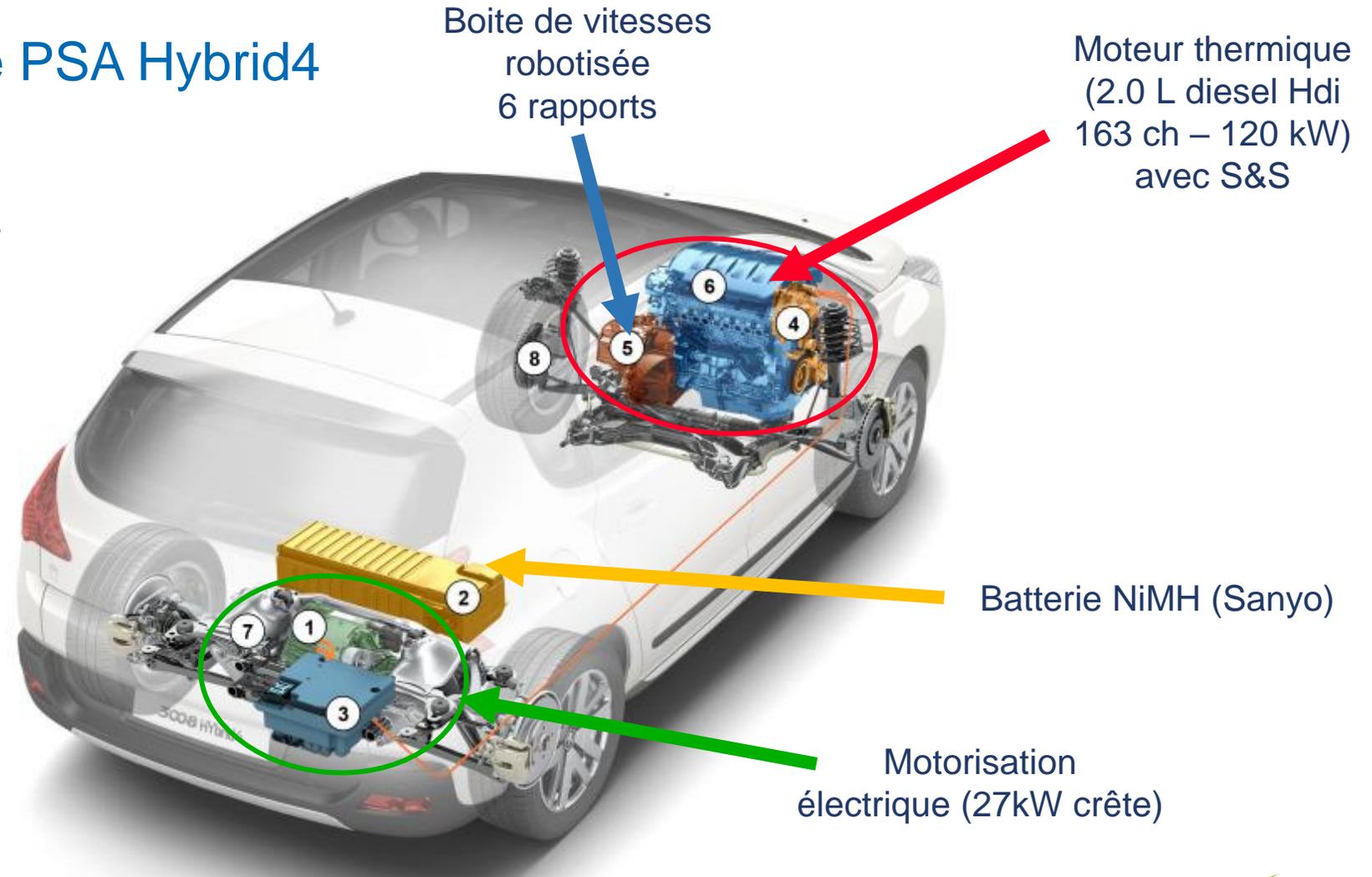
**Couplage par la route**

SUSTAINABLE MOBILITY

## ● Exemple : Système PSA Hybrid4

PSA 3008 et 508 hybride  
Commercialisé de 2011 à 2017  
Surcout évalué à 5000 €

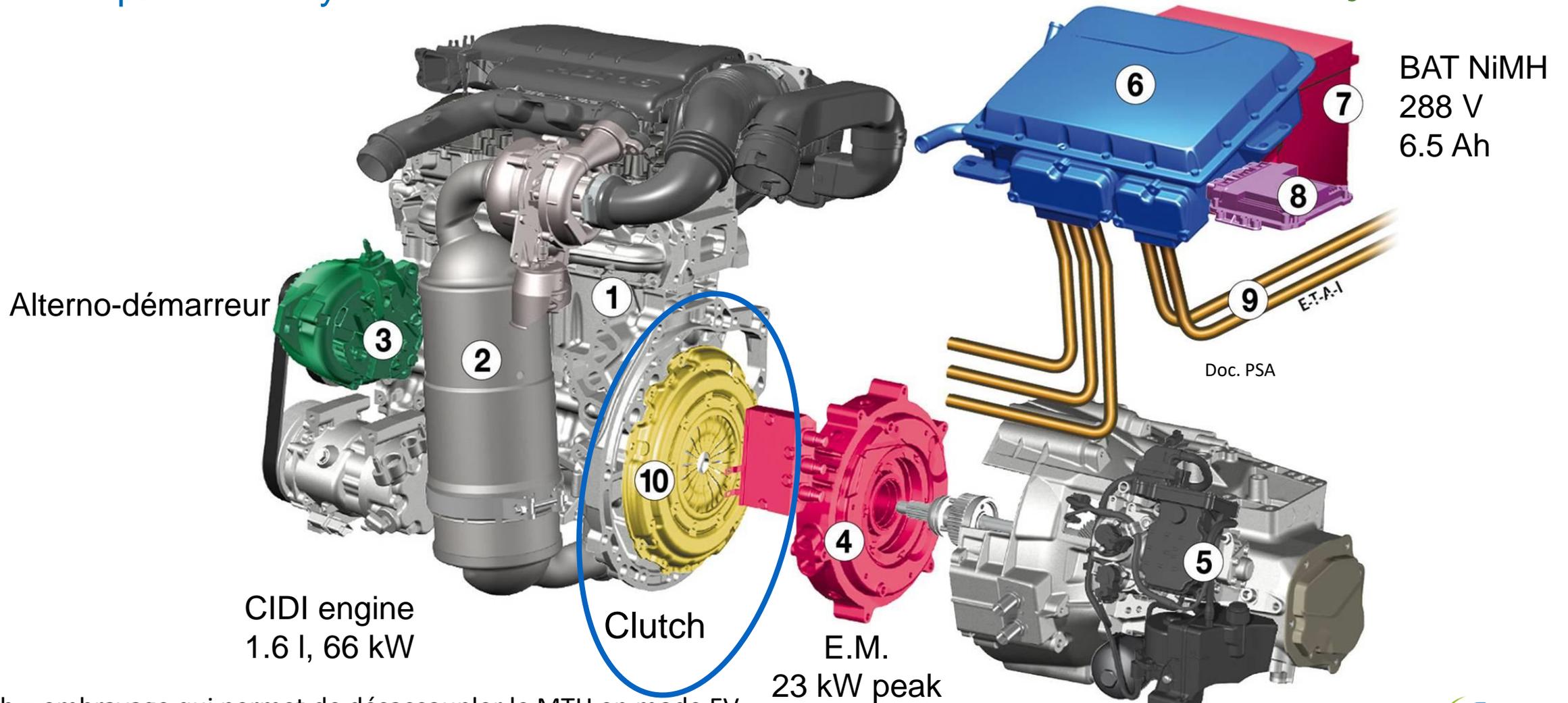
Conso annoncée en cycle mixte :  
3,8 L/100 km (99 g CO<sub>2</sub>/km  
à 4.1 l/100 km (109 g/km).



# Transmission hybride avec mode tout électrique

- Exemple : PSA Hybride HDi

*Full hybride*

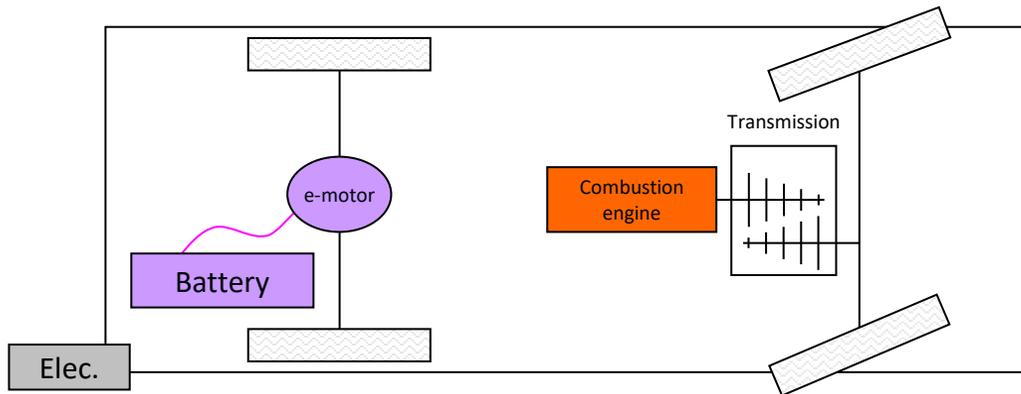


Clutch = embrayage qui permet de désaccoupler le MTH en mode EV

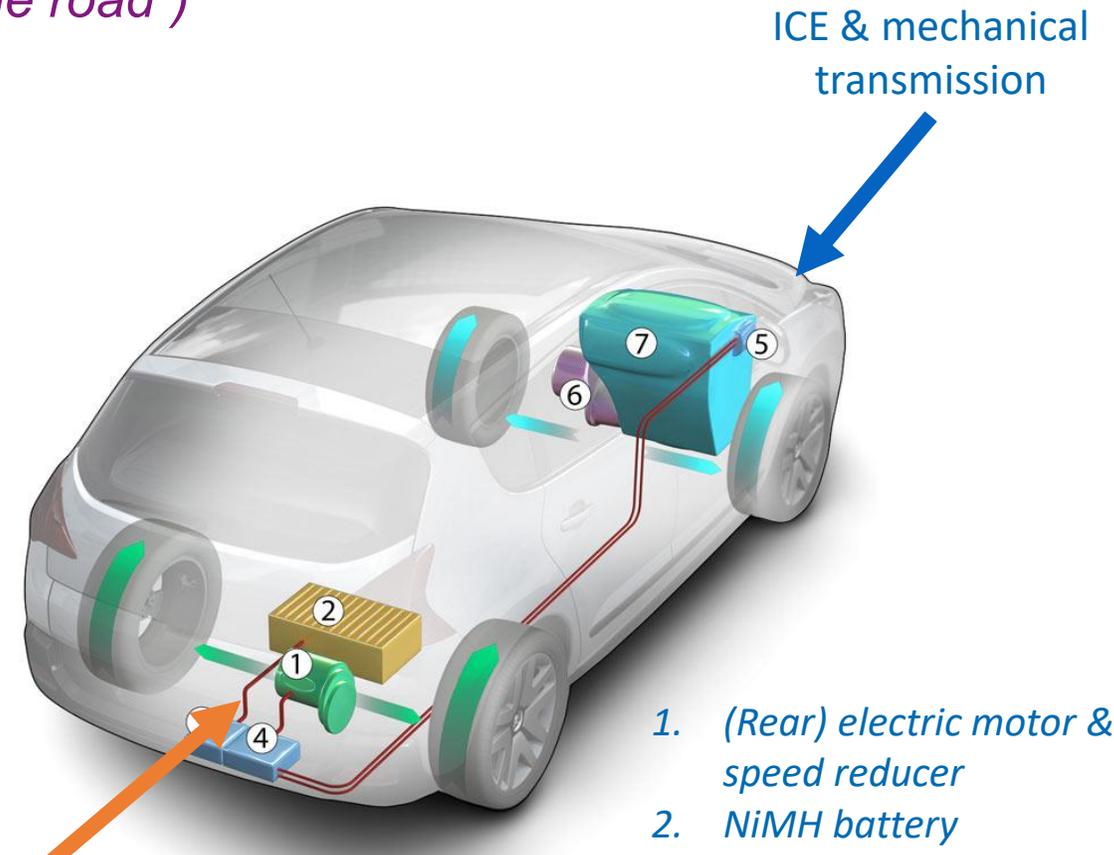
# Parallel hybrid based architecture

## ● PSA Hybrid Hy Motion 4 (Parallel “through the road”)

- Battery = NiMH
- ICE = DW10
- EM = 27 kW
- CO2 emissions: 90 g CO2/km



Parallel, “through the road”



Electric motor & battery

ICE & mechanical transmission

1. (Rear) electric motor & speed reducer
2. NiMH battery
3. DC/DC converter
4. DC/AC converter
5. (Front) electric motor
6. Automatic gear box
7. Internal combustion engine

## Parallel hybrid based architecture

- VW golf GTE / Honda civic & insight (*hybrid pre-transmission*)

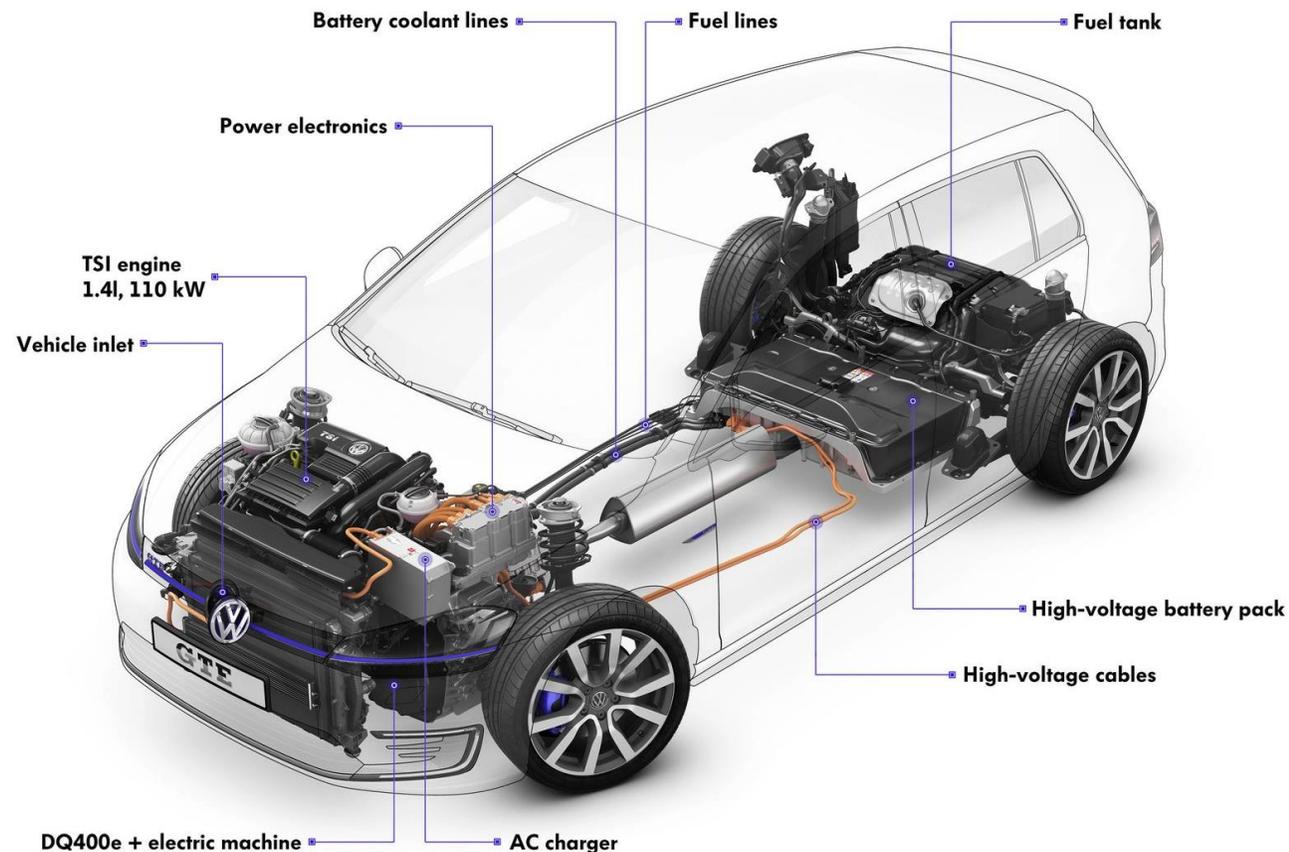
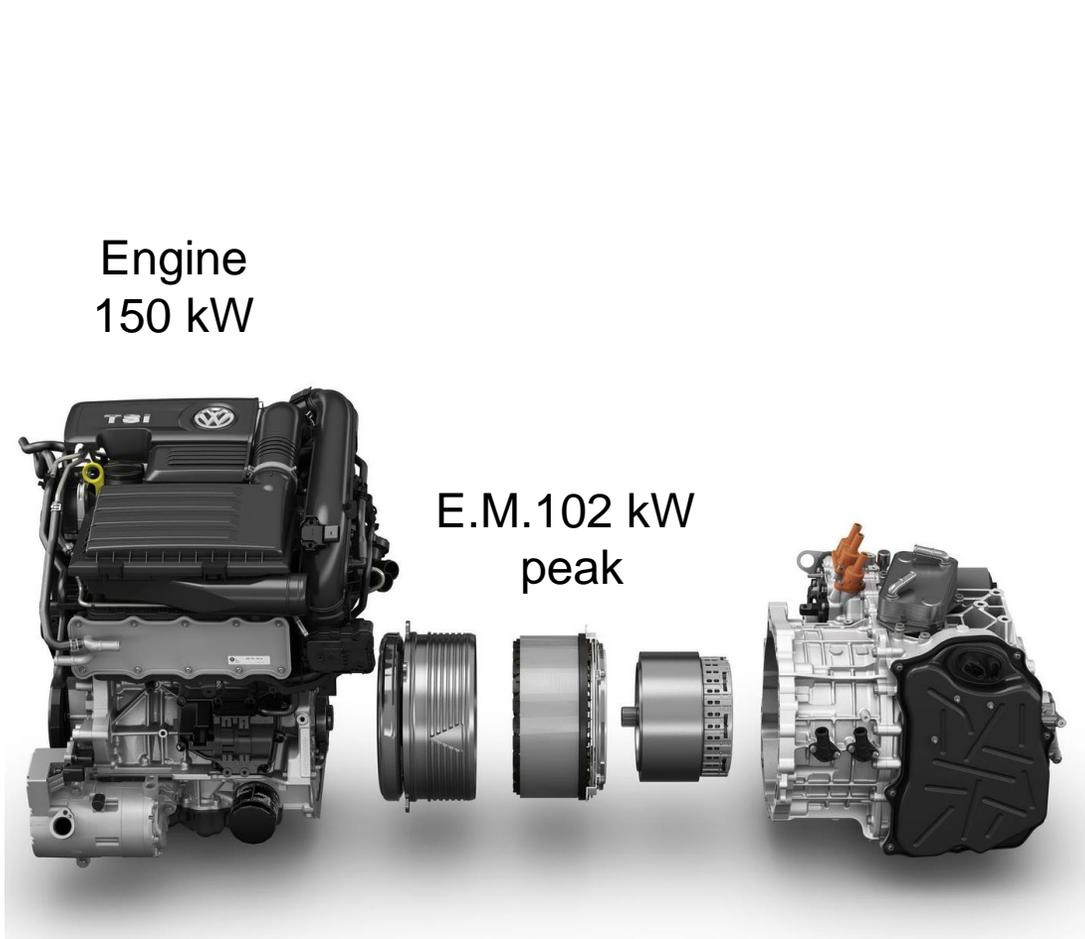


[www.moteurnature.com](http://www.moteurnature.com)



# Transmission hybride avec mode tout électrique

## ● Exemple : VW Golf GTE

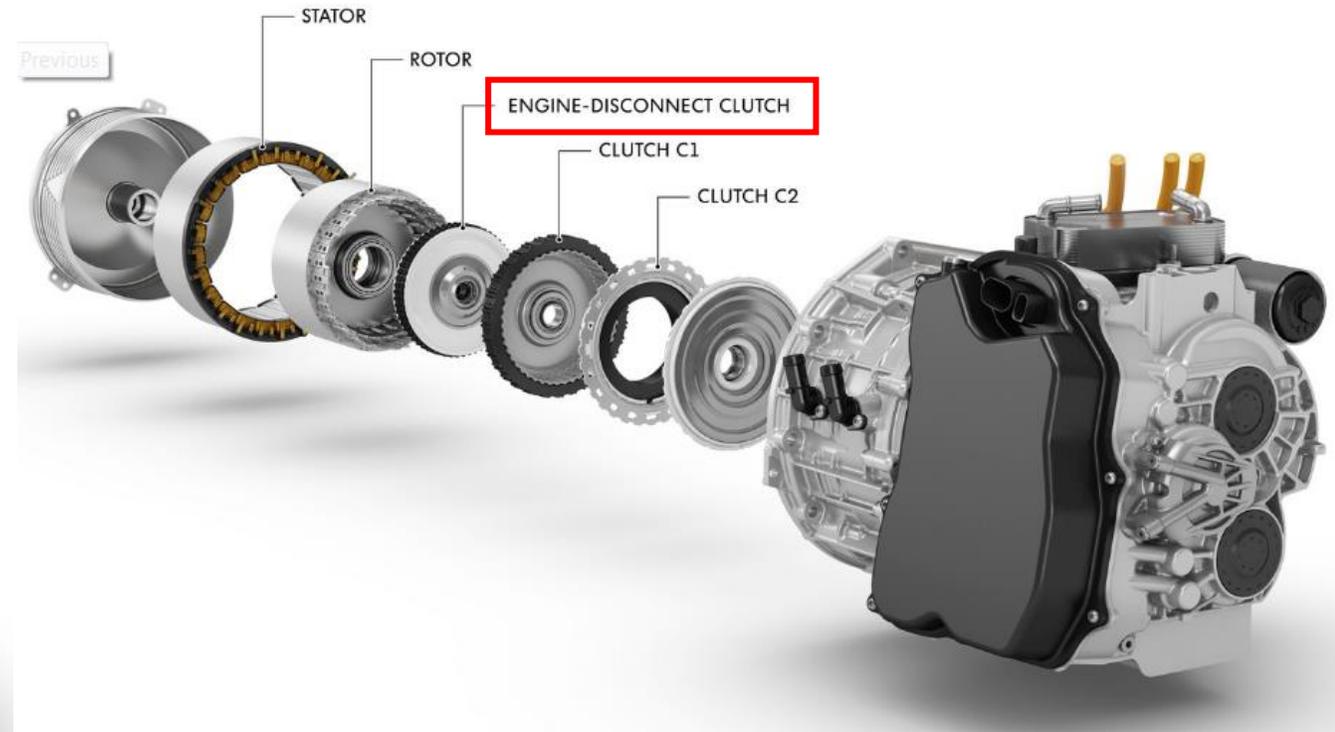


# Transmission hybride avec mode tout électrique

- Exemple : VW Golf GTE

Clutch = embrayage qui permet de désaccoupler le MTH en mode EV

Engine  
150 kW



### Avantages :

- Bon rendement énergétique,
- Peu de modifications dans l'architecture de la transmission (simple arbre notamment),
- Nombre de composants limité,
- Utilisation possible en mode tout thermique.

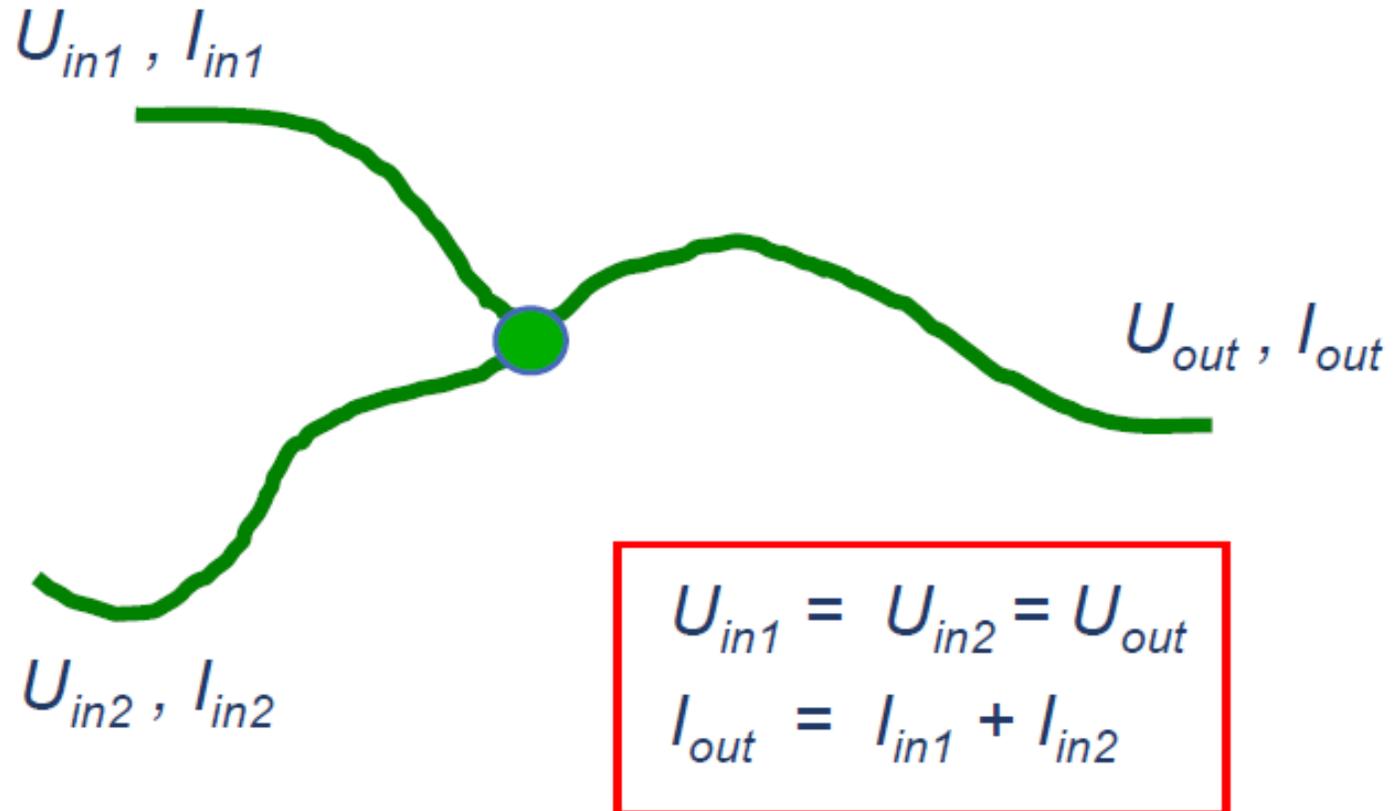
### Inconvénients :

- Plage de fonctionnement du moteur thermique plus large,
- Transitoires dynamiques du moteur thermique pas éliminés,
- Possibilités de downsizing du moteur thermique plus réduites,
- Performances en mode électrique réduites (dynamique, autonomie),
- Gestion de la transmission complexe (changements de modes, dynamique),
- Implantation des composants difficile.

- Contexte et enjeux
- Les différentes architectures hybrides
  - Hybride parallèle
  - Hybride série
  - Hybride à dérivation de puissance
- Les fonctionnalités liées à l'hybridation
- Bilan et perspectives

# Hybridation série

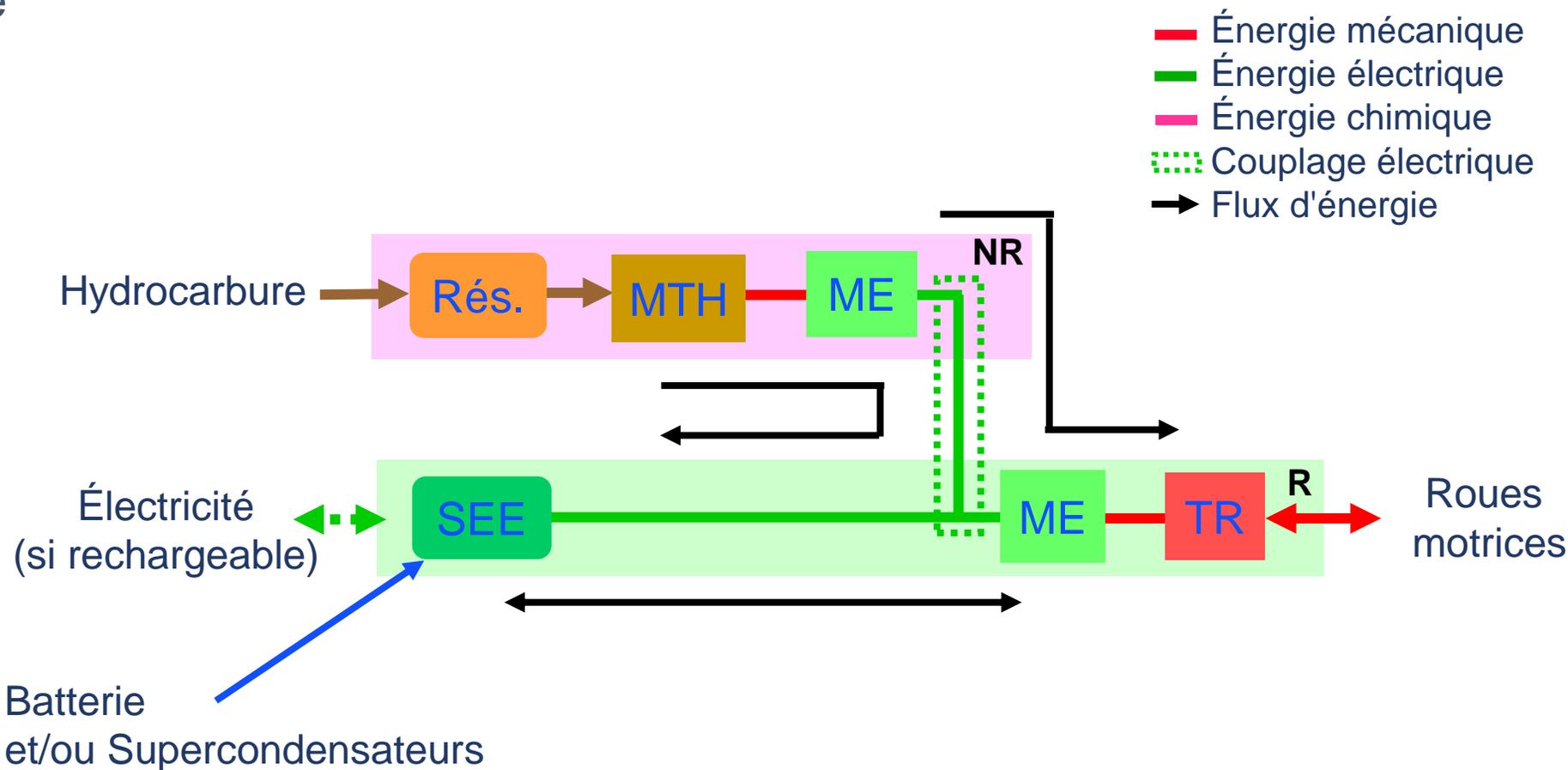
## Couplage électrique par addition de courant



# Véhicule hybride thermique – électrique

## Architecture série

### ● Principe



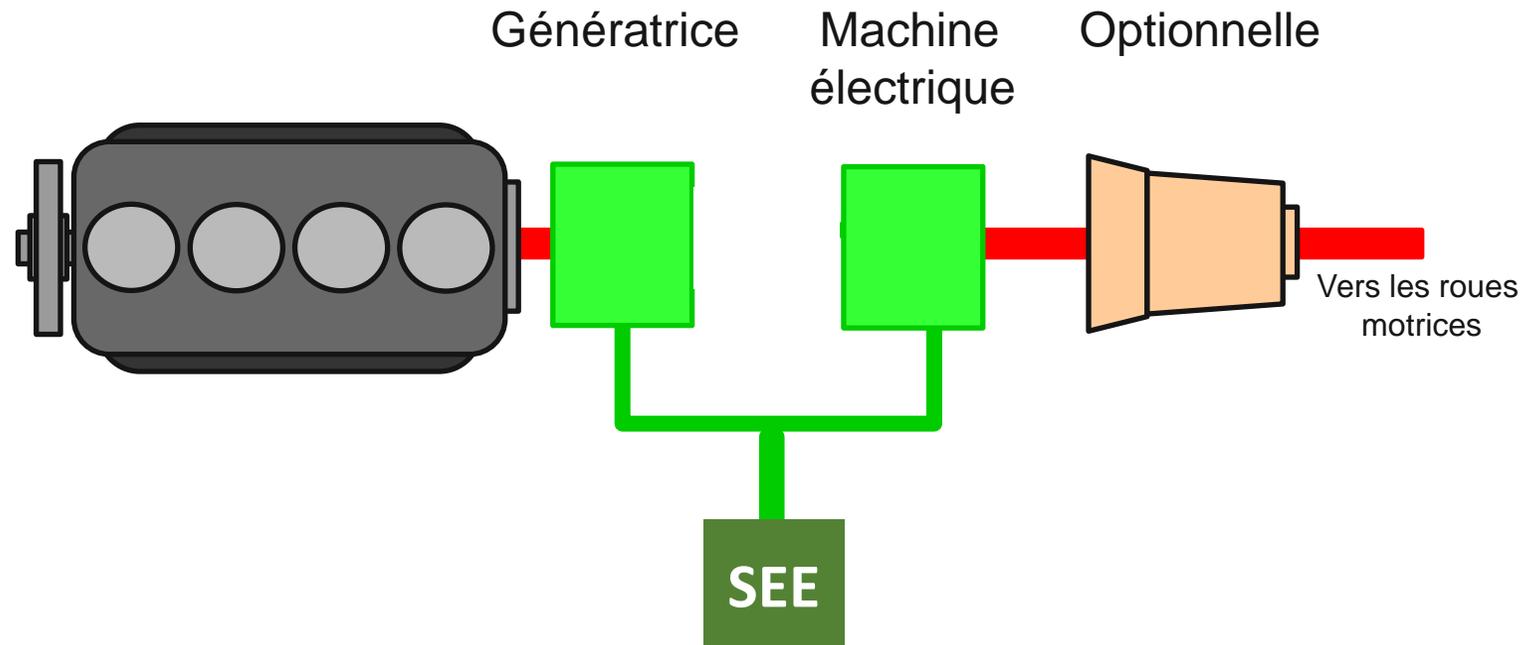
\*Res=Reservoir, MTH=Moteur Thermique, ME=Machine Electrique, SEE=Stockage Energie Elec., TR=Transmission

# Véhicule hybride thermique – électrique

## Architecture série

- Schéma technologique

### Series Hybrid



# Véhicule hybride thermique – électrique

## Architecture série

### ● Exemple : BMW i3 VE

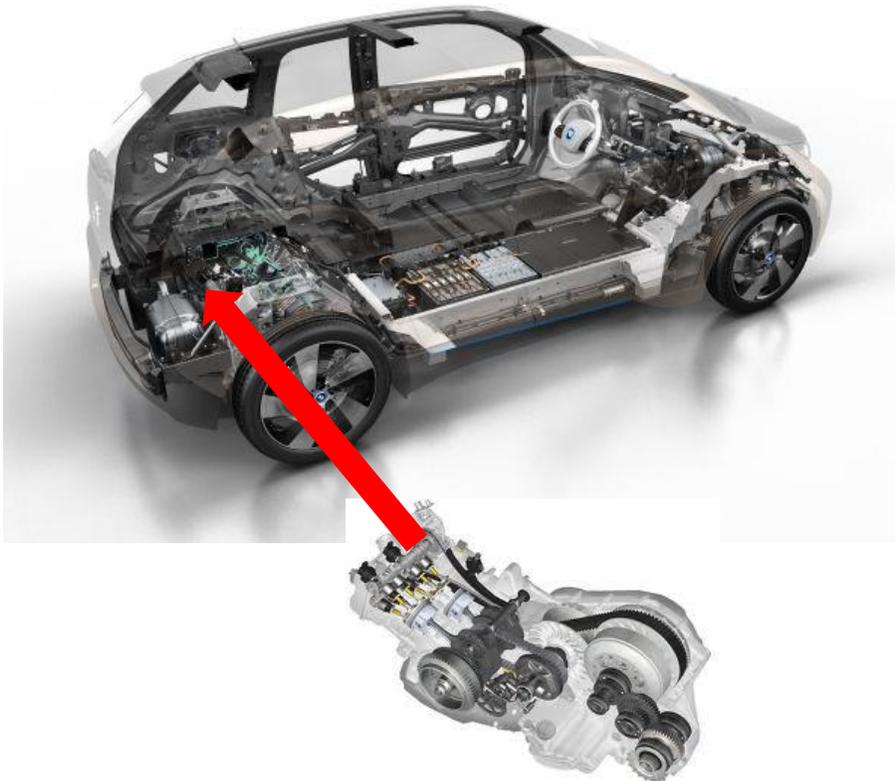


- Version électrique :
  - Batterie : Li-Ion
  - – MEL : 125 kW
  - Autonomie (NEDC) : 190 km (22 kWh)  
300 km (33 kWh, 2017)  
(WLTP) : ~300 km (42 kWh, 2019)
  - Prix : ~40 000 € (42 kWh)
  - Seul modèle commercialisé à ce jour : VE 42 kWh

# Véhicule hybride thermique – électrique

## Architecture série

### ● Exemple : BMW i3 VEH avec prolongateur d'autonomie (Range EXtender)



- Version électrique :
  - Batterie : Li-Ion
  - MEL : 125 kW
  - Autonomie (NEDC) : 190 km (22 kWh)  
300 km (33 kWh, 2017)  
(WLTC) : ~300 km (42 kWh, 2019)
  - Prix : ~40 000 € (42 kWh)
  - Seul modèle commercialisé à ce jour : VE 42 kWh

- ➔ Version hybride (REX) :
- MTH : 25 kW, bicylindre (650 cm<sup>3</sup>, essence)
  - Autonomie totale : ~300 km NEDC (22 kWh)  
~400 km NEDC (33 kWh)
  - Prix du REX ~4500 €

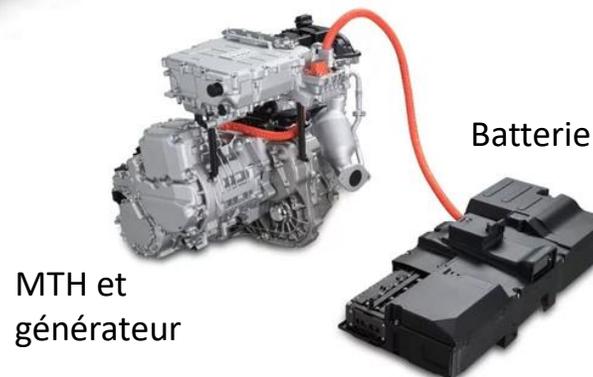
# Véhicule hybride thermique – électrique

## Architecture série

### ● Exemple : Nissan Note e-Power



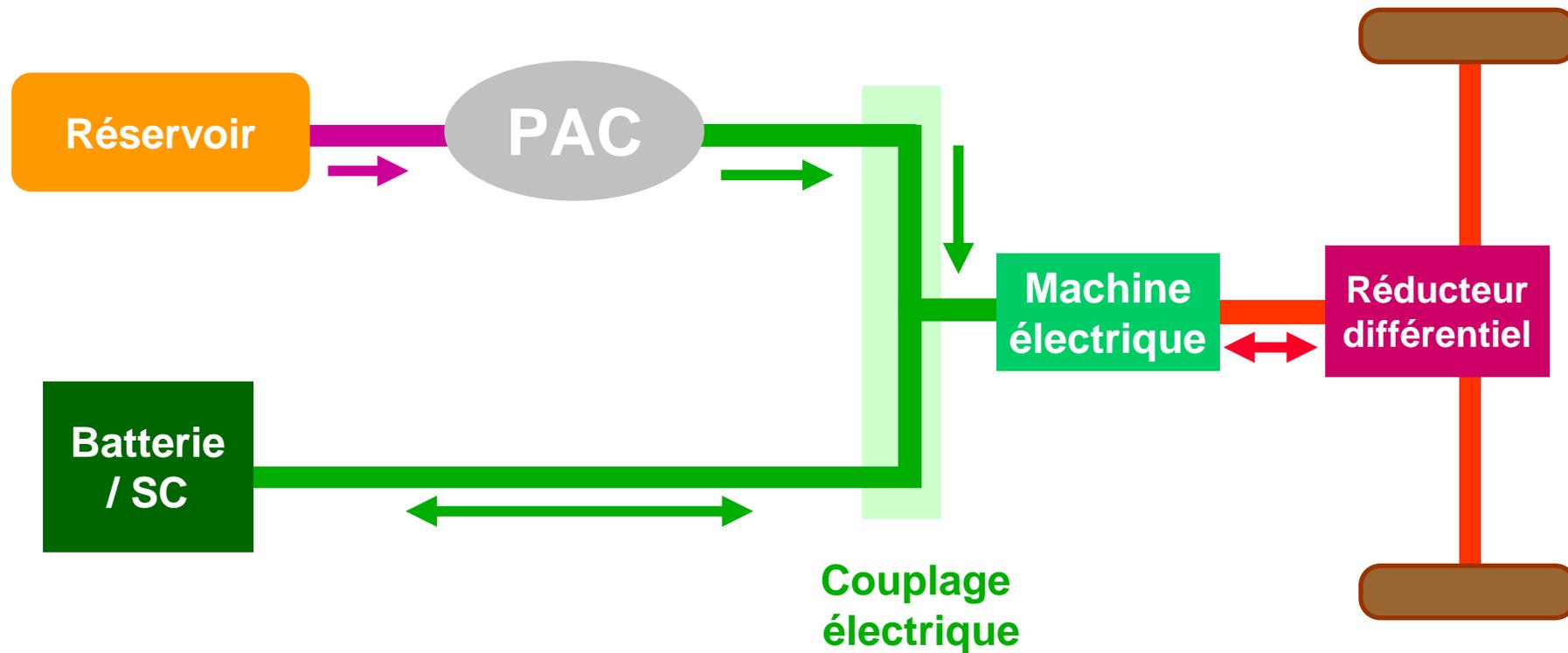
- Nissan e-Power :
  - Batterie : Li-Ion 1,5 kWh
  - Autonomie ZEV : Non significative
  - MEL : 80 kW
  - MTH : 58 kW (1.2 L, essence)
  - Conso : 2.7 à 2.9 l/100 km
  - Gain de conso théorique de l'ordre de 40 %



# Véhicule hybride PAC – électrique

## Architecture série

- Principe : Hybride pile à combustible-électrique sans moteur thermique

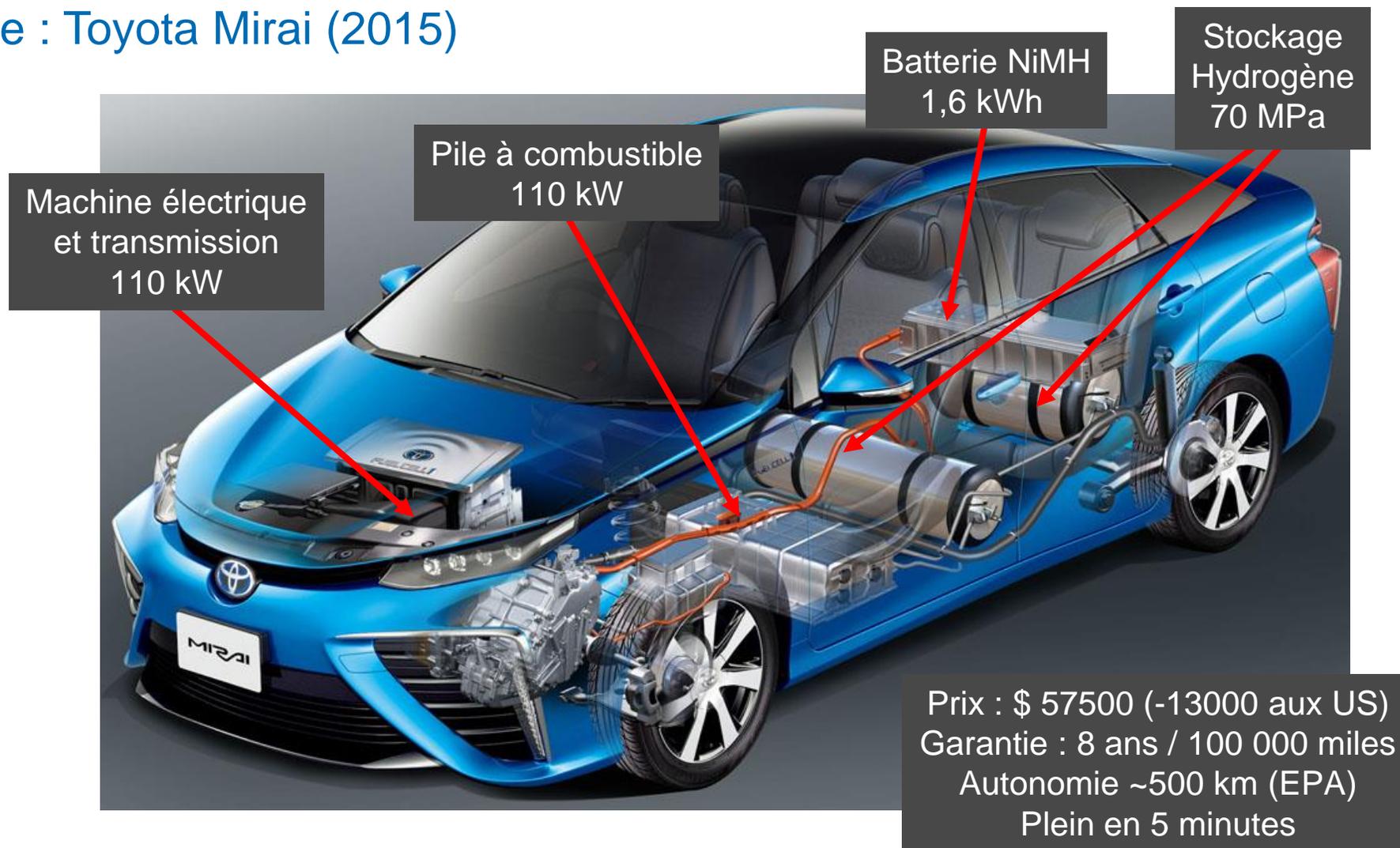


# Véhicule hybride PAC – électrique

## Architecture série

SUSTAINABLE MOBILITY

- Exemple : Toyota Mirai (2015)



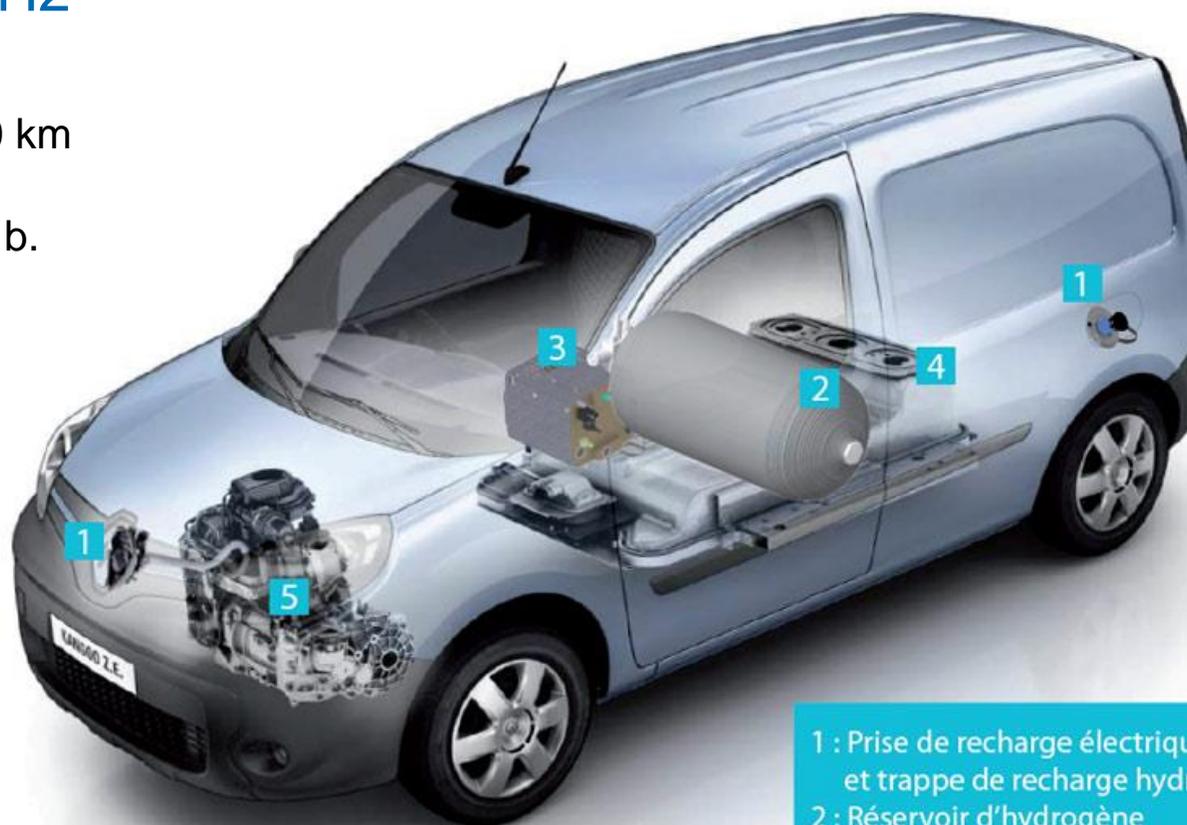
# Véhicule hybride PAC – électrique

## Architecture série

SUSTAINABLE MOBILITY

### ● Exemple : Kangoo ZE H2

Autonomie plus de 300 km  
Recharge en 5 min  
Stockage 1,8 kg à 350 b.



- 1 : Prise de recharge électrique et trappe de recharge hydrogène
- 2 : Réservoir d'hydrogène
- 3 : Pile à combustible
- 4 : Batterie lithium-ion
- 5 : Moteur électrique

### Avantages :

- Choix du point de fonctionnement du moteur thermique (régime, couple, puissance),
- Réduction très forte de la dynamique du moteur thermique possible,
- Downsizing important du moteur thermique possible,
- Très bonnes performances en mode électrique (dynamique, autonomie),
- Facilité d'implantation des composants (Poids-Lourds et Transports en Commun notamment),
- Gestion de la transmission aisée.

### Inconvénients :

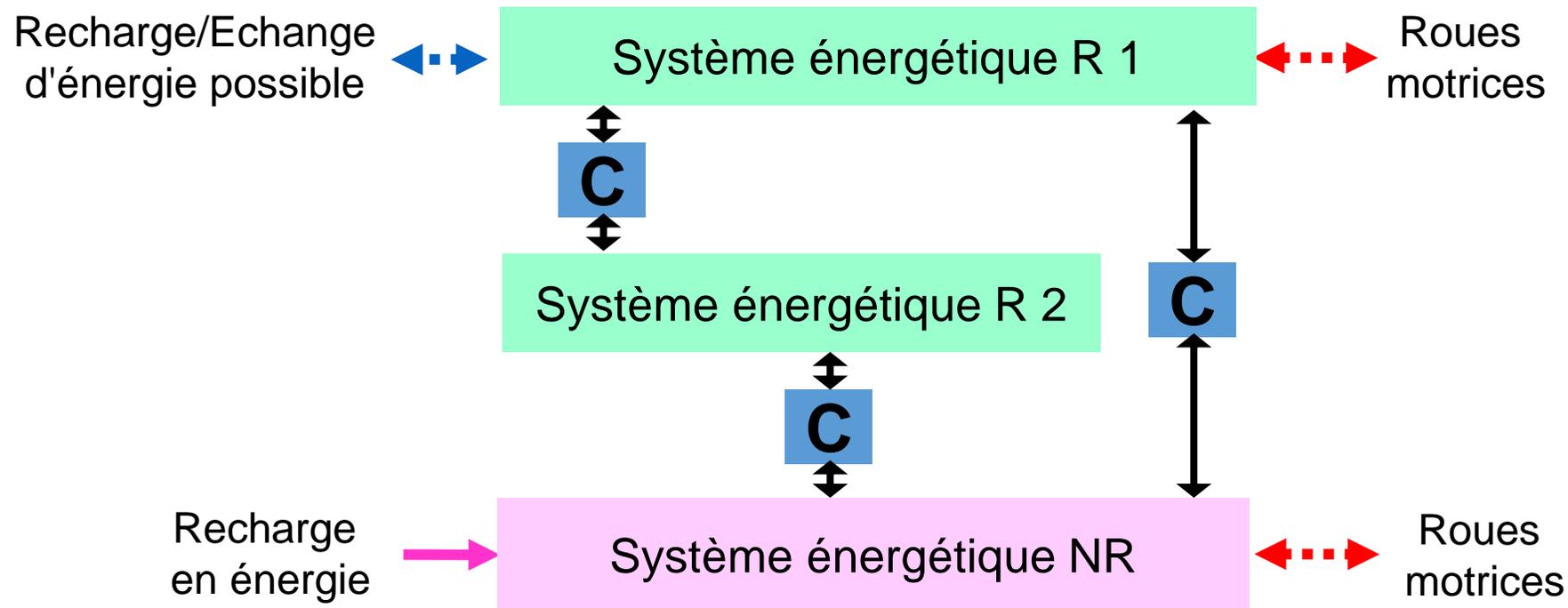
- Faible rendement énergétique,
- Nécessité d'utiliser deux machines électriques (coût, masse, volume),
- Pas d'utilisation possible en mode tout thermique.

- Contexte et enjeux
- Les différentes architectures hybrides
  - Hybride parallèle
  - Hybride série
  - Hybride à dérivation de puissance
- Les fonctionnalités liées à l'hybridation
- Bilan et perspectives

# Hybridation série / parallèle

## Architecture à dérivation de puissance

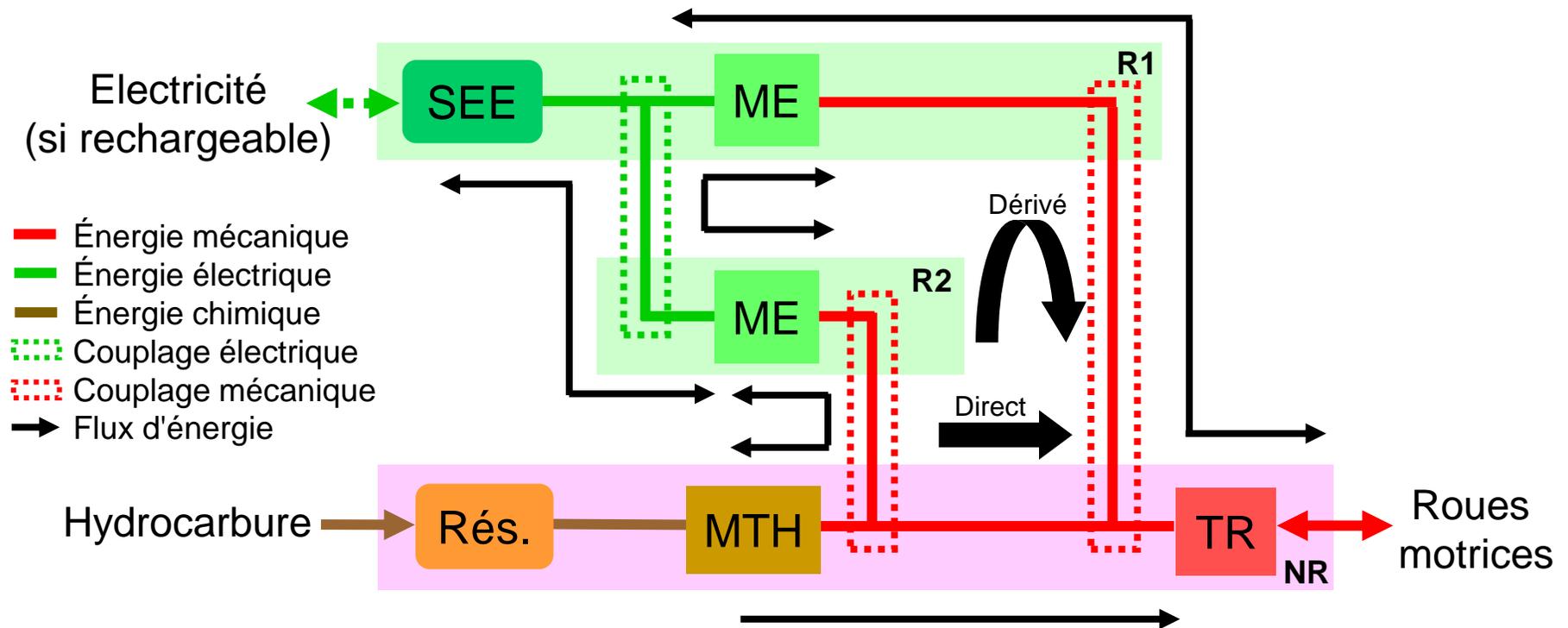
- Schéma de principe à trois systèmes énergétiques



# Véhicule hybride thermique – électrique

## Architecture série – parallèle et dérivation de puissance

- Schéma de principe à trois systèmes énergétiques
  - Combinaison simultanée des deux flux

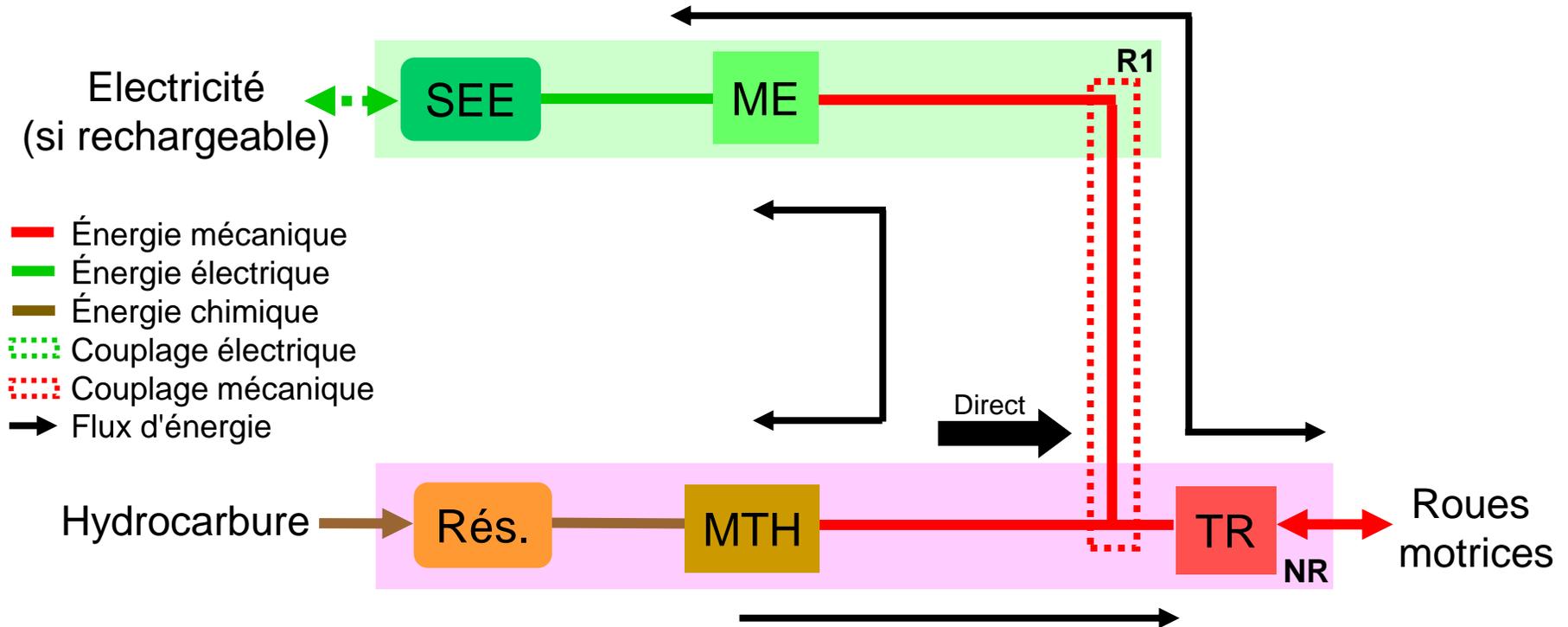


\*Rés=Réservoir, MTH=Moteur Thermique, ME=Machine Electrique, SEE=Stockage Energie Elec., TR=Transmission

# Véhicule hybride thermique – électrique

## Architecture série – parallèle et dérivation de puissance

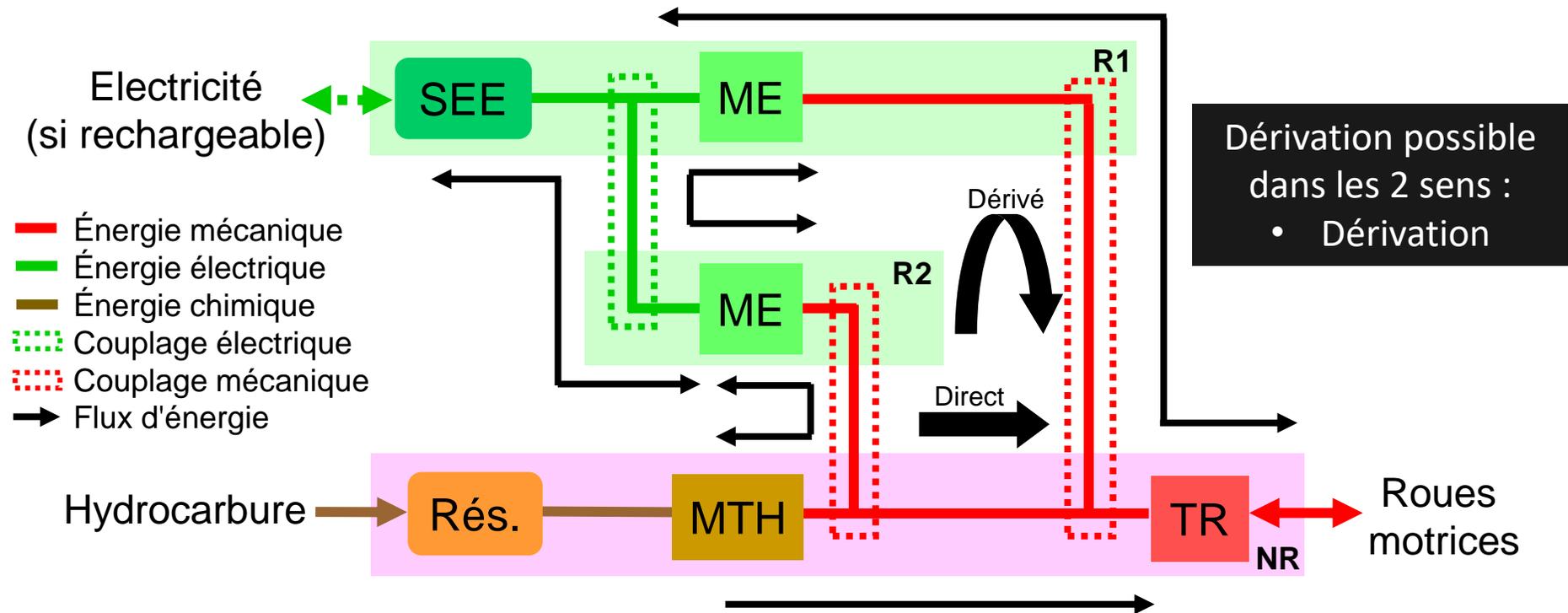
### ● Flux direct



# Véhicule hybride thermique – électrique

## Architecture série – parallèle et dérivation de puissance

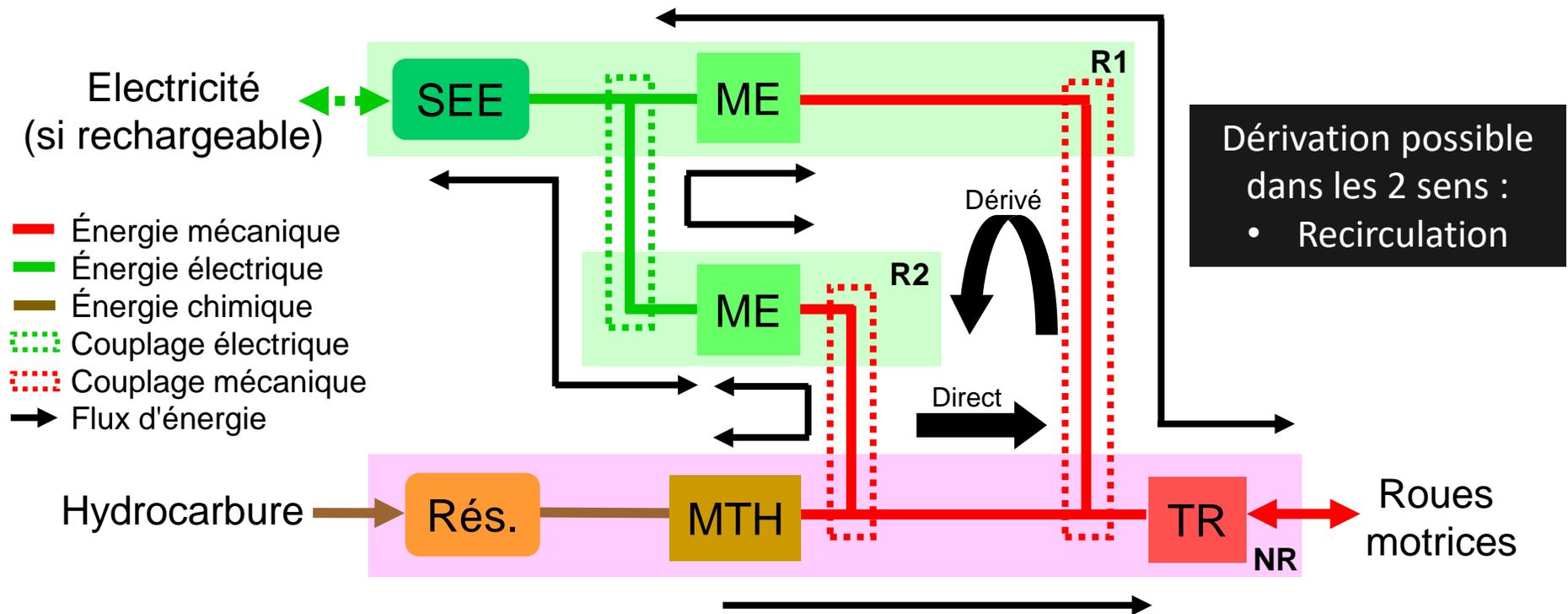
- Combinaison simultanée des deux flux avec dérivation



# Véhicule hybride thermique – électrique

## Architecture série – parallèle et dérivation de puissance

- Combinaison simultanée des deux flux avec recirculation



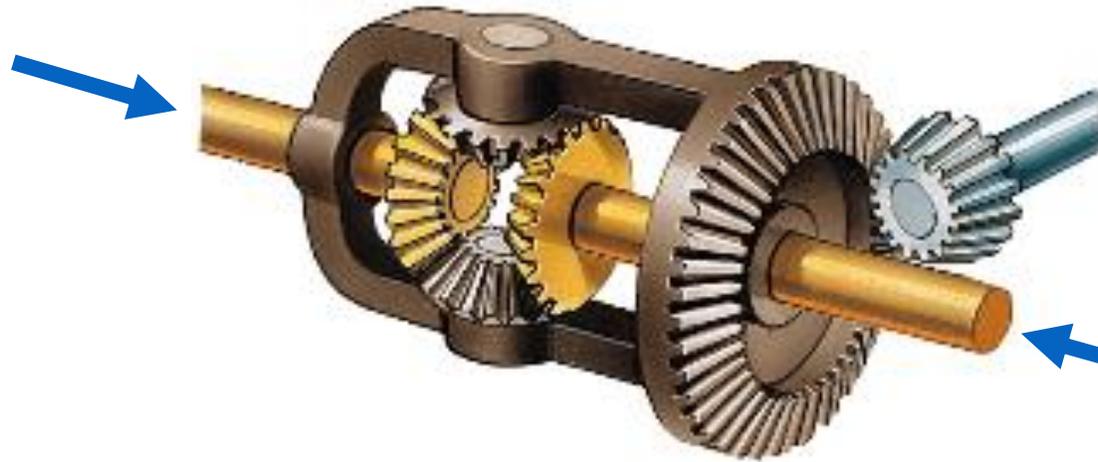
# Véhicule hybride thermique – électrique

## Architecture parallèle et série (dérivation de puissance)

### ● Adaptation du train épicycloïdal à la motorisation hybride

Remarque : Arrangement mécanique différent du différentiel automobile

Branche Dérivée (série)



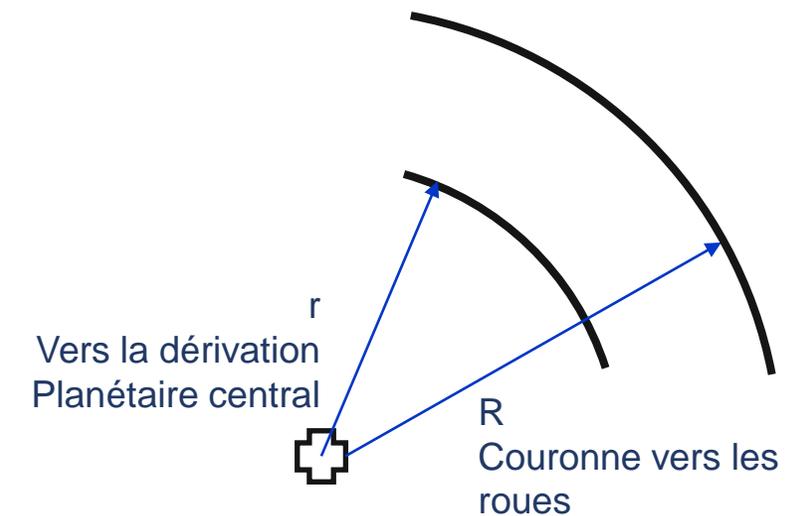
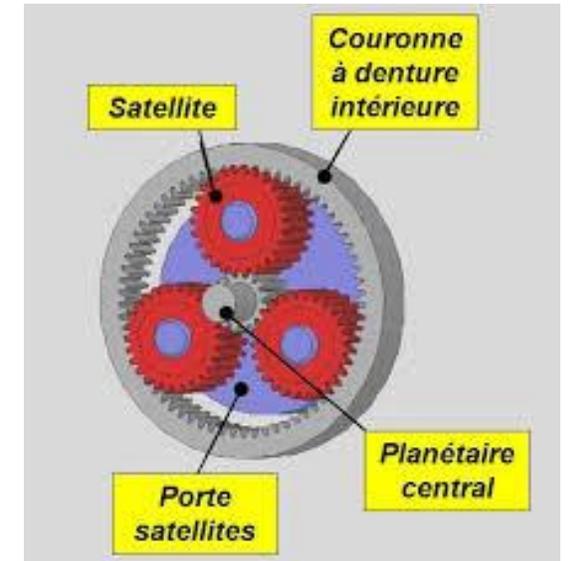
Moteur thermique

Deviens pour un hybride

Branche Directe (parallèle)

Vers les roues

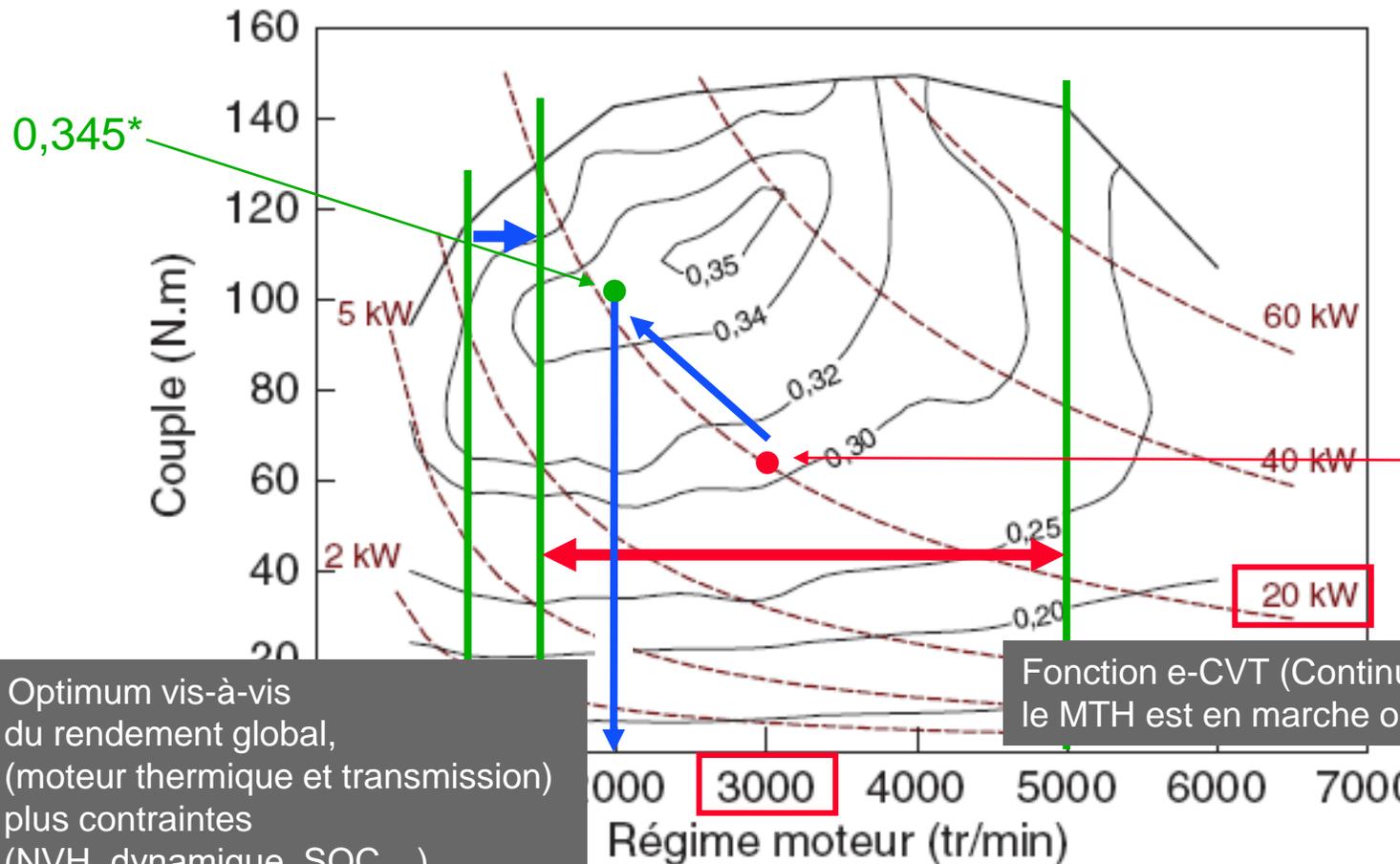
$$K_1 \cdot \omega_{MTH} + K_2 \cdot \omega_{Dérivée} = \omega_{Roues}$$



# Utilisation du degré de liberté sur le régime du moteur thermique

## Recherche du rendement optimal de la transmission (1/3)

### Diagramme régime – couple du MTH



→ Pour maximiser le rendement du MTH, il est préférable de diminuer le régime du MTH et augmenter sa charge. On peut même augmenter légèrement sa puissance pour pouvoir faire de la recirculation.

\* Optimum vis-à-vis du rendement global, (moteur thermique et transmission) plus contraintes (NVH, dynamique, SOC...)

Fonction e-CVT (Continuous Variable Transmission) lorsque le MTH est en marche ou en mode tout électrique

3000 tr/mn  
et 20 kW

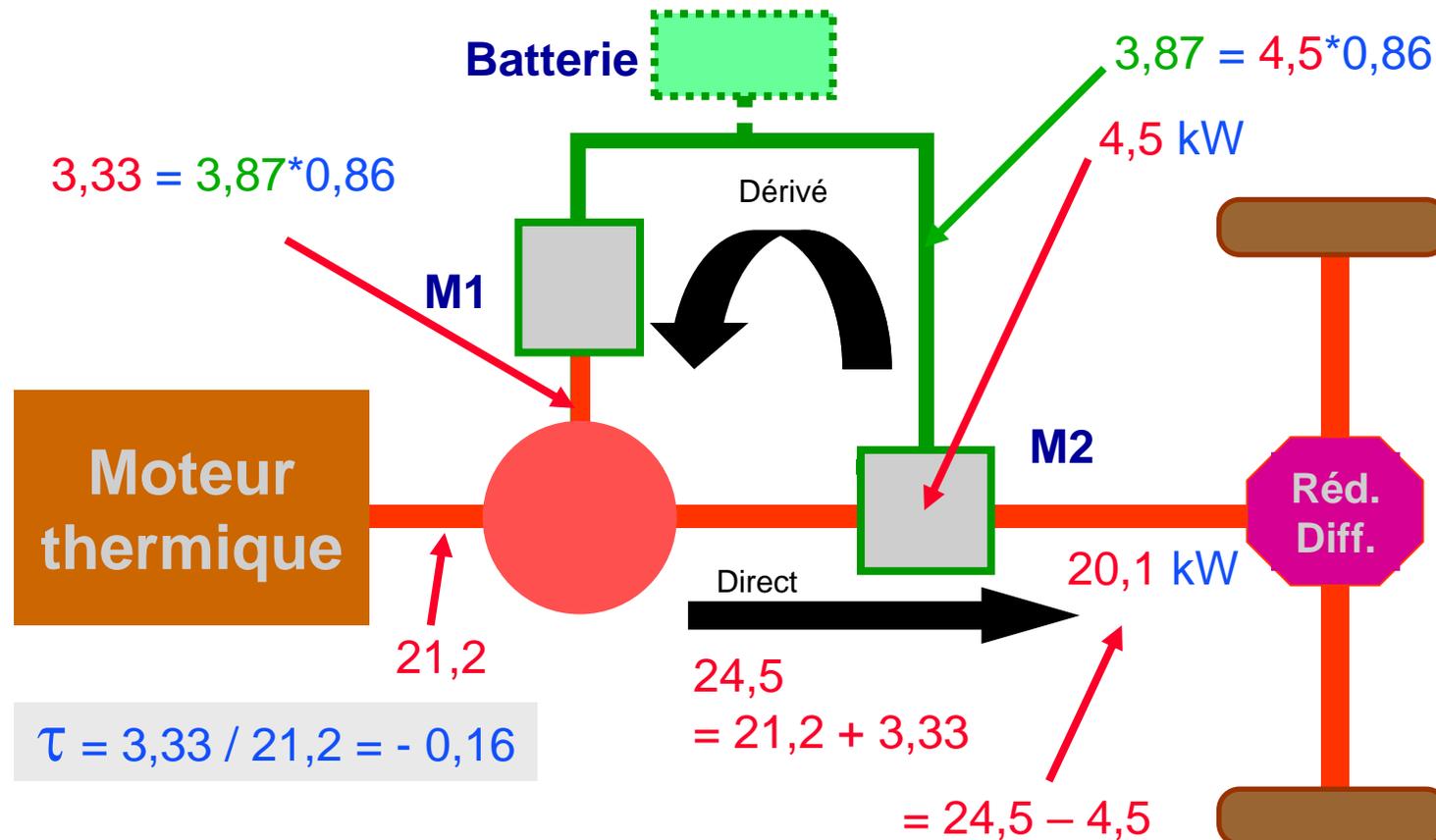
# Utilisation du degré de liberté sur le régime du moteur thermique

## Recherche du rendement optimal de la transmission (3/3)

Diagramme des flux de puissance (exemple en cas de recirculation pour 20kW aux roues)

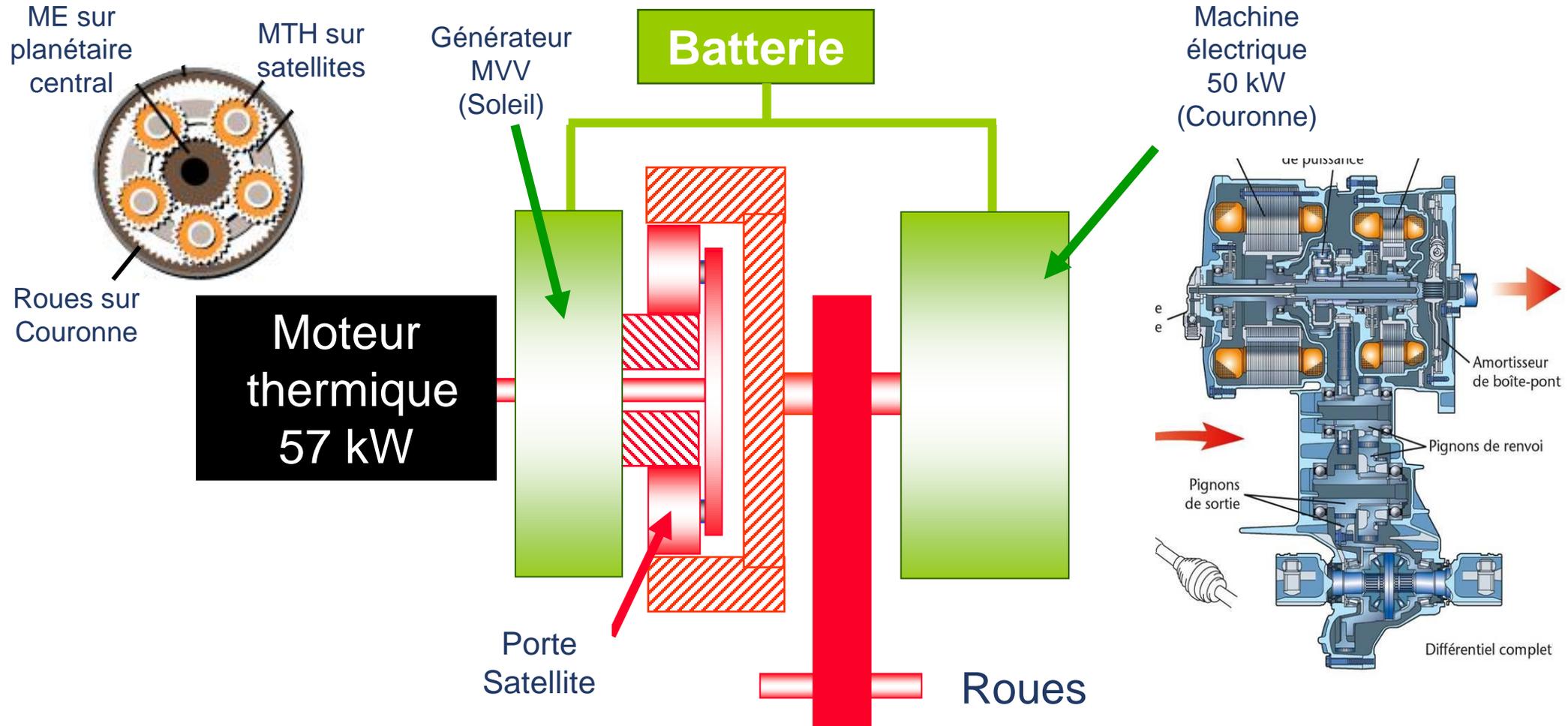
Conso carburant **avec** Trans hyb : Puiss MTH / Rdt MTH = 21,2 / 0,345 = **61,4 kW** (équivalent)

Conso carburant **sans** Trans hyb : Puiss MTH / Rdt TR / Rdt MTH = 20,0 / 0,980 / 0,315 = **64,8 kW**



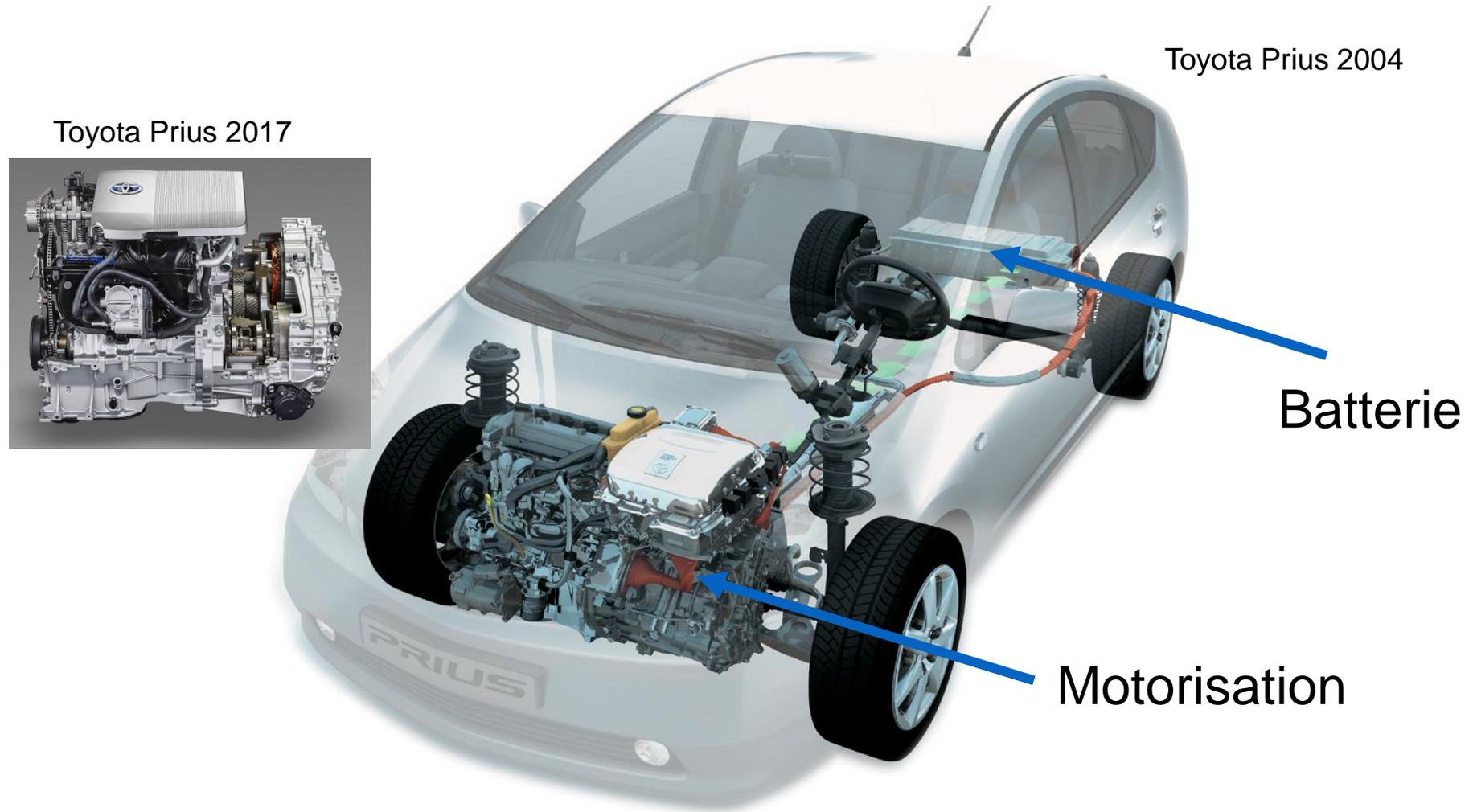
# Technologie de la dérivation de puissance

## ● Exemple 1 : Toyota Prius (1997)



# Technologie de la dérivation de puissance

## ● Exemple 1 : Toyota Prius (1997)



Toyota Prius 2004

Toyota Prius 2017

Batterie

Motorisation

# Architecture comparison

	Parallel based architecture	Serial based architecture	Power-split based architecture
Original powertrain	ICE powertrain	Electric powertrain	From scratch
Electric component	1 EM / limited power	2 EM / high power	2 EM / moderate power
ICE optimization	Limited	High (restricted zone) Power reduction	Good
Efficiency in urban conditions	+	++	++
Efficiency in extra-urban conditions	++	-	+
Performances in ZEV mode	+	++	+
Power transmission management	- <i>(automatic transmission)</i>	++ <i>(no transmission)</i>	+ <i>(continuous transmission)</i>
Cost estimation	0	--	-
Main applications	Golf GTE	BMW i3	Toyota Prius

- Contexte et enjeux
- Les différentes architectures hybrides
  - Hybride parallèle
  - Hybride série
  - Hybride à dérivation de puissance
- Les fonctionnalités liées à l'hybridation
- Bilan et perspectives

# Tableau croisé : Architectures x Fonctionnalités

1

		Architectures			Fonctionnalités <sup>1</sup>		
		Parallèle	Série-parallèle	Série			
Energie(s) consommée(s)	Hydrocarbure	<i>Micro hybrid</i>			<i>Stop-Start</i>	Hybrides discrets	Qualificatif
		<i>Micro-Mild hybrid</i>			+ récupération au freinage faible		
		<i>Mild hybrid</i>			+ récupération moyenne et assistance au MTH		
	<i>Full Hybrid</i>			+ récupération bonne, assistance au MTH et mode électrique superviseur			
	Hydrocarbure et électricité	<i>Plug-in hybrid</i> <i>(Blended, Urban capable, No compromise E-REV, E-REV)</i>			+ mode électrique client et liaison réseau électrique	Hybrides fonctionnels	

2<sup>ème</sup> approche :  
Par **fonctionnalité**



Électrification croissante

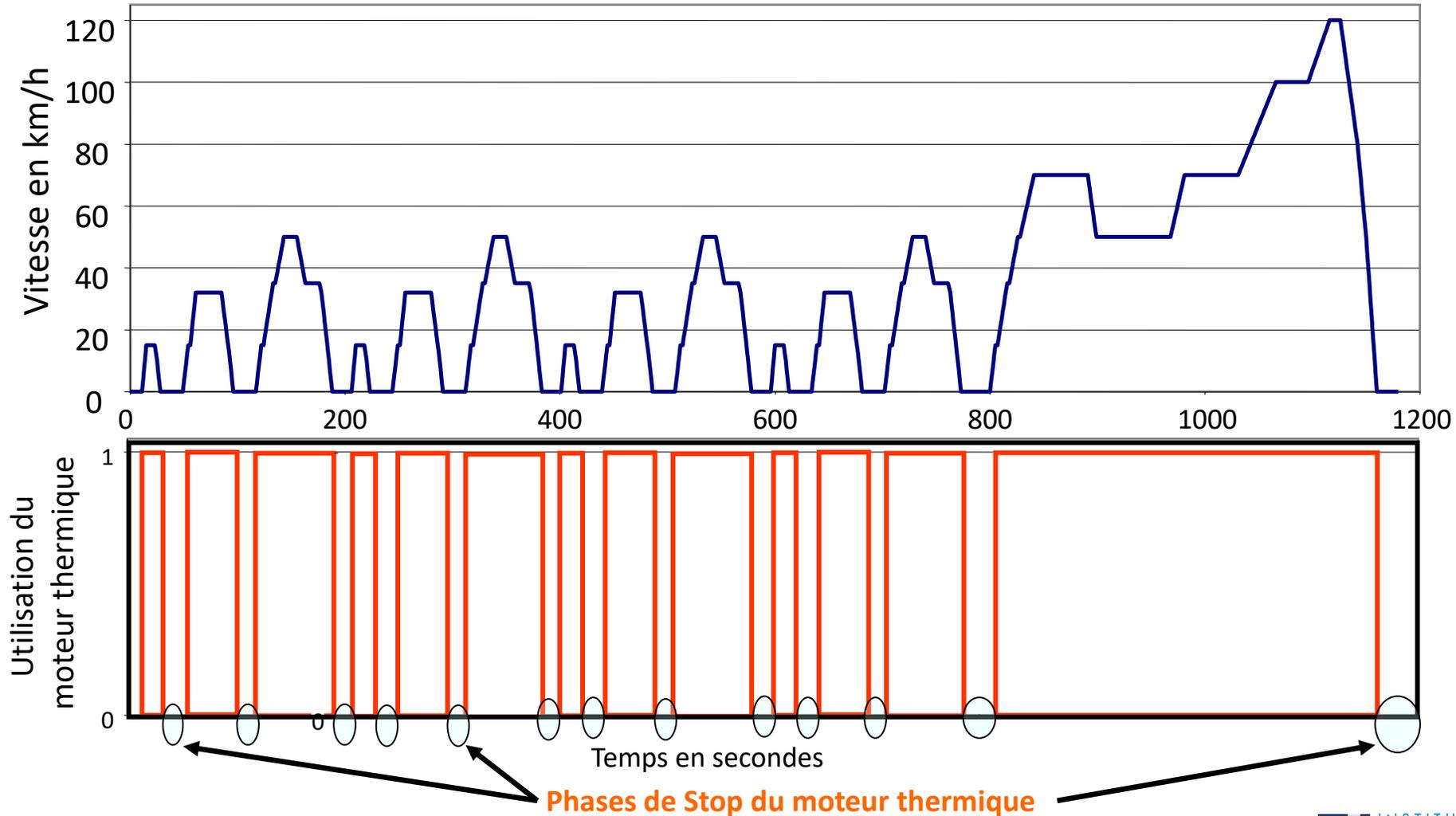
1 : Voir détail au chapitre 5.3

# Stop & Start et mild hybride

## Utilisation du moteur thermique (rappel)

*Micro/mild hybride*

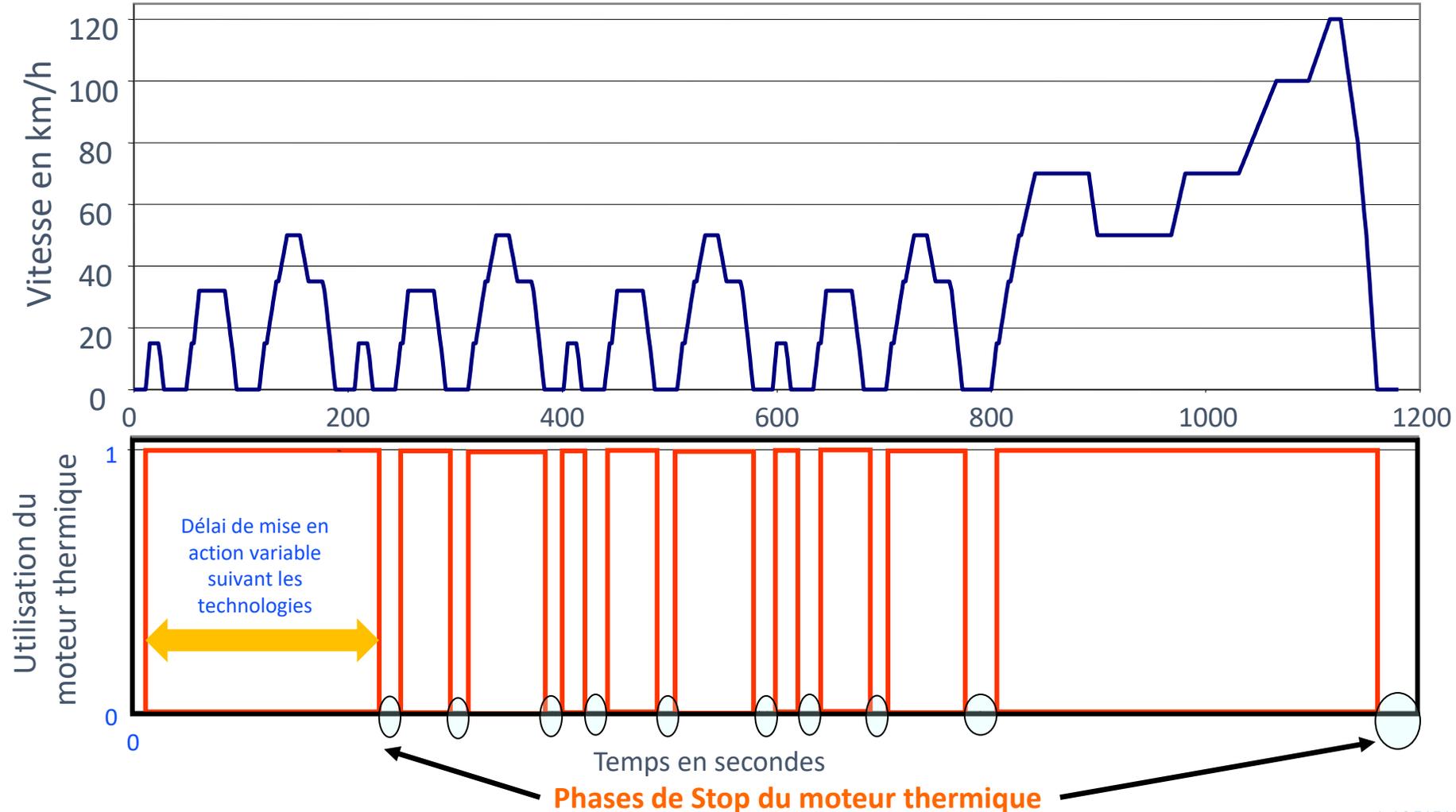
(Ancien) cycle normalisé Européen (si départ chaud)



# Stop & Start

## Utilisation du moteur thermique

(Ancien) cycle normalisé Européen (cas standard avec départ froid) *Micro/mild hybride*

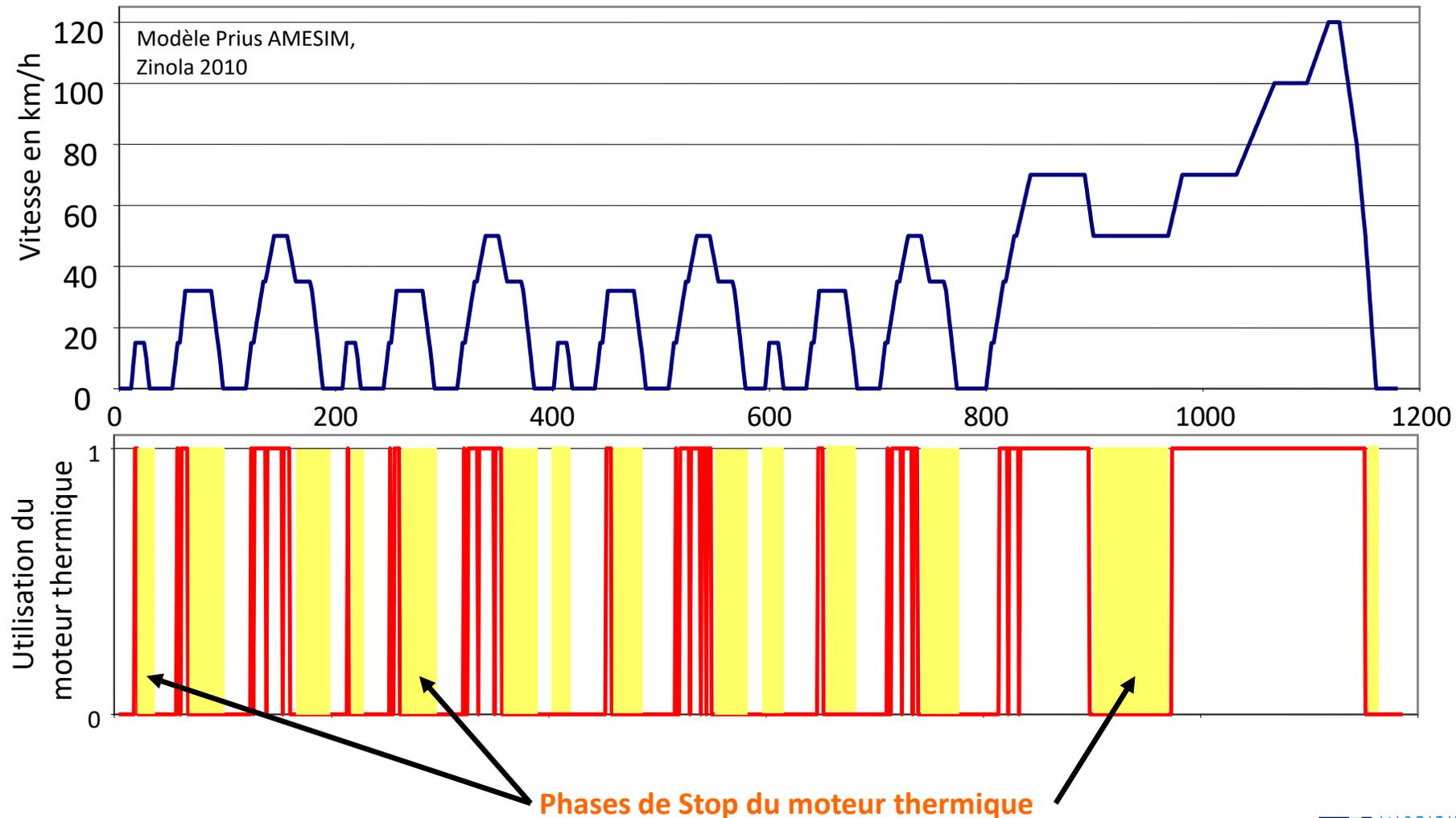


# Transmission hybride avec mode tout électrique

## Utilisation du moteur thermique

*Full hybride*

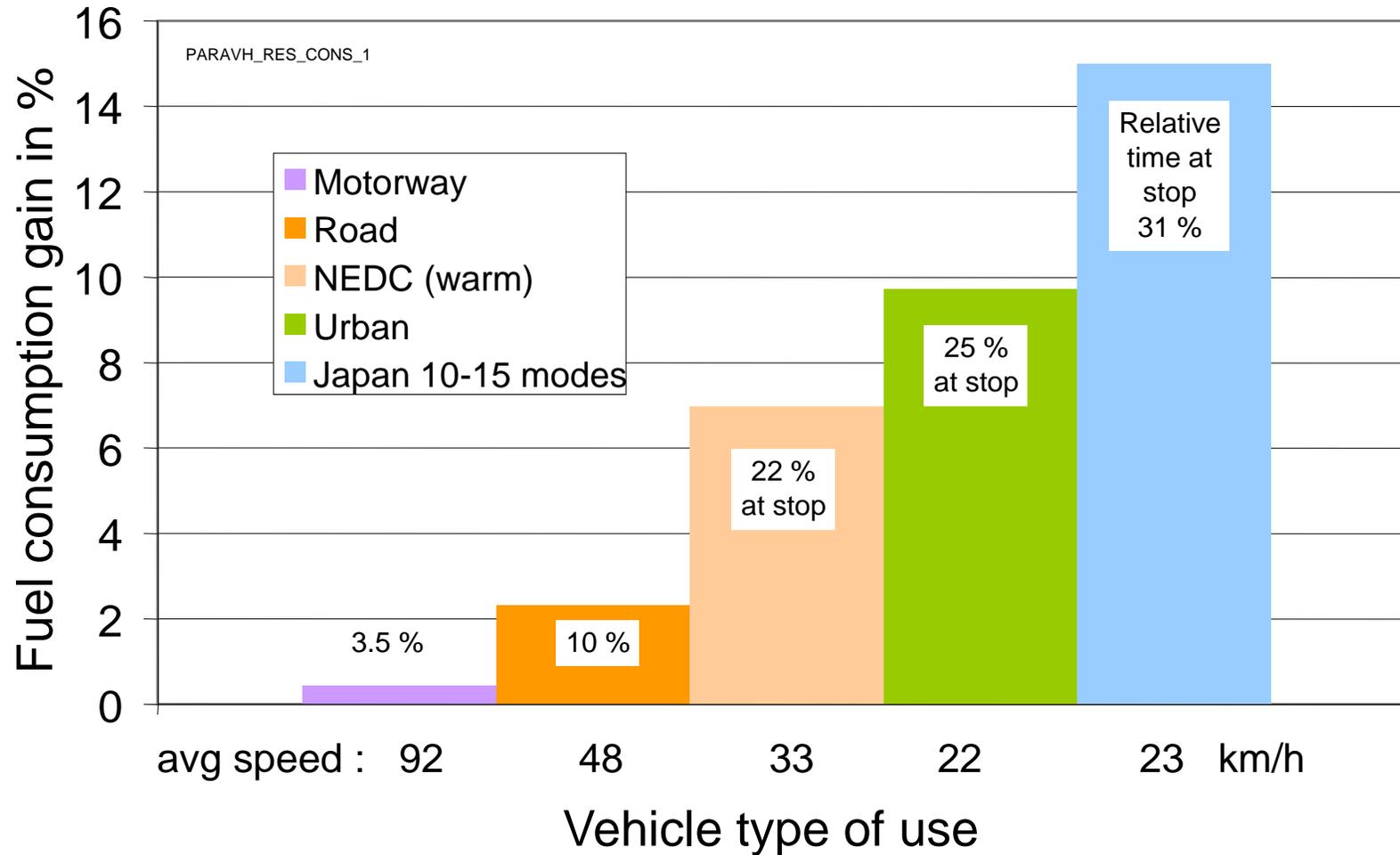
(Ancien) cycle normalisé Européen (si départ chaud)



# Stop & Start

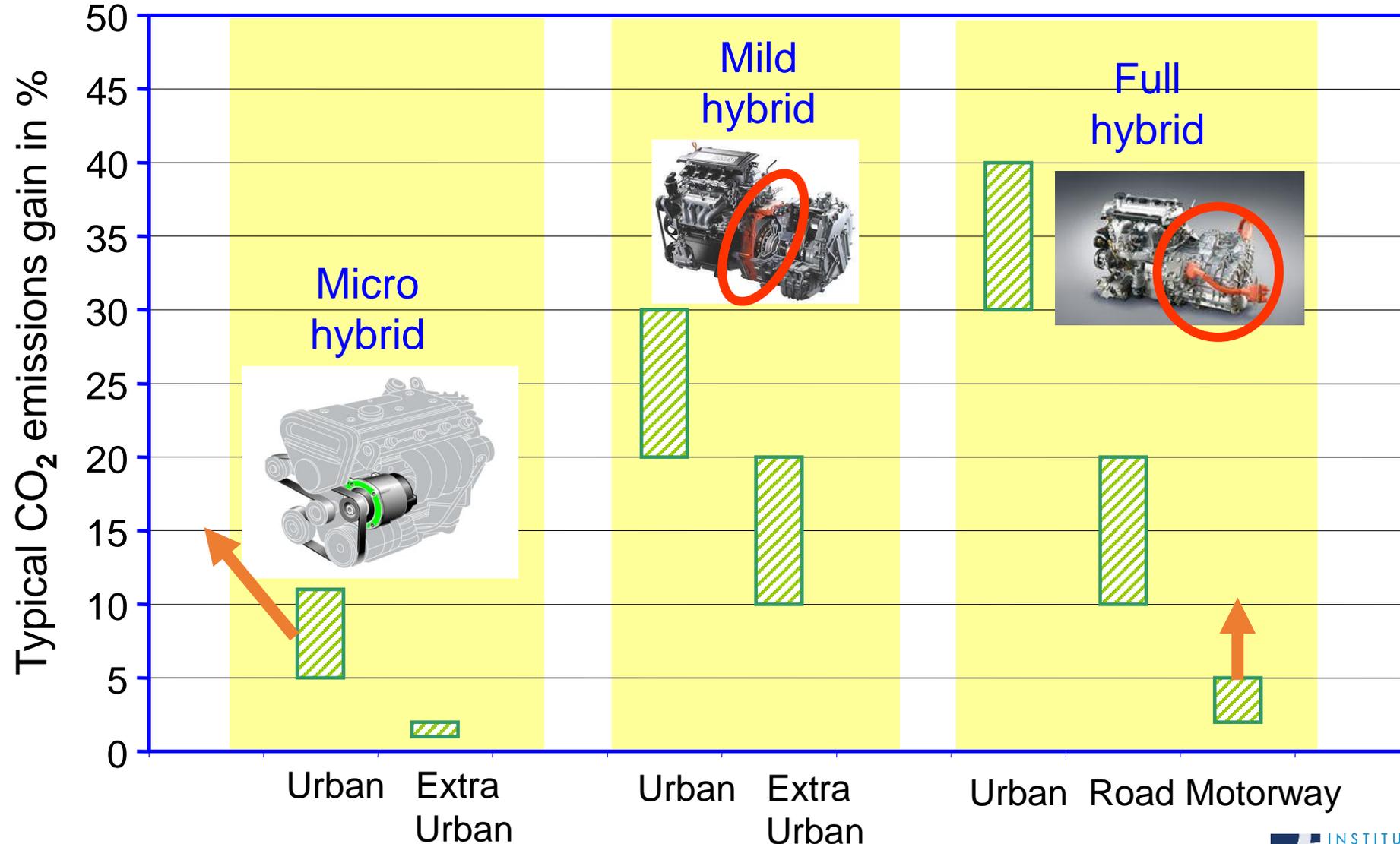
## Potentiel de gain en consommation

### Micro hybride

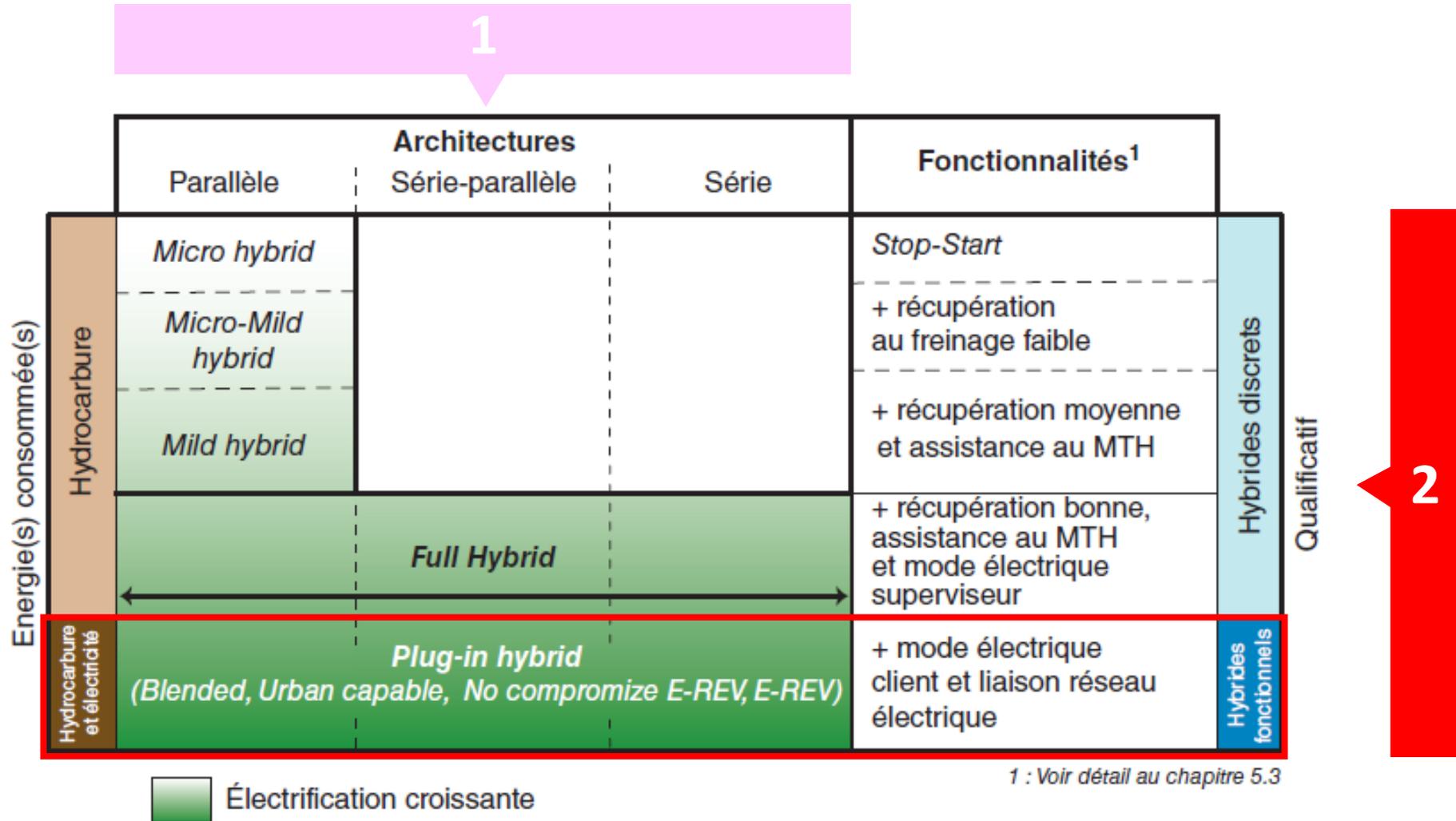


# Synthèse des potentiels de gain en consommation pour les hybrides discrets (1/2)

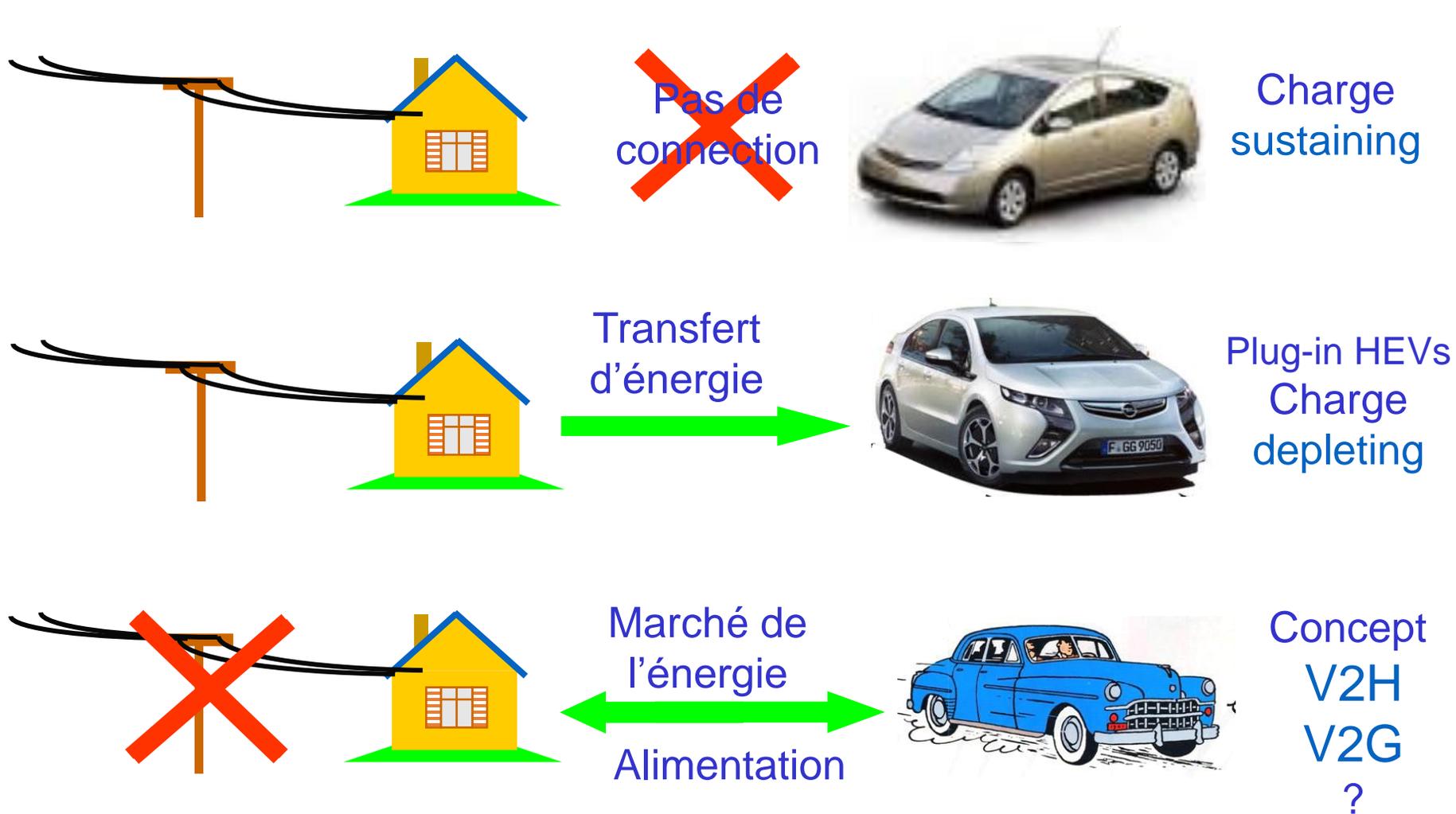
Ordres de grandeur



# Tableau croisé : Architectures x Fonctionnalités



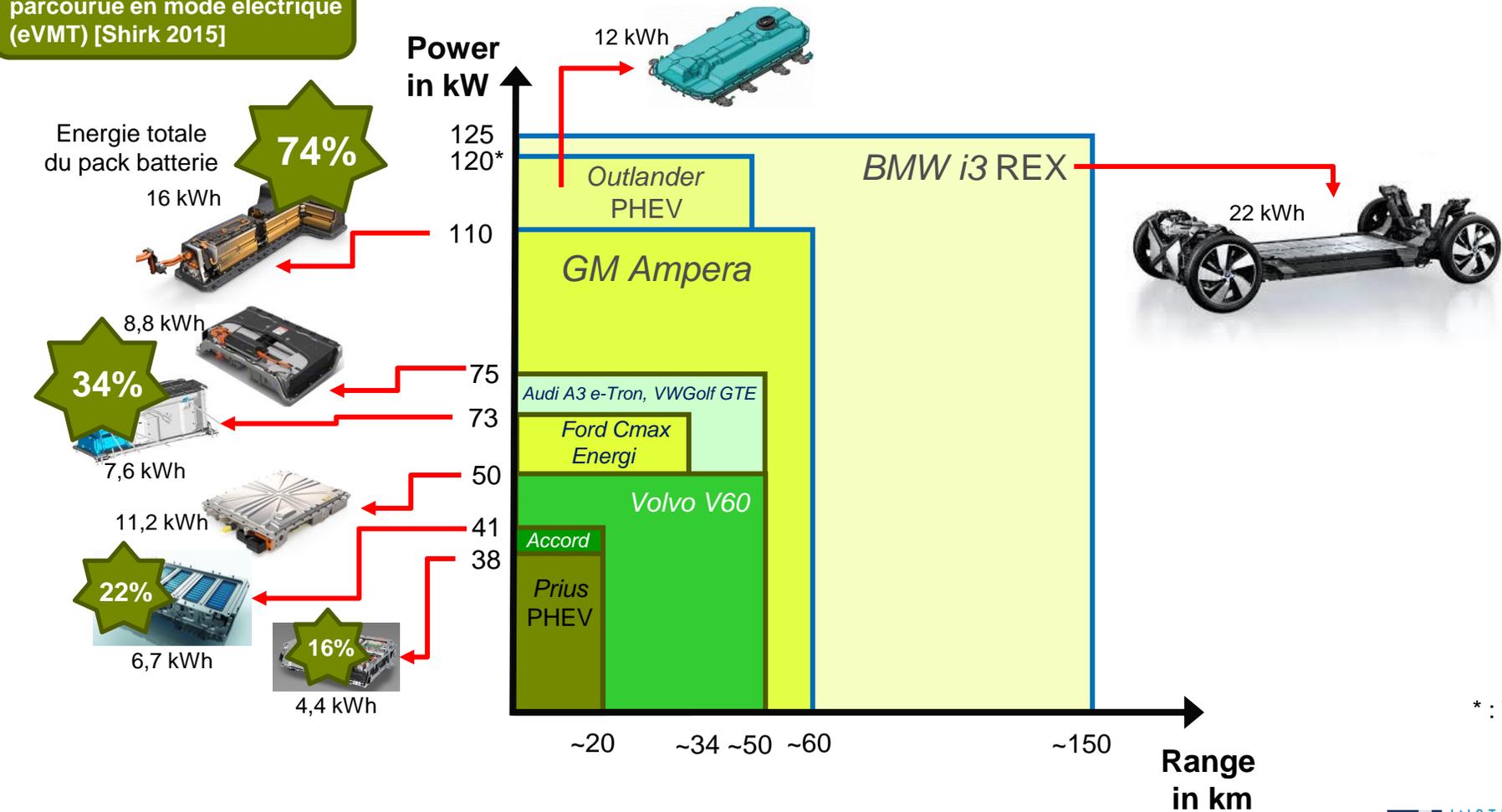
# Relations véhicule – réseau électrique



# Hybrides fonctionnels Charge Depleting (PHEVs)

## Exemples de réalisations : Le développement

Fraction de la distance totale parcourue en mode électrique (eVMT) [Shirk 2015]



\* : Tbc

# Particularité du stockage en hybrides rechargeables

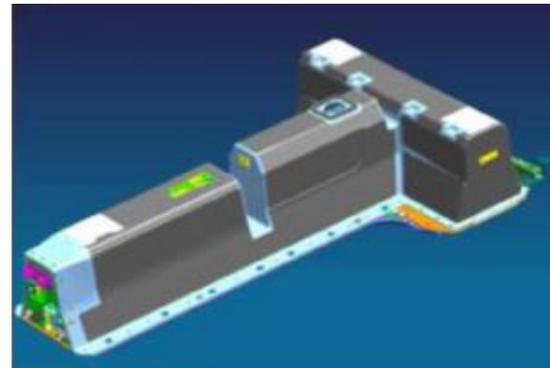
## Dimensionnement complexe en énergie et puissance

- Type Prius rechargeable



~ 40 kW  
~ 4,4 kWh nominal

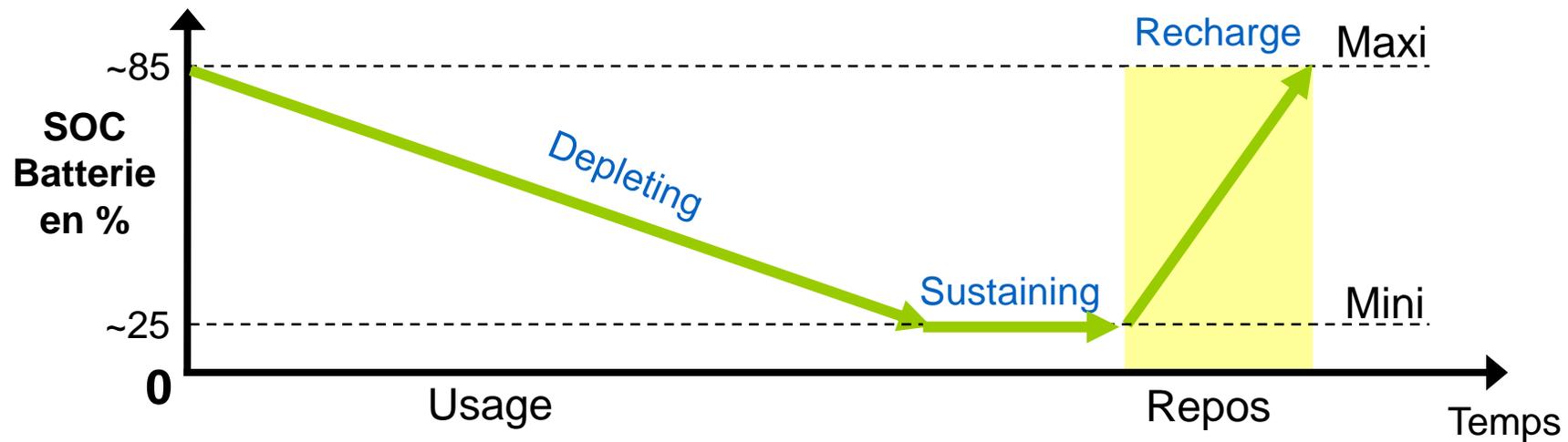
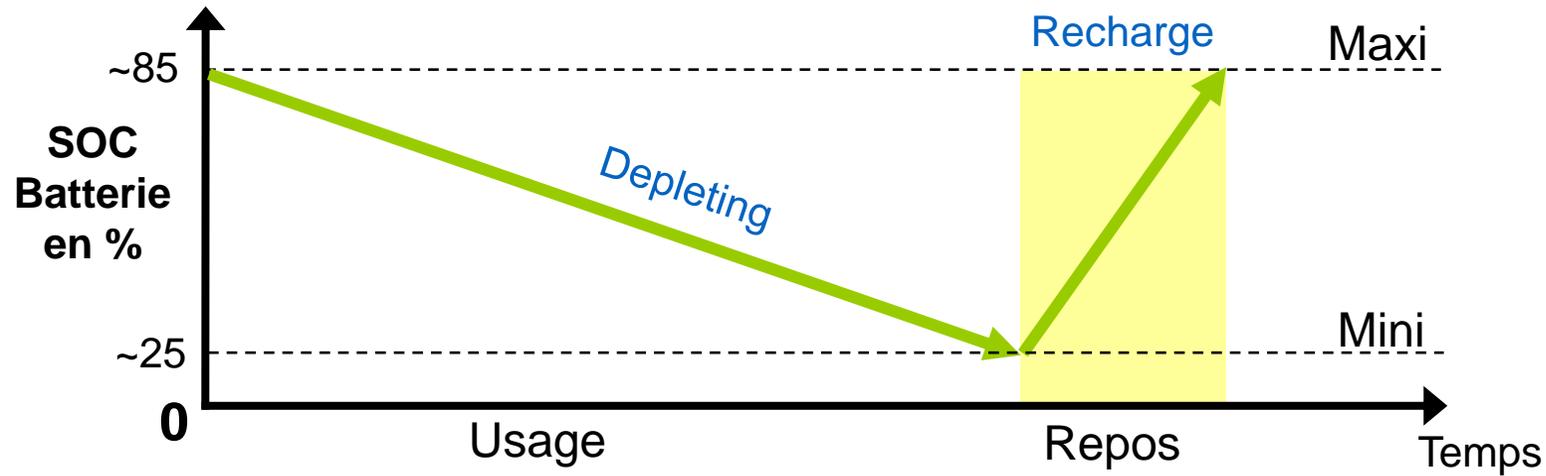
- Type GM Volt – Ampera



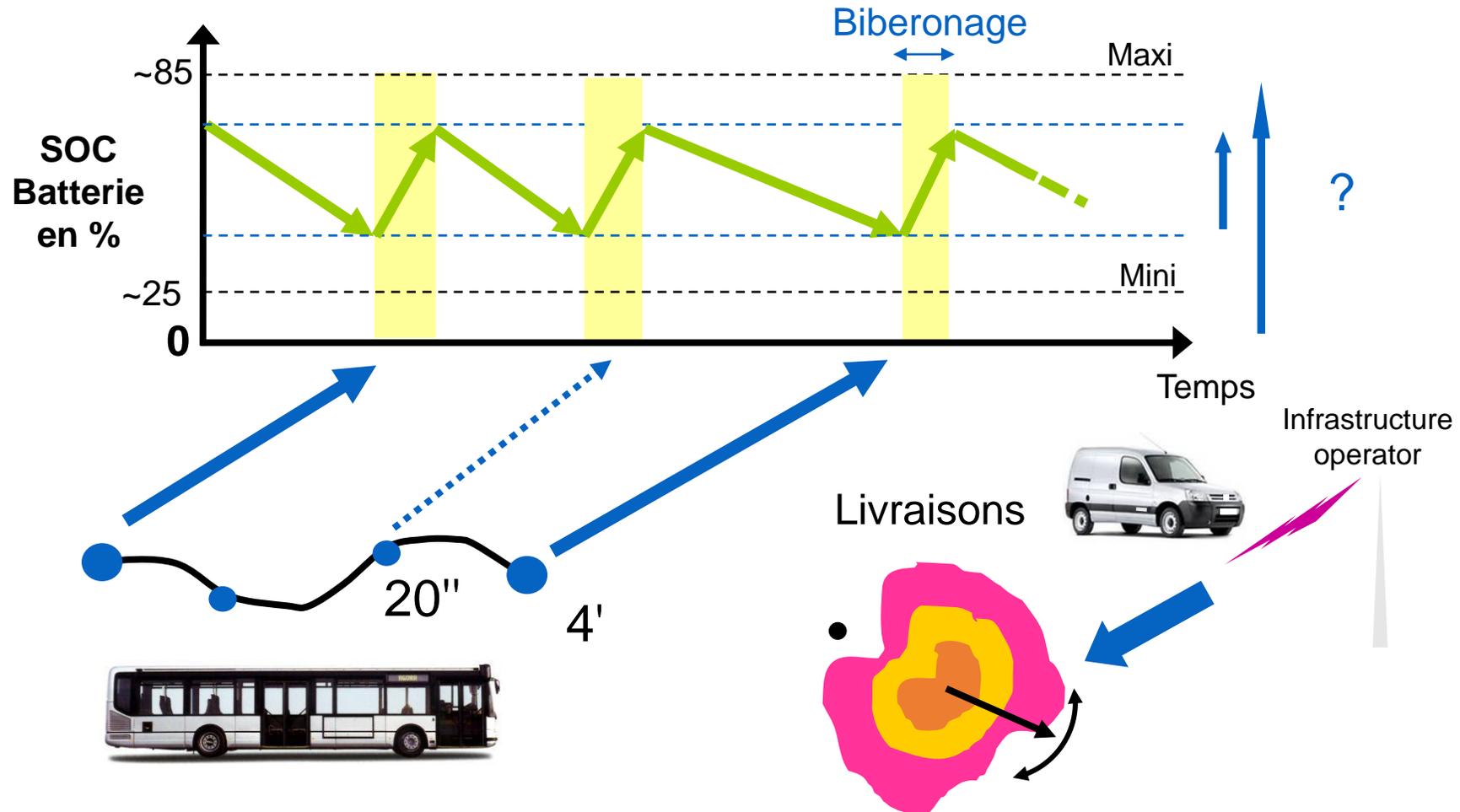
~ 100 kW  
~ 16 kWh nominal

# Hybrides fonctionnels Charge Depleting (PHEVs)

## Gestion de la batterie (approche énergie)



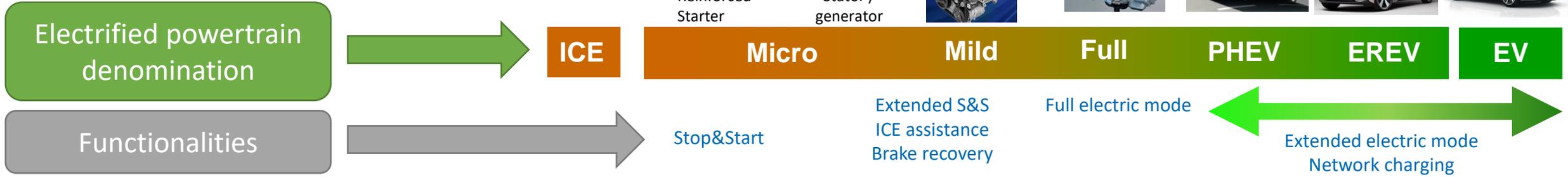
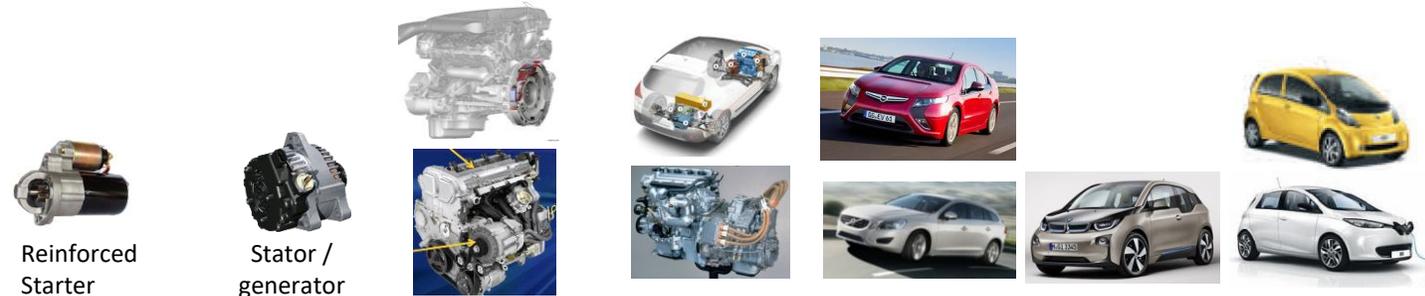
# Hybrides fonctionnels Charge Depleting (PHEVs) Avec 'Biberonage'



- Contexte et enjeux
- Les différentes architectures hybrides
  - Hybride parallèle
  - Hybride série
  - Hybride à dérivation de puissance
- Les fonctionnalités liées à l'hybridation
- Bilan et perspectives

# Electrified powertrain classification

PHEV : Plug-in Hybrid Electric Vehicle  
 EREV : Extended Range Electric Vehicle

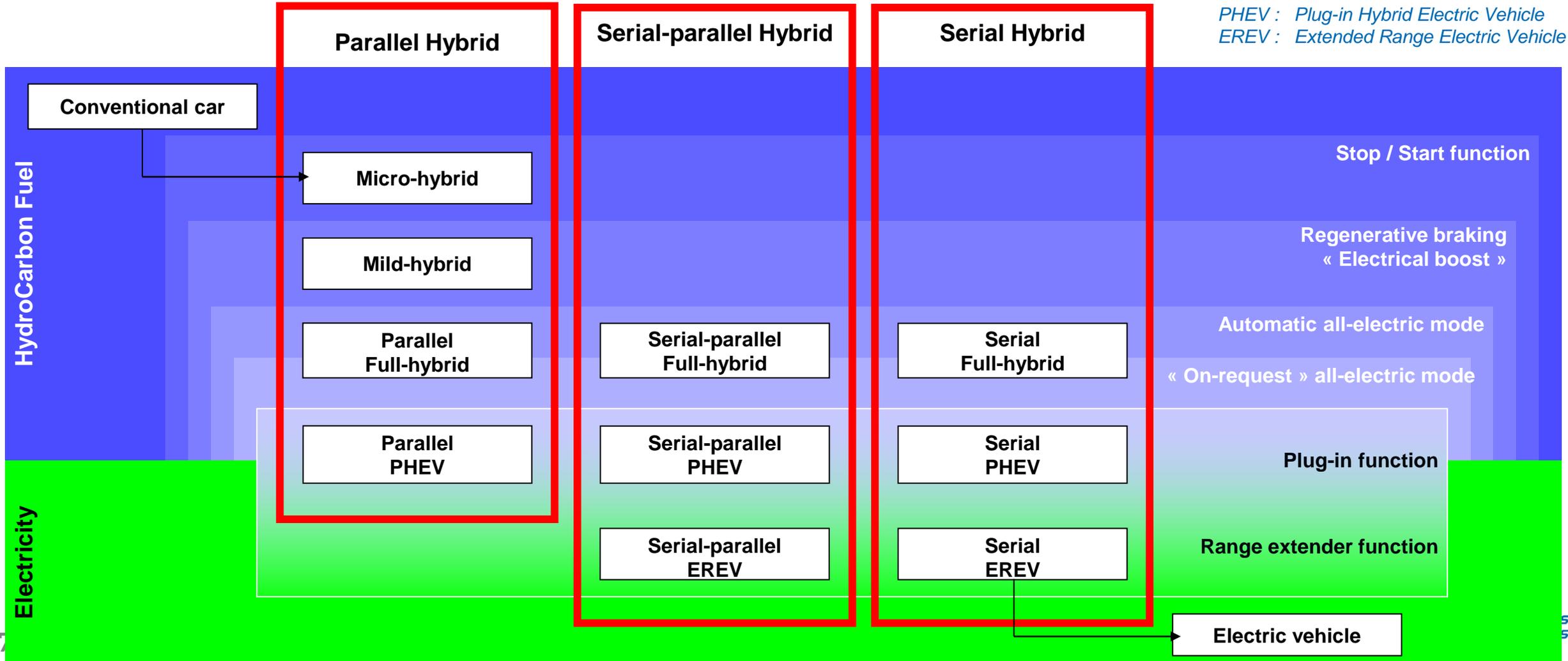


Main characteristics

CO <sub>2</sub> (Tank to Wheel) benefit (%)	2 to 5	6 to 8	10 to 15	20 to 30	25 to 60	60 to 80	100
ZEV capabilities (km)	0	0	0 to 0,5	0,2 to 3	20 to 60	50 to 160	100 to 500
Electric power (kW)	~1 to 2	2 to 5	10 to 20	20 to 60	40 to 110	50 to 125	50 to 300
Batt. energy (kWh)	0,5 to 1	0,5 to 1	0,5 to 1	1 to 2	5 to 16	8 to 25	15 to 85
Voltage (V)	12	12	48 to 120	> 200	> 200	350 to 400	350 to 400

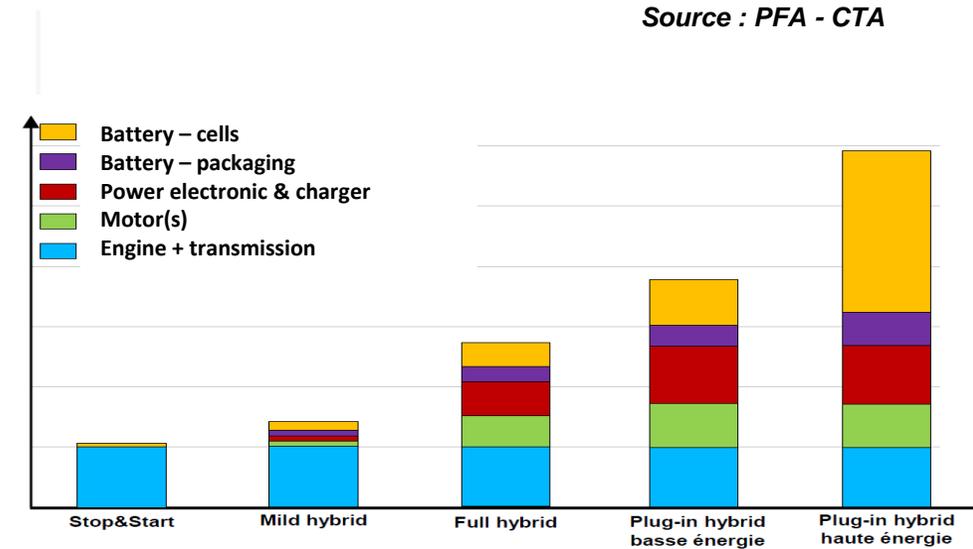
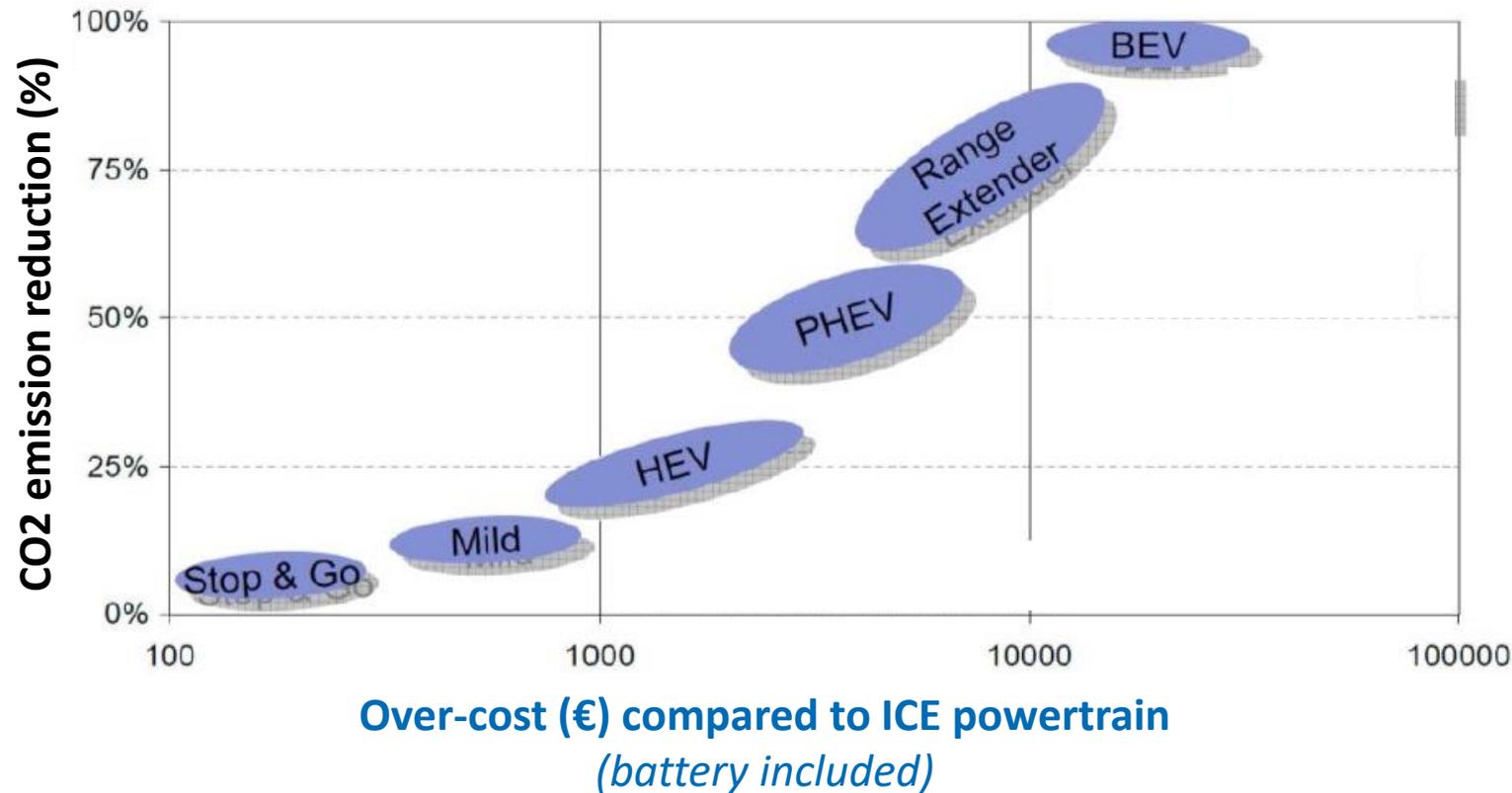
# Electrified powertrain classification

- Vehicle electrification depends of required functionalities
- 3 main types of hybrid architectures



# Hybrid & electrified powertrain : the main issues

## ● Cost of powertrain technology



Cost split of the different powertrain technologies

Exponential increase of powertrain cost with electrification → a key issue to massive development

- L'électrification des véhicules est **en marche** ;
- Une très grande **variété de solutions** possibles, un panachage vraisemblable dans le futur :
  - **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, *dieseltgate*...)
- Des **coûts d'achat** encore élevés mais un **TCO en décroissance** (coûts batteries, 2<sup>ème</sup> 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 ?, H<sub>2</sub> ?) ;
- 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](http://www.ifpenergiesnouvelles.com)

 @IFPENinnovation

