

**Session n°3 :
l'automobile un transport collectif d'avenir ?**

**Introduction :
Faut-il supprimer l'automobile pour atteindre
le zéro-émission 2050 ?**

C. Midler

Directeur de recherche émérite

CRG - I³
CNRS Ecole Polytechnique

Membre de l'Académie des Technologies



LE MOMENTUM ACTUEL DE L'INDUSTRIE AUTOMOBILE



	1950-1970's Développement des capacités de production auto	1970-1990 's Focus sur la performance de développement produits	1990-2010's Focus sur la performance de mangt multi-projet	2010' - 2030's Disruption systémique
Contexte concurrentiel	<ul style="list-style-type: none"> - Marché de pénurie - Création de la segmentation des produits - Focus sur la fabrication de masse 	<ul style="list-style-type: none"> - Marché demand pull - élargissement des gammes - Différenciation des produits - Automatisation flexible - Performance de développement produit centrale 	<ul style="list-style-type: none"> - Croissance innovation push - créativité perfo centrale - Recherche d'économies d'échelle interproduits - Stratégie d'innovations "pluggées" 	<ul style="list-style-type: none"> - Décarbonation : De 2% à 100% e-vh en 2035 - Nouveau stade de globalization (Asie > triade) - Du BM produit en B2C au BM service de mobilité - Intrusion du numérique
Management interne	<ul style="list-style-type: none"> - Les projets de développement, terrain de jeu de l'innovation technique - Organisation en silos et processus séquentiels - Mauvaises performances qualité cout délais des projets de développement produit 	<ul style="list-style-type: none"> - Découplage innovation techno et développement produit - Les structures projets fortes - Ingénierie concurrente 	<ul style="list-style-type: none"> - Rationalisation de l'ingénierie multiproduits (plateformes) - Stage gate processes (explo, adv eng, veh devpt) - Focus sur l'organisation de l'amont créatif 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'un changement majeur dans les stratégies et le management de l'innovation automobile
Open innov	<ul style="list-style-type: none"> - Les fournisseurs, fabricants de composants 	<ul style="list-style-type: none"> - Co-développement avec les fournisseurs de rang 1 	<ul style="list-style-type: none"> - Co-innovation avec les fournisseurs 	<ul style="list-style-type: none"> - De la chaîne de valeur pilotée par les OEMs au mangt d'écosystèmes complexes (opérateurs, AOM, tech firms)





- 1. Faut-il supprimer l'automobile pour atteindre le zéro-émission 2050 ?**
- 2. Qui pilote la transition de l'électrification ?**
- 3. La fin du modèle BtoC de produits auto au profit des services de mobilité automobile ?**
- 4. L'intrusion du numérique dans le secteur auto**

1. FAUT-IL SUPPRIMER L'AUTOMOBILE POUR ATTEINDRE LE ZÉRO-ÉMISSION 2050 ?



- Giec : 2050 : 1.5 degré = 0 carbon emission in 2050
- Contribution du transport automobile aux émissions CO2

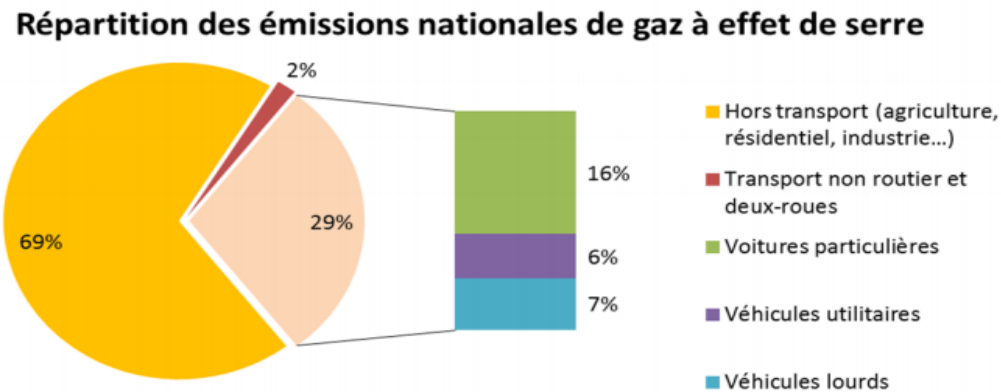


FIGURE 1 – Part du transport dans les émissions nationales de gaz à effet de serre sur le territoire français (hors émissions de CO₂ du transport aérien international⁵).

Source : Chiffres clefs du transport, Datalab 2020

- **2019 parc auto mondial** : 2 milliards vh, 35 million in France, km annuel moyen 13000km, émissions CO2 parc thermique : **70 MtCO₂**
- **Inertie de la durée de vie du parc en France** : 12 ans => **arrêt des ventes de vh thermiques en 2038) => de 2% à 100% de véhicules non polluants en 18 ans...**

1. FAUT-IL SUPPRIMER L'AUTOMOBILE POUR ATTEINDRE LE ZÉRO-ÉMISSION 2050 ?



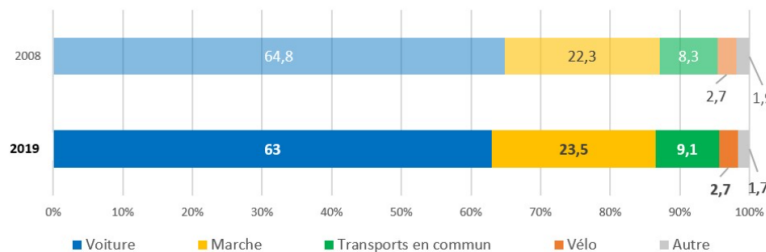
- **Les réponses : mythes et réalités**
 1. Report modal
 2. Electrique stockage H2
 3. Biocarburants
 4. Electrique batteries

1. FAUT-IL SUPPRIMER L'AUTOMOBILE POUR ATTEINDRE LE ZÉRO-ÉMISSION 2050 ?

- Les réponses : mythes et réalités : (i) Report modal, oui, mais :



Évolution des parts des modes de transport (en nombre de déplacements) entre 2008 et 2019

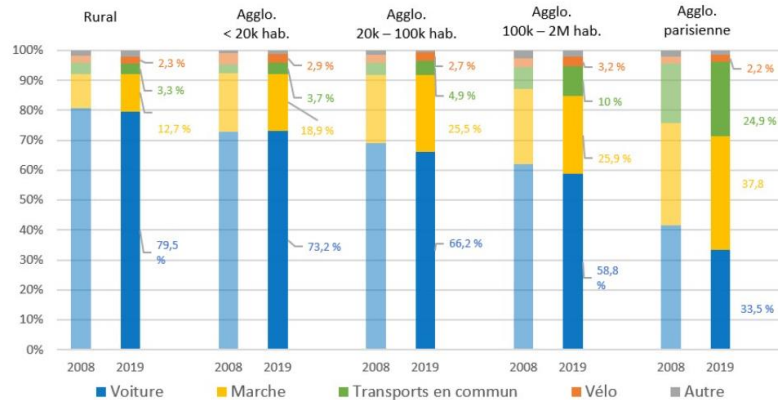


Champ : déplacements des individus âgés de 6 ans ou plus résidant en France métropolitaine. - © Sources : SDES, Enquête mobilité des personnes 2018-2019 ; Insee, Enquête nationale transports et déplacements 2007-2008 (SOeS - Insee - Inrets)

- Evolutions lentes...

Évolution des parts des modes de transport urbains entre 2008 et 2019

Effet COVID ?



Champ : déplacements des individus âgés de 6 ans ou plus résidant en France métropolitaine. - © Sources : SDES, Enquête mobilité des personnes 2018-2019 ; Insee, Enquête nationale transports et déplacements 2007-2008 (SOeS - Insee - Inrets).

- Surtout les grandes villes
- Et les jeunes...

- Tramway 50 M€ /km ;
- metro/RER : 100 M€ /km ;
- CdC express : 180 M€ /km,
- Grand Paris Express: +190 M/km

- Saturation de l'offre
- Coût des infrastructures
- Rentabilité des modèles

Une mobilité en proximité qui induit une hausse de la marche et du vélo



Évolution de l'usage des modes de transports depuis le début de la crise sanitaire.

* Solde d'évolution = % de personnes déclarant une hausse de leur usage de mode - % de personnes déclarant une baisse.

* Le vélo personnel ou en location longue durée.

* Les transports collectifs urbains.

ENQUÊTE CHRONOS
OCT 2020

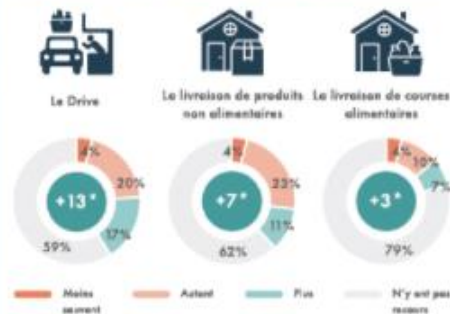
LES STRATÉGIES QUI SOUS-TENDENT LA DÉMOBILITÉ...

Le télétravail s'impose pour près de 70% des actifs dont la profession le permet



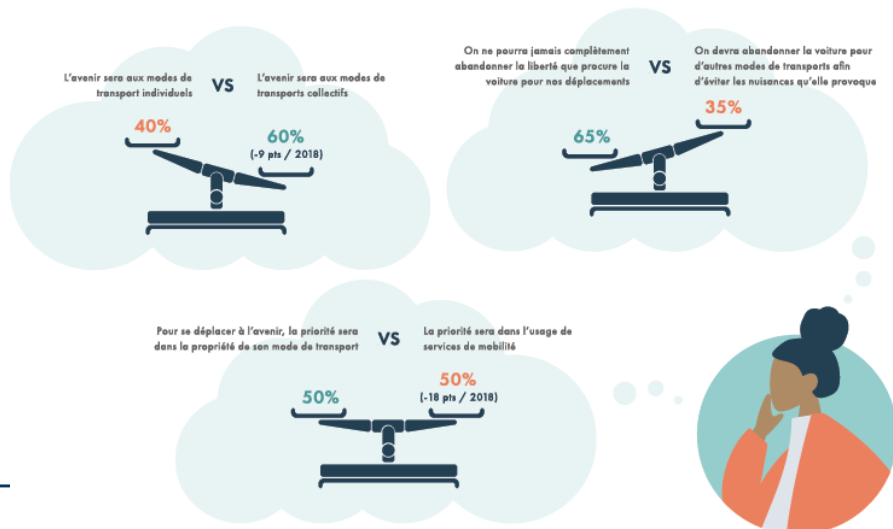
Proportion des actifs ayant la possibilité d'exercer leur profession à distance (42% de la population active globale).

Le recours au Drive et au E-Commerce pour s'approvisionner augmentent par rapport à avant la crise sanitaire



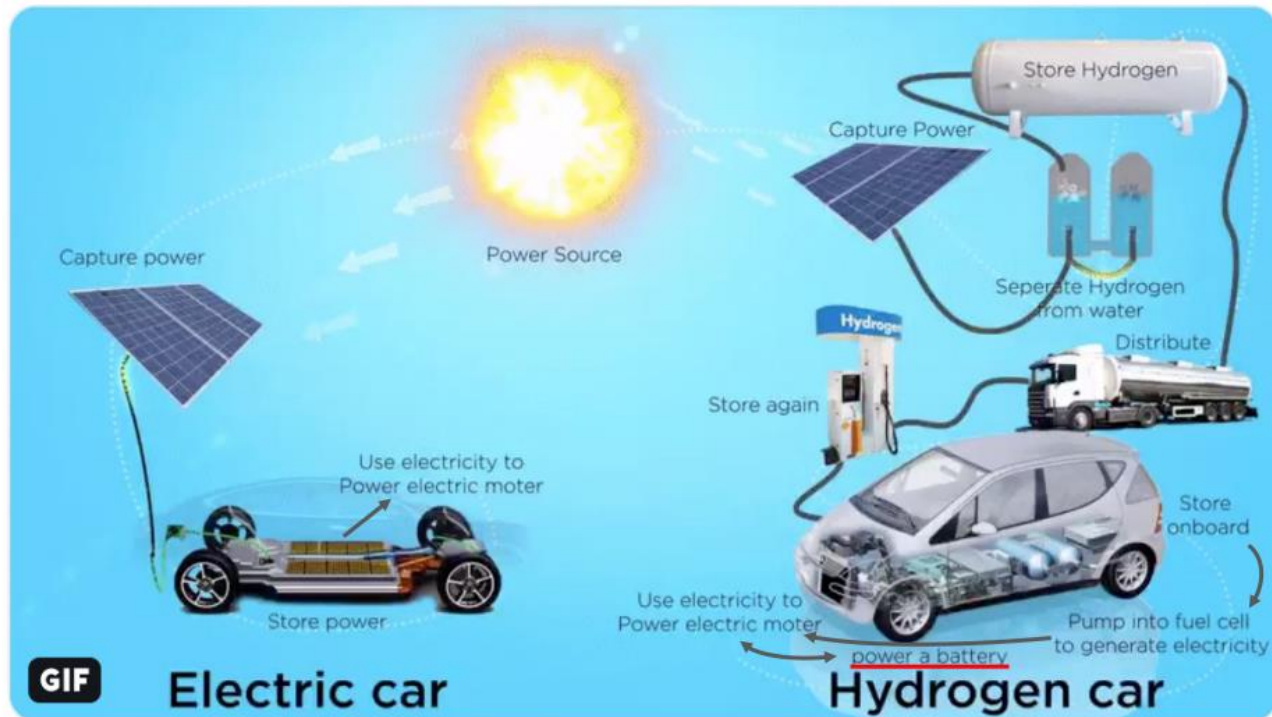
* Solde d'évolution : % qui déclarent un recours en hausse - % qui déclarent un recours en baisse.

Après plusieurs années de recul, la voiture semble conjoncturellement répondre aux risques (sanitaires) et aspirations (de liberté) suscitées par la crise



1. FAUT-IL SUPPRIMER L'AUTOMOBILE POUR ATTEINDRE LE ZÉRO-ÉMISSION 2050 ?

- Les réponses : mythes et réalités : (ii) Stockage H2+pile à combustible



1. FAUT-IL SUPPRIMER L'AUTOMOBILE POUR ATTEINDRE LE ZÉRO-ÉMISSION 2050 ?

- Les réponses : mythes et réalités : (ii) Stockage H2+pile a combustible

- Rendement faible

de l'H2 vert (energie pour 100km)

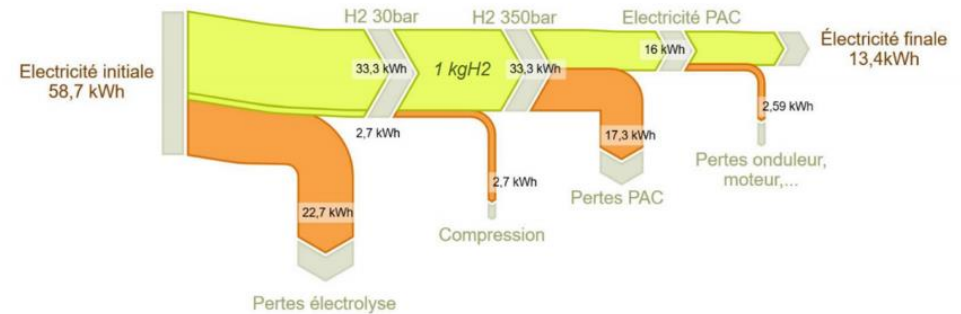


FIGURE 1.3 – Rendement de la chaîne utilisant le dihydrogène comme vecteur énergétique (valeurs pour 1kg d'H₂) - Source : ADEME, 2020

- Distribution, sécurité
- Cout 10 a 15€/km vs 5/8€ pour batterie
- Intrusivité sur l'architecture automobile

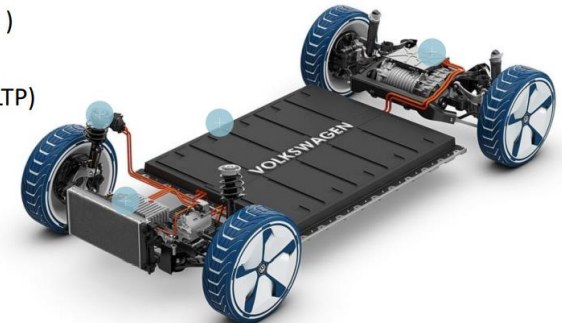
TOYOTA Mirai

- Autonomie 560km (WLTP) pour 5kg H₂
- 0.94kg par 100km (WLTP)



VW ID3 (MEB platform)

- Capacité 48 à 82kW.h
- Autonomie: 550km (WLTP)



... seulement acceptable pour des (très) grosses voitures

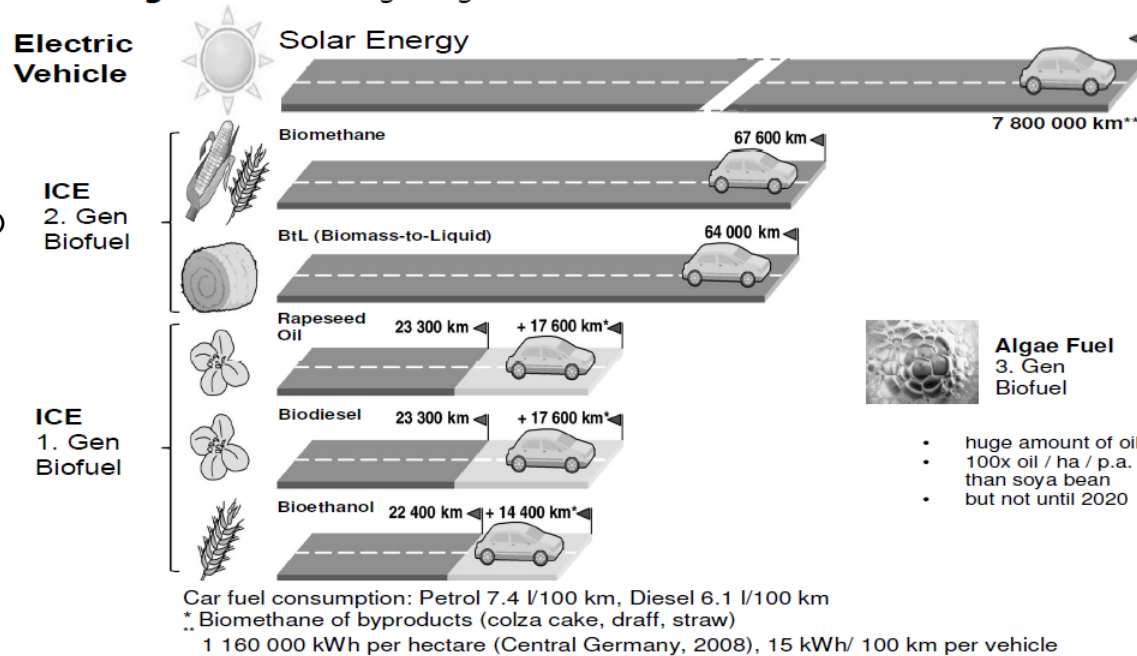
...au contraire des plateformes de véh.électriques

1. FAUT-IL SUPPRIMER L'AUTOMOBILE POUR ATTEINDRE LE ZÉRO-ÉMISSION 2050 ?



LES RÉPONSES : (III) BIOCARBURANTS : UNE SOLUTION LIMITÉE PAR LE RENDEMENT, LES RISQUES DE FUITE DE METHANE ET L'OCCUPATION DES SOLS

Figure 3: Cruising range to be achieved with one hectare land



Conso 2019 de bio gaz 12 TWh
 Biofuel 33 Twth

Si 50% PL&VL en biocarburants
 108 Twh

Guy Fournier, Henning Hinderer, Daniel Schmid, René Seign, Manuel Baumann (2012): The new mobility paradigm: Transformation of value chain and business models, Enterprise and Work Innovation Studies, 8, IET, pp. 9 - 40.

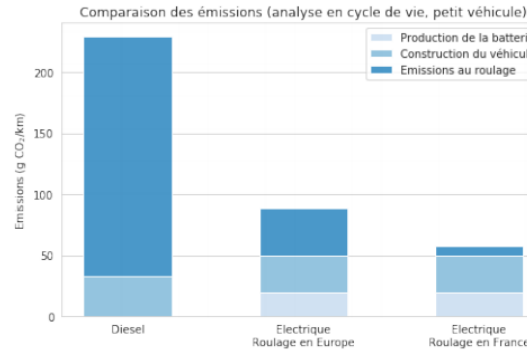
LE VEHICULE ELECTRIQUE A BATTERIE, SEULE SOLUTION PRATICABLE POUR RÉPONDRE AU CHALLENGE CO2 DANS L'HORIZON 2050



Comparaison des consommations d'énergie au 100km par types de motorisation

- **VE 12kwh**, puissance 3 à 4 kw.
- **H2 50 Kwh**. 1 million de vh H2 = 6.3 Terawhh de production = ½ EPR, 1200 éoliennes, 5.5 Gwath de panneaux solaires
- Carburants de synthèse **4 à 6 fois plus**.

Comparaison émissions CO2 sur le cycle de vie ICE/VE



Hypothèses :

- * Type de véhicule : Segment B (petits véhicules)
- * Durée de vie : 15 ans, 170 000 km
- * Pas de remplacement de la batterie
- * Batterie construite en Europe en 2020
 - Emissions (moy. EU) : 75 kgCO₂/kWh
- * Intensité C du mix électrique européen moy. (2020) : 319 gCO₂e/kWh
- * Capacité de la batterie : 45 kWh
- * Consommation :
 - Essence : 6.6 L/100km
 - Electrique : 16 kWh/100km
- * Emissions au roulage : émissions liées à la production et à la consommation de l'énergie

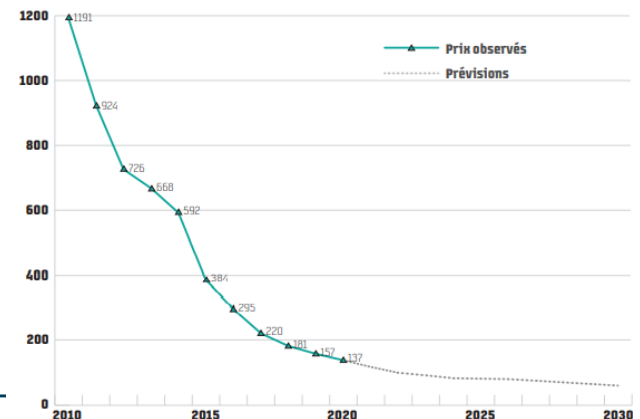
Source : T&E, How clean are electric cars? T&E's analysis of electric car lifecycle CO2 emissions, Avril 2020

FIGURE 1.7 – Emissions de gaz à effet de serre sur la vie de véhicules thermiques et électriques (ACV réalisée par T&E, Avril 2020).

Coûts / performance des batteries (30/40% coût VE)

- 10% de réduction de coût par an depuis 2010
- 20% d'augmentation de capacité
- Nouvelles chimies en R&D pour répondre aux dépendances de matières rares
- Relocalisation en Europe à 2030
- Nouvelle génération « solid state » après 2030

Prix de la batterie au lithium-ion (réel 2020 \$ / kWh)



LE VEHICULE ELECTRIQUE A BATTERIE, SEULE SOLUTION PRATICABLE POUR RÉPONDRE AU CHALLENGE CO2 DANS L'HORIZON 2050



Capacités de production d'électricité :

Traffic routier : 490TWh d'énergie en 2019 dont 7.5% de biocarburants.

Capacité moyenne : OK à court terme, 15 millions de vh = 3 à 7% de conso. A 100% : plus 170Twh

Pointes : des solutions simples de pilotage de la charge : 1 recharge lente = chauffe eau elec

1 recharge rapide = 2 immeubles de 10 logements

Accès à la recharge

C'est le goulot depuis 2012.

France objectif : passer de 30 000 à 100 000 en 2021 (« irréaliste selon Edf). Objectif 700 000 en 2040 (ratio de la commission européenne).

Allemagne, objectif 1 millions de bornes d'ici 2030, 1000 stations de charge ultrarapide financement fédéral dont plusieurs 100 points de chargement. (en France 80 !!).

Accès matières premières

Lithium RAS à court terme, nécessité de recyclage et explorations (souveraineté)

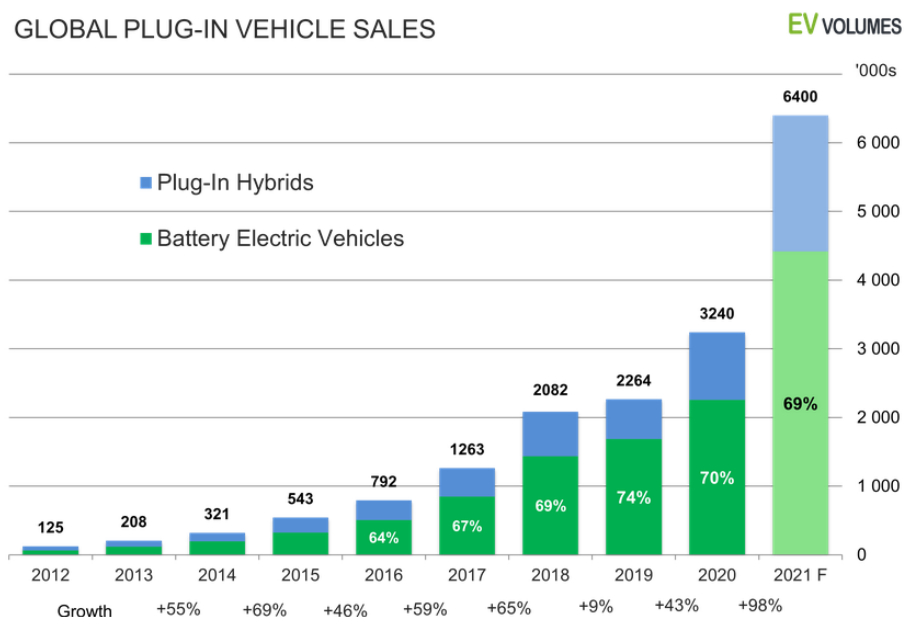
métaux rares : enjeux de souveraineté mais nouvelles « recettes » en coûts de développement

Recyclabilité

En industrialization.

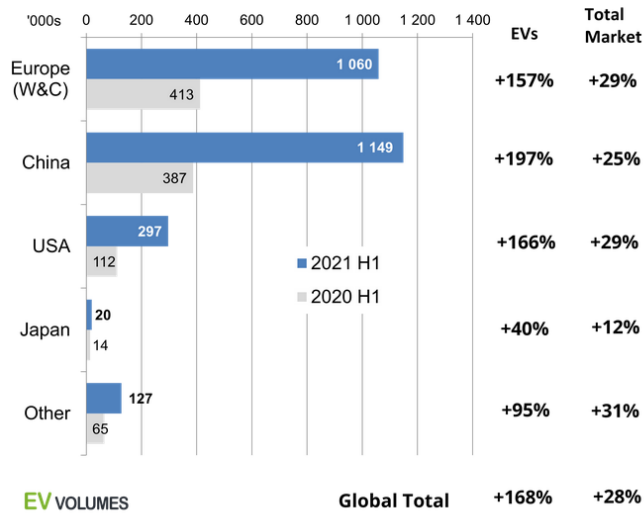
L'ÉLECTRIQUE : DE L'INNOVATION « ÉTERNELLEMENT ÉMERGENTE » AU PASSAGE À L'ÉCHELLE

GLOBAL PLUG-IN VEHICLE SALES



Progression des ventes de VE dans le monde Source : Internal Energy Agency

BEV+PHEV SALES AND % GROWTH



Répartition des ventes de véhicules électriques rechargeables par plaques régionales aux 1er semestres 2020 et 2021

... et les projections dans les deux décennies à venir

Figure 1 : Ventes annuelles mondiales de véhicules particuliers par type de moteur

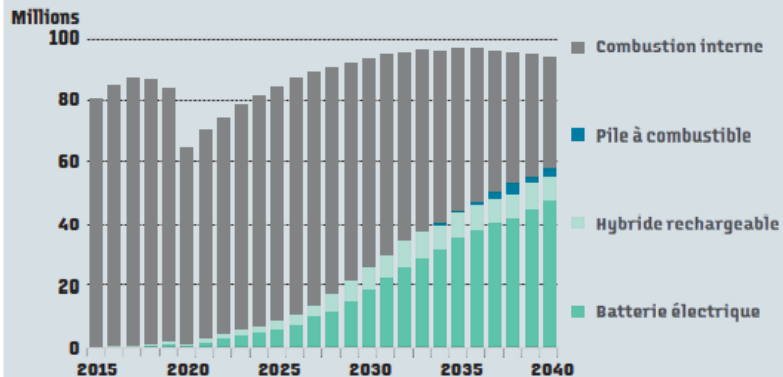
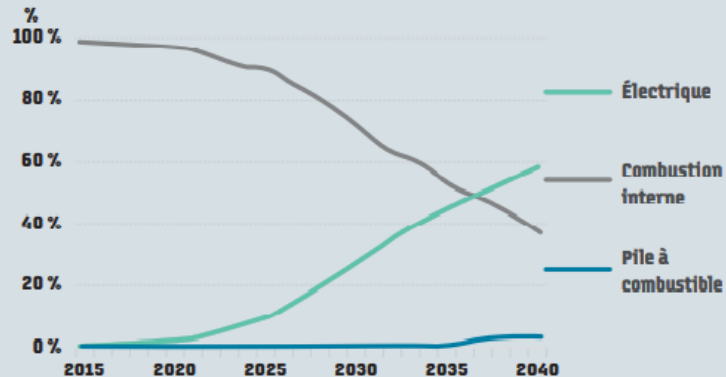


Figure 2 : Part mondiale des ventes annuelles de véhicules de tourisme par type de moteur



Source : BNEF. Note : Electric share of annual sales includes battery electric and plug-in hybrid.

2. QUI PILOTE LA TRANSITION ?

- L'électrification, une **innovation sociétale administrée**
- Le passage d'une logique d'incitation (2010) à une logique d'interdiction (2020...) des Vh à combustion interne



Au niveau européen

Corporate Average Fuel Emissions (CAFE)

Emissions de CO₂ en Europe (VP)

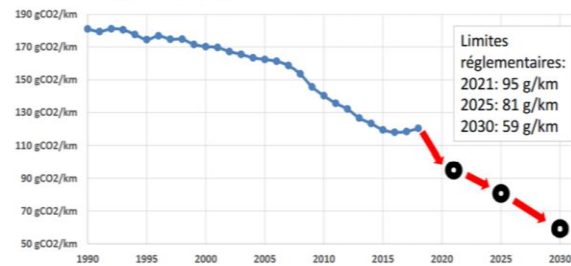


FIGURE 3.1 – Objectifs de la réglementation CAFE pour les émissions de CO₂ des véhicules particuliers

Marque	Projection CO2 en 2021	Objectif CO2 en 2021	Pénalités	% EBIT 2017
Toyota	95,6	93	600 millions d'euros	20 %
Renault	96,1	94	300 millions d'euros	5 %
Nissan	98,1	94,9	75 millions d'euros	8 %
Volvo	98,5	91,8	700 millions d'euros	10 %
Honda	99,8	95,4	430 millions d'euros	10 %
PSA	101,5	97,7	1,4 milliards d'euros	10 %
Hyundai / Kia	104,4	102,4	200 millions d'euros	2 %
Mazda	104,6	102,8	190 millions d'euros	1 %

Au niveau local

Country/year	2018	2019	2020	...	2024	2025	...	2030	..	2040
FR	Paris Grenoble Strasbourg	Lille Bordeaux Toulouse Lyon			Strasbourg Diesel ban (2022 - N1) Paris Diesel ban (M1 & N1)	All main cities Grenoble Diesel ban (N1)		Paris ICE ban		National ICE sales ban
GE	~80 cities	Stuttgart Reutlingen Munich	Berlin, Frankfurt Dusseldorf Cologne			All main cities				
SP		Barcelone, taxi Diesel sales ban				PC Diesel ban		Barcelone		National ICE sales ban
NW		Oslo (PC)								

+ LEZ before 2018
 + LEZ under study / announced / internal CIPPE scenario
 x Diesel circulation ban
 o ICE circulation ban
 + Diesel < euro 6 ban during pollution peaks
 x Sales ban
 + ZEZ in city centres

Conséquence : la compétitivité du secteur et étroitement liée à la pertinence des régulations publiques qui l'encadrent

ET LES PRIX DES VOITURES ELECTRIQUES ?



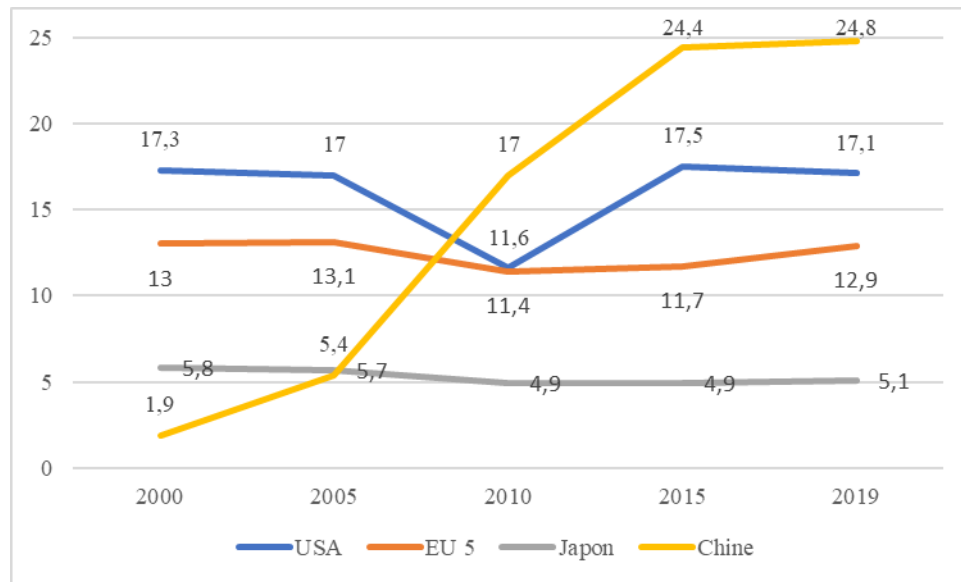
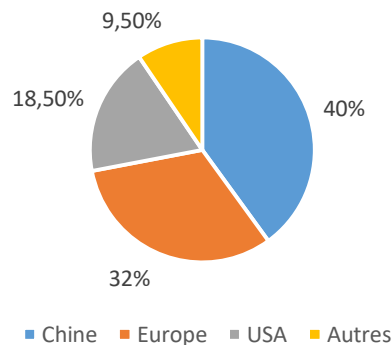
Modèle	Prix TTC hors bonus	autonomie
Dacia Spring	16 800 €	230 km
Renault Zoé	32 500 €	390 km
Peugeot e208	32 700 €	340 km
VW ID3	39300 €	544 km
Nissan Leaf	33 900€	642 km
Tesla Model 3	84 800 €	614 km
Kia e-Niro	37 000 €	455 km
BMW i3	39 950	33 600 €

Catégories	Du 1 ^{er} juillet 2021 au 30 juin 2022	À partir du 1 ^{er} juillet 2022
Véhicules électriques (taux de CO2 ≤ 20g/km) de moins de 45 000 €	27 % du prix plafonné à 6 000 €	27 % du prix plafonné à 5 000 €
Véhicules électriques (taux de CO2 ≤ 20g/km) de moins de 45 000 €	27 % du prix plafonné à 4 000 €	27 % du prix plafonné à 3 000 €
Véhicules électriques (taux de CO2 ≤ 20g/km) de 45 000 € à 60 000 €	2 000 €	1 000 €
Camionnettes électriques ou véhicules fonctionnant à l'hydrogène (taux de CO2 ≤ 20g/km) de plus de 60 000 €	2 000 €	1 000 €
Véhicule hybride rechargeable (taux de CO2 entre 21 et 50g/km) de 50 000 € au maximum et autonomie > à 50 km	1 000 €	0 €



2. QUI PILOTE LA TRANSITION ? LA CHINE, LOCOMOTIVE DE L'ELECTRIFICATION

Parc BEV et PHEV 2020 (en pourcentage)



*L'évolution de la place de la Chine dans le marché automobile mondial
Source CARSALESBASE EU5 = Allemagne, France, UK, Italie et Espagne*

La Chine, non seulement un marché mais aussi des concurrents

Top 20 BEV-PHEV Sales by Group (1st semestre 2020)

**25.778 exemplaires (2 fois Tesla) de la Wuling Mini EV
vendu en janvier 2021 à 3700€.**

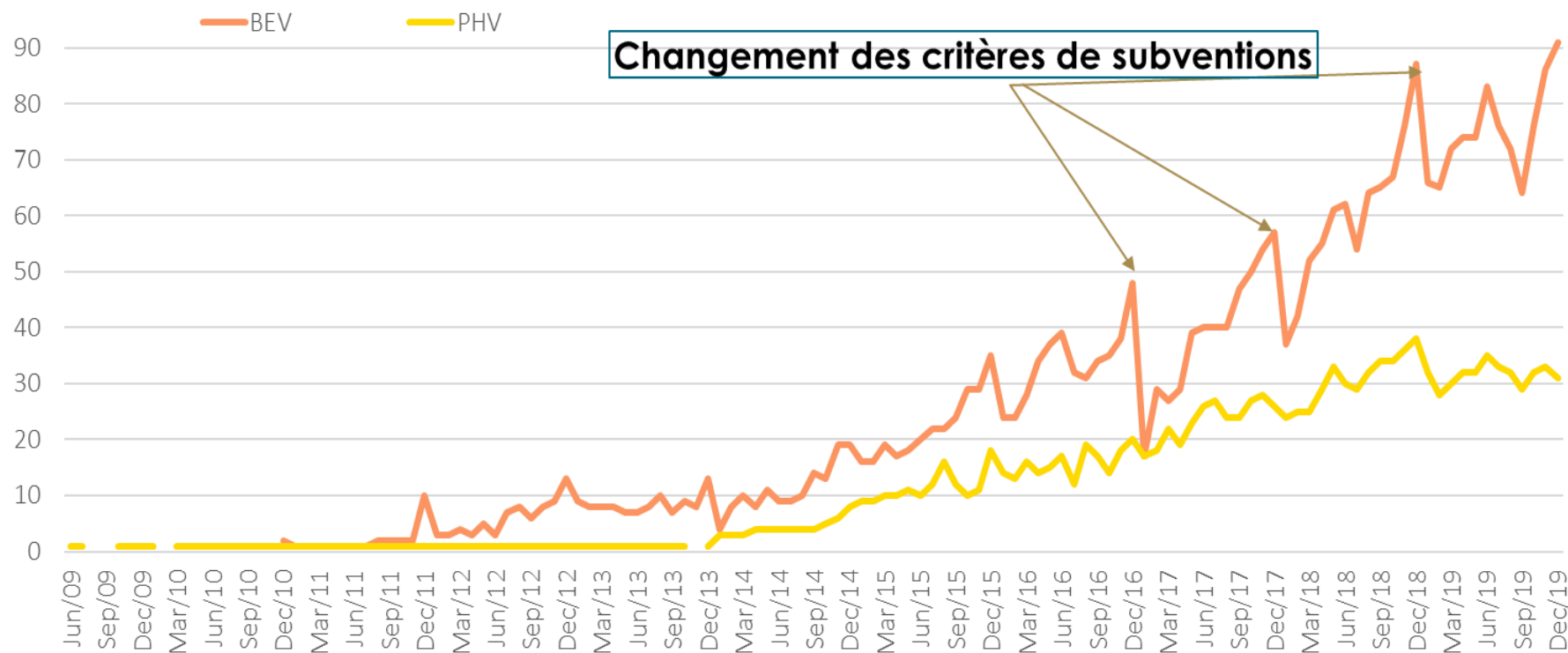


2. QUI PILOTE LA TRANSITION ? LA CHINE, LOCOMOTIVE DE L'ELECTRIFICATION

Reglementation Chinoise Corporate average fuel Consumption (CAFC)
+ incitations qui poussent à l'amélioration des performances
+ credits de commercialisation



CHINE : LA SÉVÉRISATION DES SUBVENTIONS AUX VE POUSSE LES MOINS BONS HORS DU MARCHÉ - Temporairement ou Définitivement



Nombre de modèles de véhicules électriques homologués et vendus en Chine

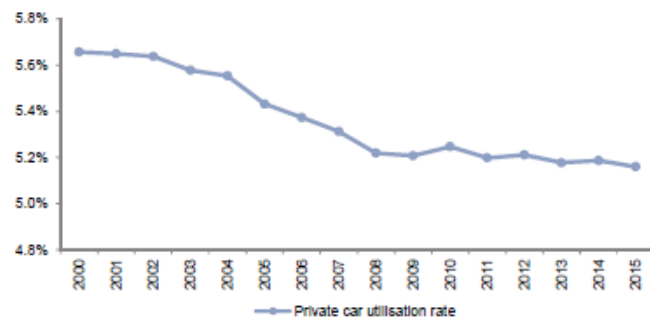
Source : Christophe de Charentenay

3. LA FIN DU MODELE DE VENTE DE PRODUIT AUTO EN B2C ET LA MONTEE DES SERVICES DE MOBILITÉ AUTOMOBILE ?



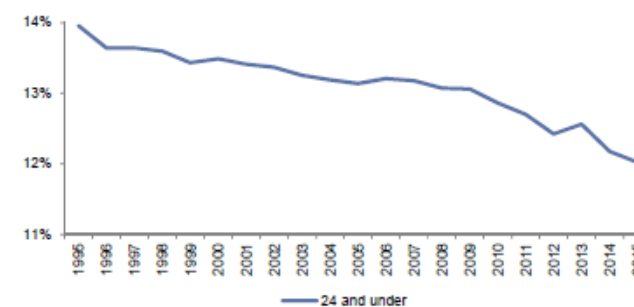
- La montée en puissance des services de mobilité

Exhibit 56: Car utilization is declining
Car utilization rate (US)

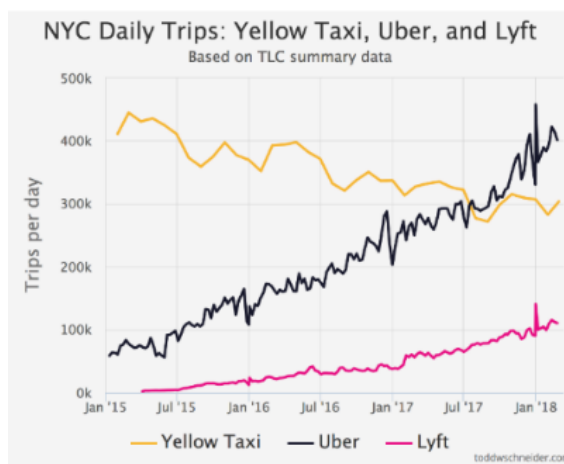


Source: Federal Highway Administration, IHS, Goldman Sachs Global Investment Research.

Exhibit 57: The young are forgoing drivers' licenses
Under 24s as % of US drivers' license holders



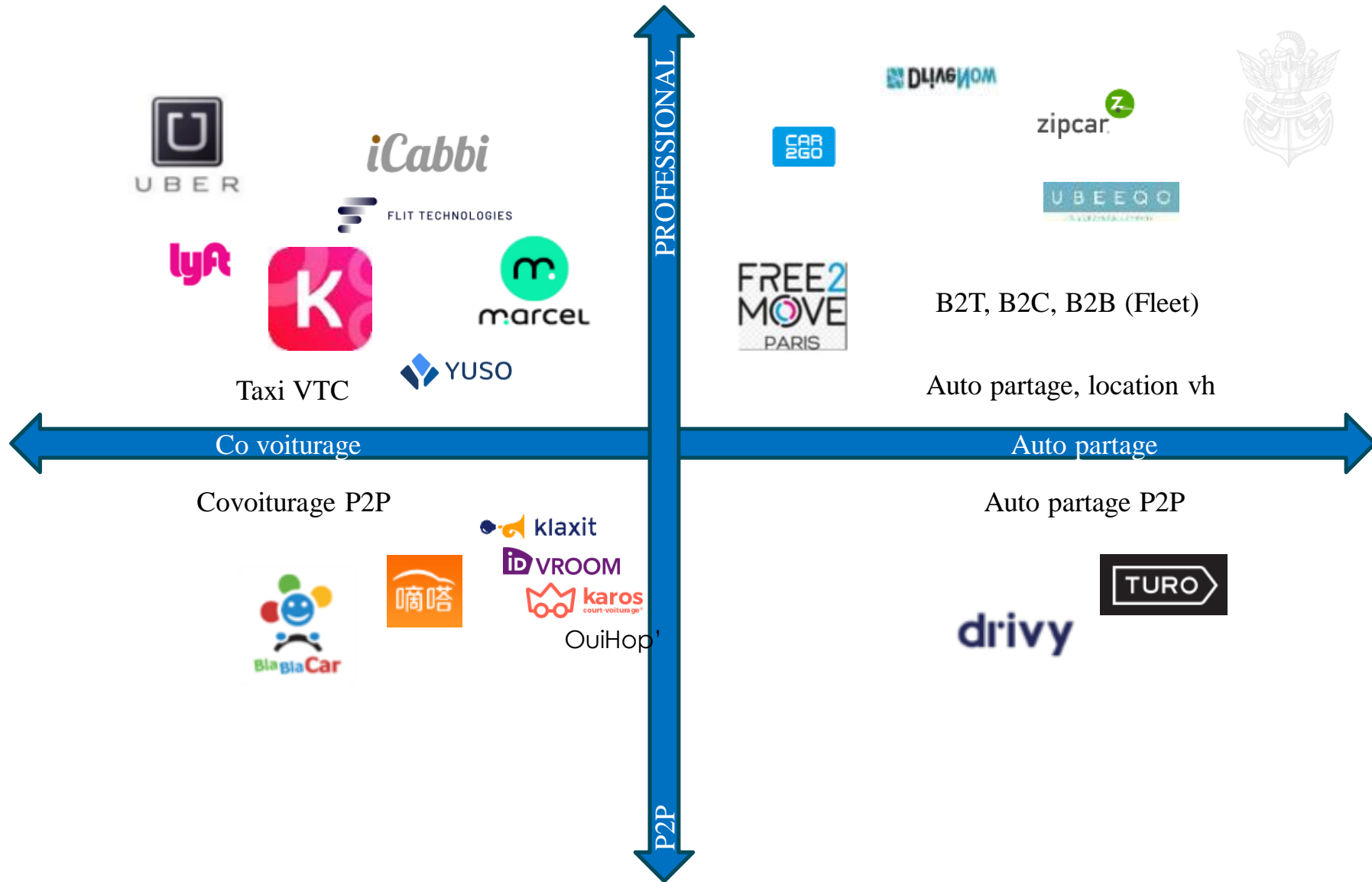
Source: Federal Highway Administration



Pourquoi ?

- Ap personnalisée
- Réactif 24x7
- Transparent
- Pratique
- Intégré avec d'autres apps
- Réduction du coût (pool)

LA VARIETE DE FORMULES DE SERVICES DE MOBILITÉ ET DE MODÈLES ECONOMIQUES



Patrick Vergelas, IMD juillet 2019



LE DÉVELOPPEMENT DES SERVICES DE MOBILITÉ IMPLIQUE UNE COOPÉRATION NOUVELLE ENTRE LES MONDES AUPARAVANT ISOLÉ DES POUVOIRS PUBLICS, DES CONSTRUCTEURS, OPÉRATEURS, PLATEFORMES...



Le développement non régulé du marché des services ne résoud pas les problèmes de congestion

L'impact des VTCs à New York

Manhattan (Juin 2013 → Juin 2017)

	<u>8h-19h</u>	<u>15h-19h</u>
• Courses Taxis + VTCs	+ 15%	+ 37%
• Vitesse moyenne	- 18%	- 19%
• Temps total en circulation	+ 61%	+ 96%

Le vecteur service automobile peut constituer des réponses efficaces à explorer



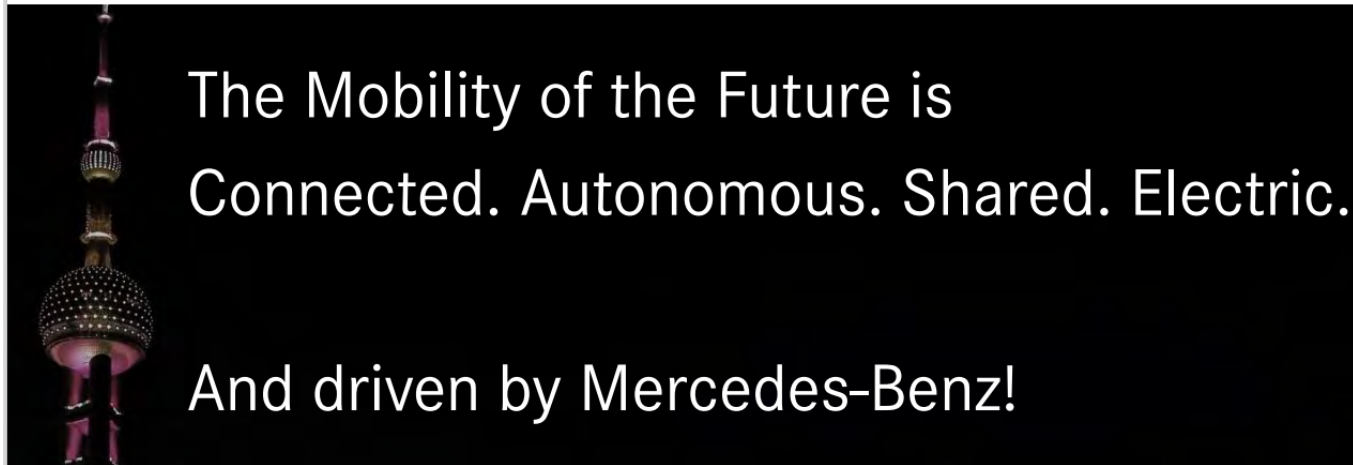
4. L'INTRUSION DE L'ÉLECTRONIQUE ET NUMÉRIQUE DANS L'AUTOMOBILE



Un développement ancien

Des Aides à la Conduite au véhicule autonome

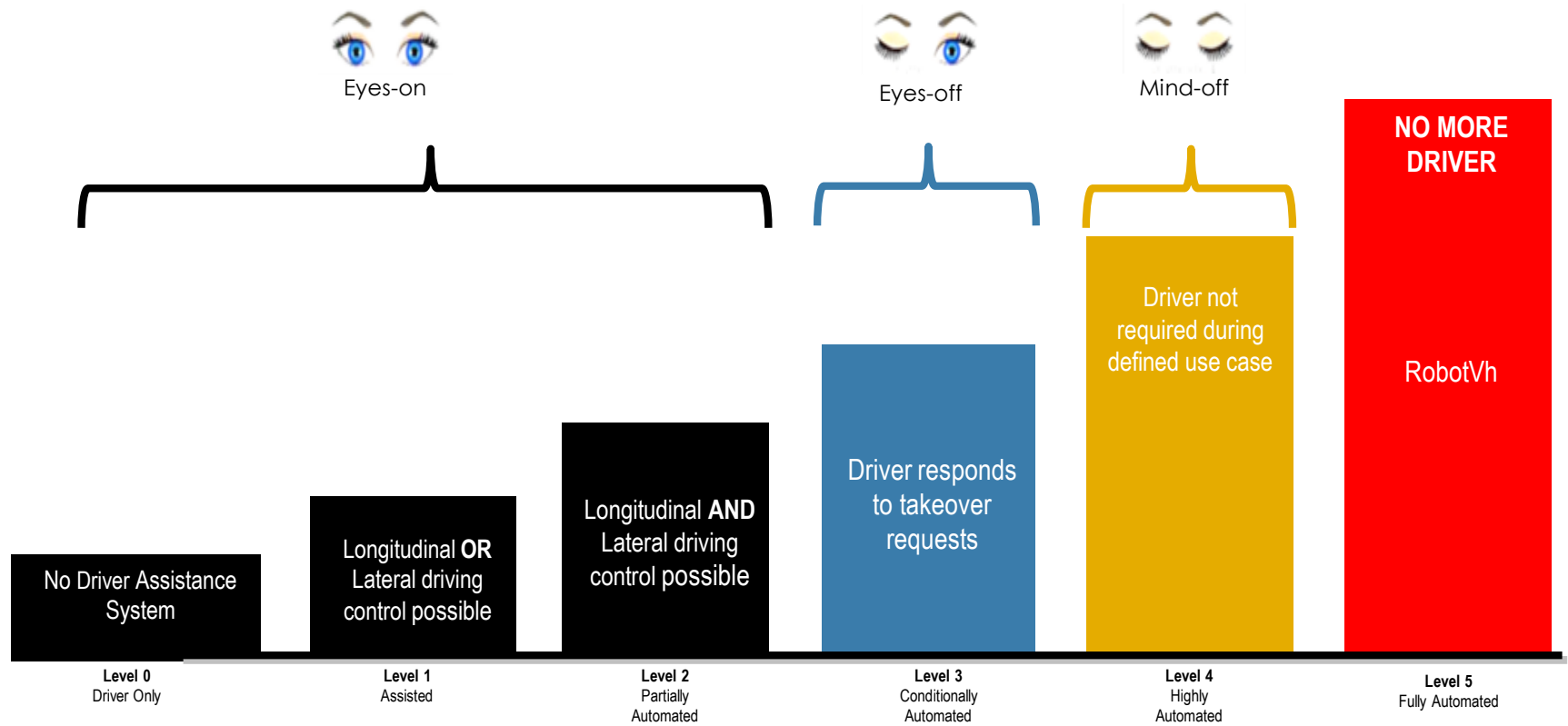
Le PDG de Daimler (Sept. 2016)



L'INTRUSION DES ACTEURS DE LA TECH ET DU NUMERIQUE DANS L'UNIVERS AUTOMOBILE



Vision centrée Véhicule autonome





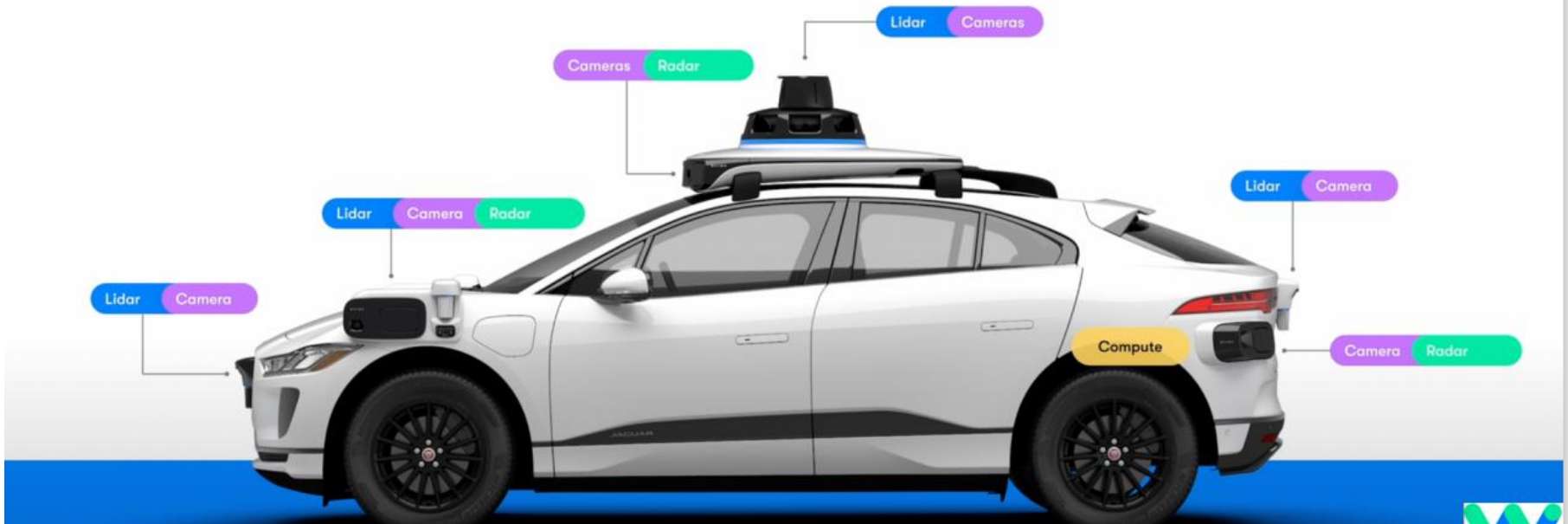
La voiture autonome (ici la 5^{ème} génération de Waymo)

5 lidars

27 caméras

6 radars

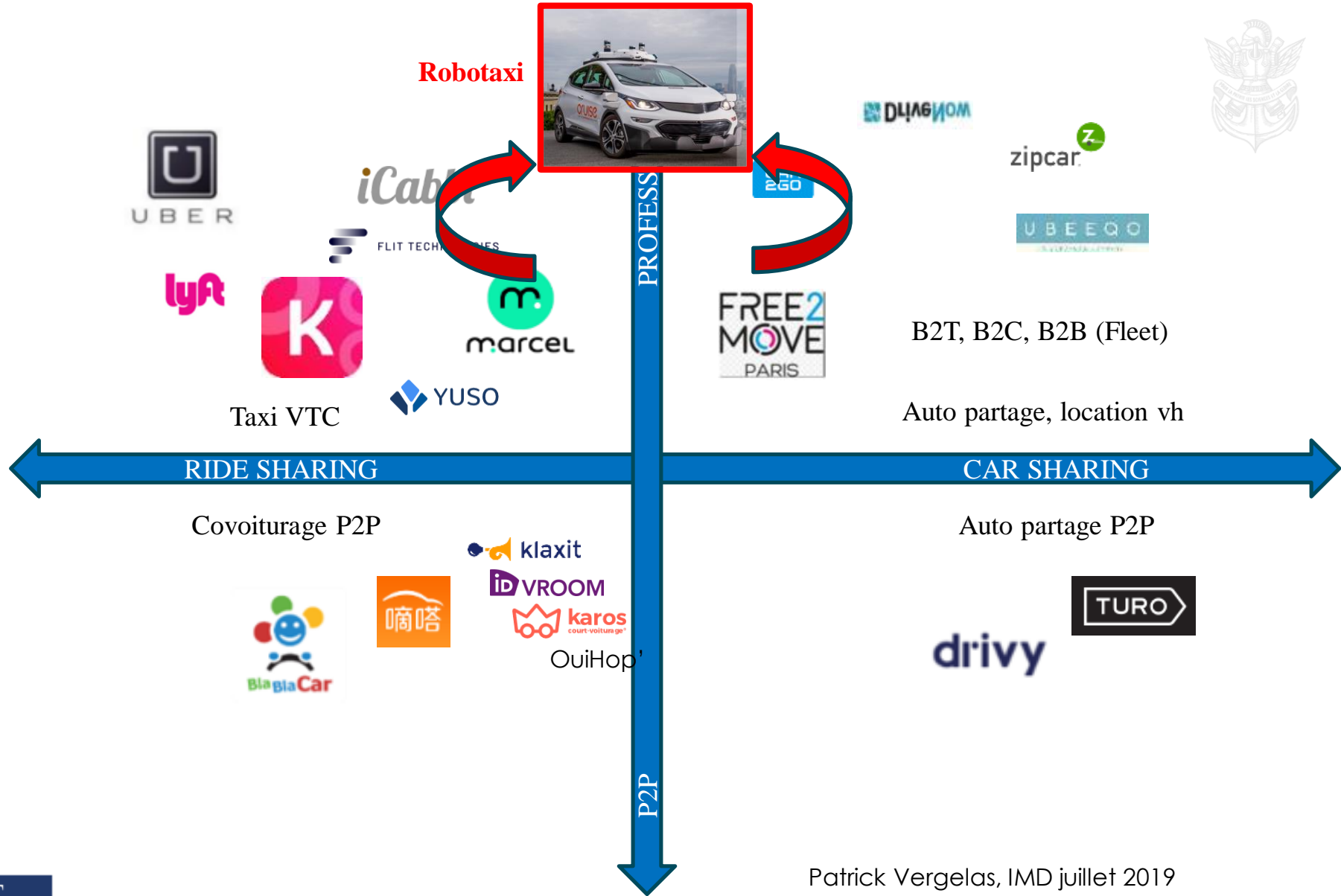
Énorme puissance de calcul



LE ROBOT TAXI, AVENIR DES SERVICES DE MOBILITÉ PROFESSIONNALISÉS?



Robotaxi



Patrick Vergelas, IMD juillet 2019

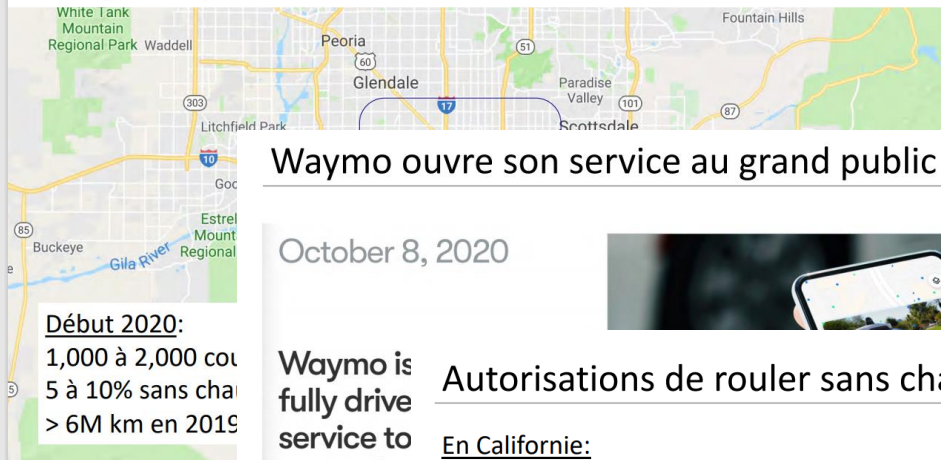
LE VÉHICULE AUTONOME : LE FUTUR ROULE DÉJÀ...



Google-Waymo: 32 M km depuis 2009



Waymo opère dans la banlieue de Phoenix



Début 2020:
1,000 à 2,000 voitures
5 à 10% sans chauffeur
> 6M km en 2019

Waymo ouvre son service au grand public à Phoenix

October 8, 2020



Waymo is fully drive service to general public in Phoenix

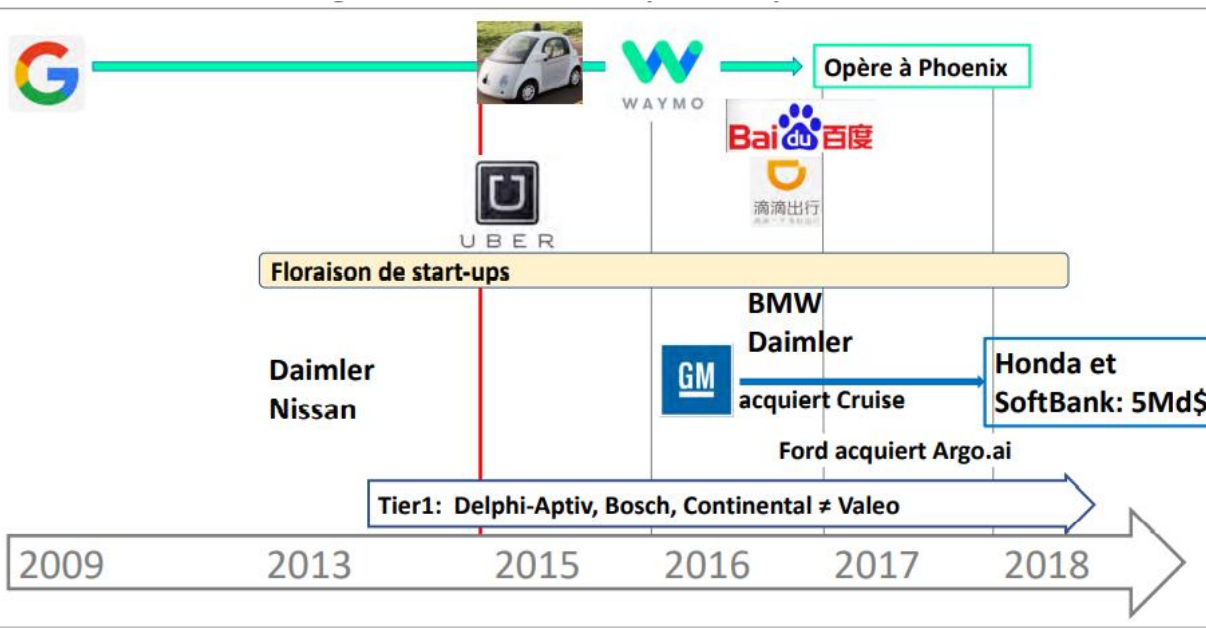
WAYMO ONE
John Krafcik, CEO

Autorisations de rouler sans chauffeur sur route ouverte

En Californie:

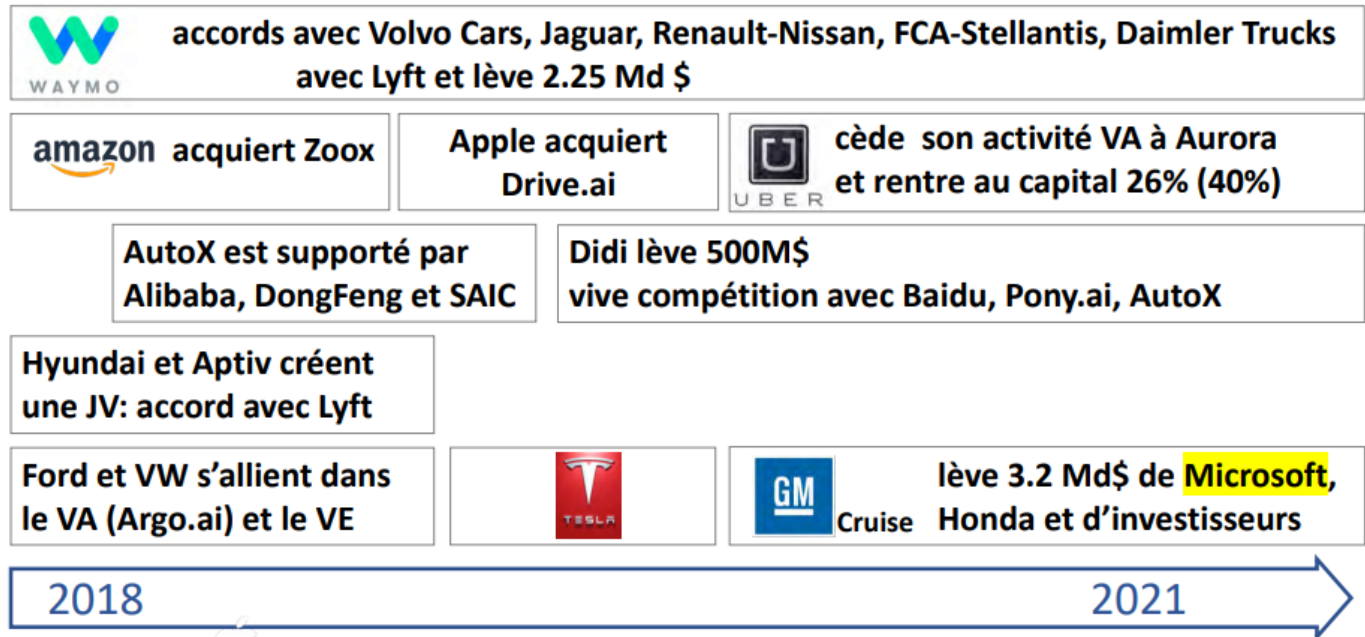
- Juill. 2019: **Waymo** est autorisé
- Avr. 2020: **Nuro** (livraisons, vitesse < 40km/h)
- Juil. 2020: **AutoX** (1 voiture vitesse < 72 km/h)
- Sept. 2020: **Zoox** (2 voitures) aussi autorisé début 2019 dans le Nevada
- Oct. 2020: **Cruise** (5 voitures dans un quartier de San Francisco V < 56 km/h)
- Oct. 2020: **AutoX** et **Baidu** ont été autorisés à Shenzhen et Pékin
- Nov. 2020: **Motional (JV Hyundai-Aptiv)** a été autorisé à Las Vegas (Nevada)

HISTOIRE D'UNE INTRUSION DU DIGITAL DANS L'AUTOMOBILE



De la phase d'émergence et de prise de conscience

A la consolidation et au passage à l'échelle



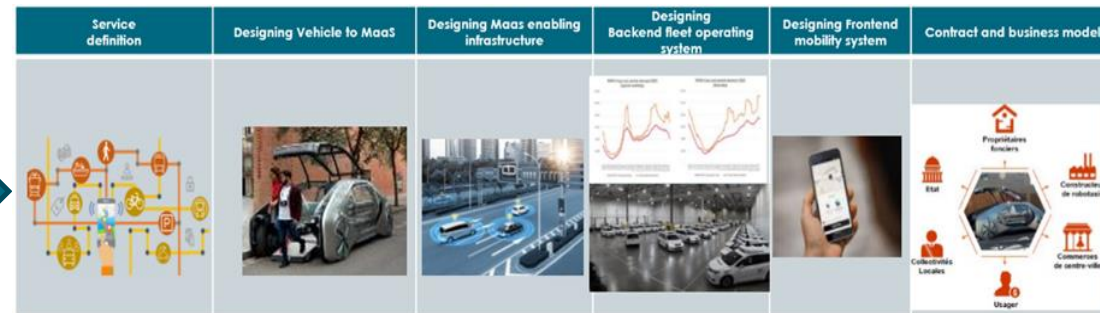
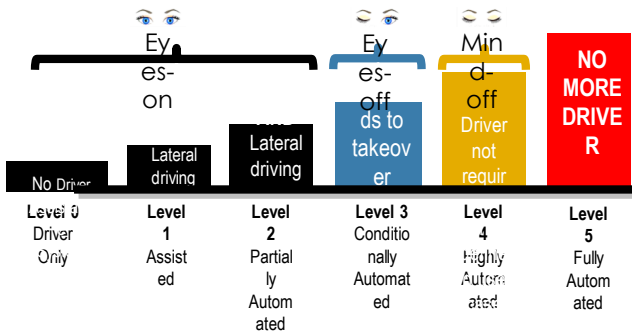
L'ESPACE DE CONCEPTION DES SERVICES DE MOBILITÉ AUTONOMES







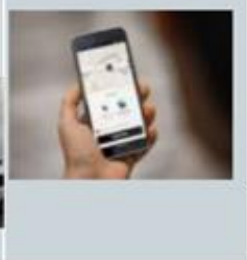

Vision centrée Véhicule autonome

Vision Mobilité autonome

- Lenfle Midler (2009)
- von Pechmann, Midler, Maniak, Charue-Duboc, (2015)
- M. Alochet, C. Midler R. Maniak, (2019)



LE MODÈLE LE PLUS CONNU : LE ROBOT TAXI (UBER ROBOTISÉ)

Service definition	Designing Vehicle to MaaS	Designing MaaS enabling infrastructure	Designing Backend fleet operating system	Designing Frontend mobility system	Contract and business model
					

Définition de l'offre de service de mobilité

Pt to Pt ou pas
Individuelle ou shuttle
Quel périmètre ?
...

Conception des véhicules autonomes

Systèmes embarqués dédiés (Camera, lidar, IA..)
> 10 K€/vh
...
Quel niveau : 4,5?
...
Vh Générique / spécifique ?
Versatile ?
.....

Conception des Infrastructures adaptées

Voies dédiées/permises ou pas
Aides à l'autonomie (carrefours intelligents)
...

Opérer le flotte de robotaxis

Dimensionner la flotte
Financer la flotte
Définir et construire les Hubs
Recharger et maintenir
Maximiser le taux d'utilisation
Monitorer la flotte

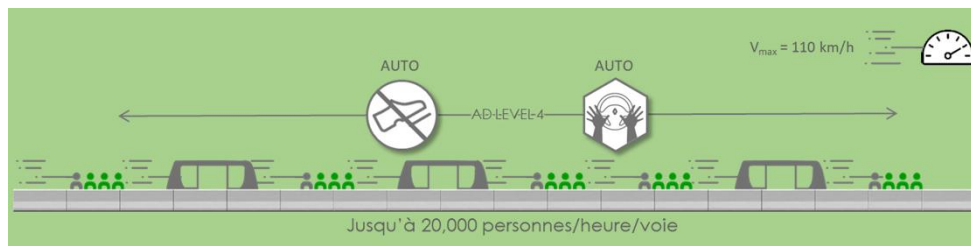
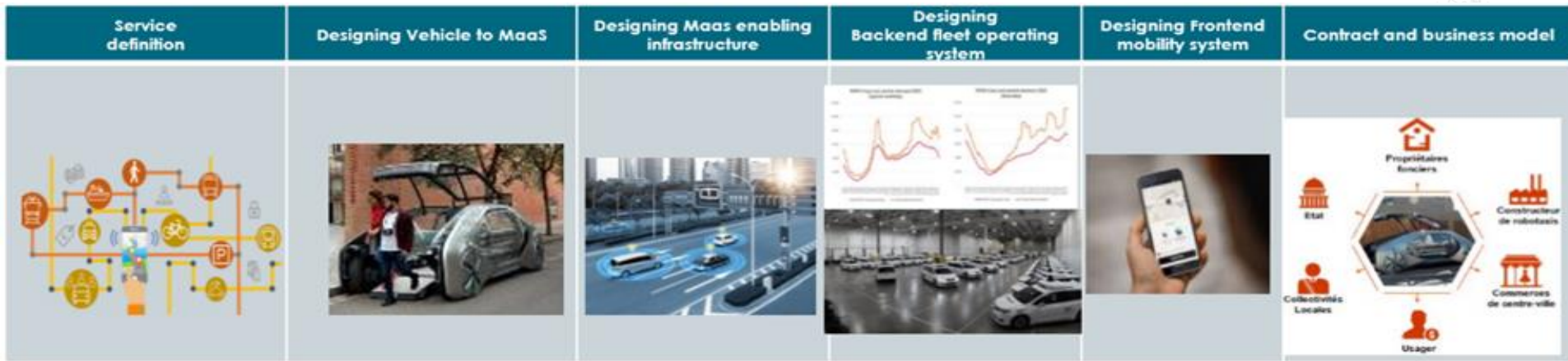
Gérer la plateforme clients

Pricing
Gérer l'appli clients
Marketing
CRM

Contrats

B2C
Contrats avec les parties prenantes (territoires)

LA VARIÉTÉ DES CONFIGURATIONS DE MOBILITÉ AUTONOME



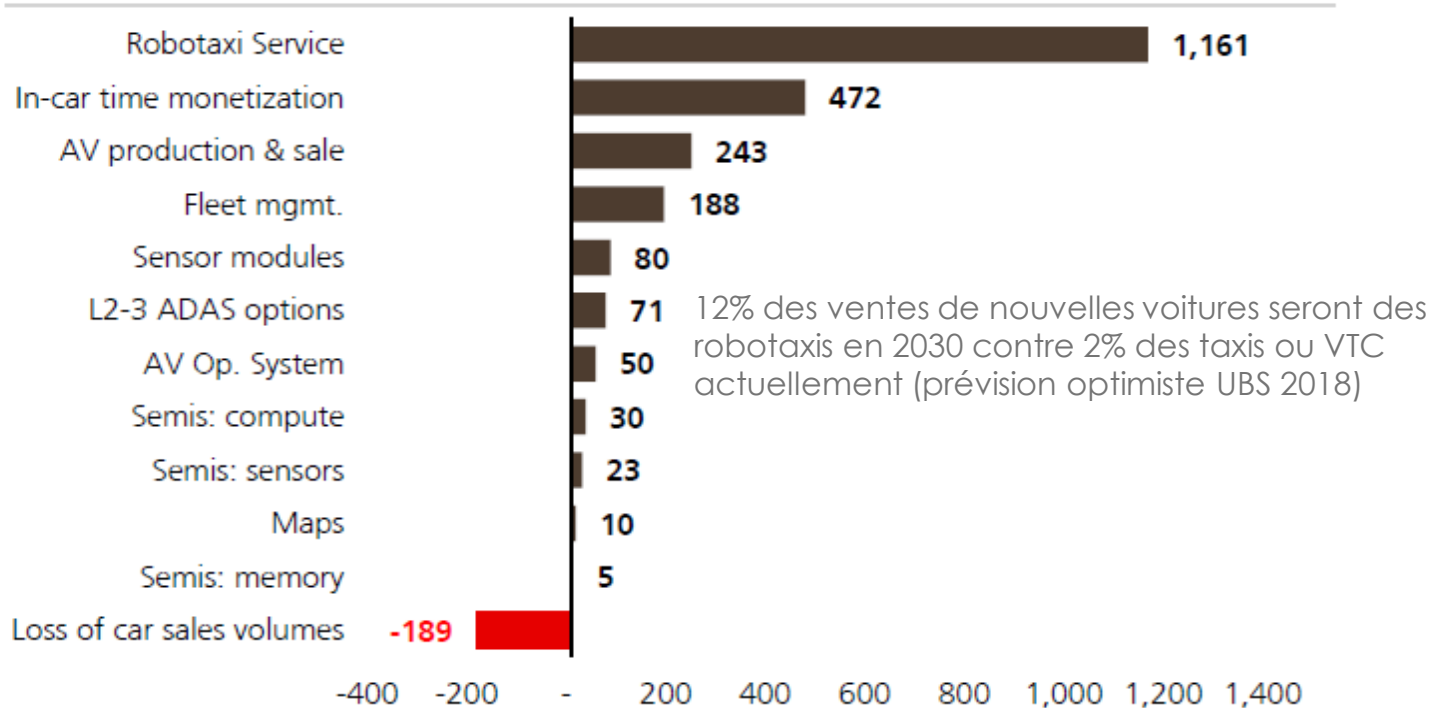
Driveboard



City-logistics Public transport Motorized Individual Transport

Fig. 7: Driveboard and selected application-optimized capsules (own visualization)

DES RISQUES DE DÉPLACEMENT DU REVENU (\$BN, 2030^E)



Source: UBS estimates

Note: For a definition of the different levels of autonomous driving (L1-5), see the Appendix.

Globalement un basculement de la valeur ajoutée entre les acteurs du (nouvel) écosystème qui explique l'implication des OEM dans les services de mobilité, vu hier encore comme non rentable, attendu à l'horizon ≥ 2030

CONCLUSION

- **L'industrie automobile vit un momentum inédit caractérisé par la conjonction :**
 - **D'impératif sociétaux : dominant design thermique => l'électrique**
 - **D'évolution des demandes : Vente B2C voitures => services de mobilité automobiles**
 - **De géographie du secteur : de la triade (E, US, Japon) => la chine**
 - **De structure de l'industrie : chaine de valeur pilotée par les constructeurs => écosystème hétérogène (intersecteurs + privé/public) pour concevoir et opérer des véhicules + connectés et autonomes**
- **Ce momentum, occasion privilégiée pour revoir la distribution des rôles entre transport public collectif et mobilité auto privée individuelle. Ce qui implique :**
 - **Pour les constructeurs, des transitions radicales et profondes (produit =>service, mécanique=>software, B2C =>B2T**
 - **Pour les autorités de transport, d'investir l'automobile comme un champ d'action porteur d'opportunités pour résoudre les problèmes de mobilité locaux**



QUESTIONS ?