

La voiture électrique

éléments d'information



Plan

vente des véhicules électrifiés, technologie des différents types de voitures, qq exemples

Les Batteries : constitution capacité, écologie, recharge

- Autonomie NEDC ou réelle, influence de la conduite: accélération, vitesse, puissance, couple
- Aspects financiers, bonus, coût recharge, prix
- Aspect écologiques, et autres technologies
- Conclusions

La voiture électrique en hausse

- **Les ventes de véhicules électriques ont atteint un nouveau record sur le marché français, au mois de mars 2017 : et 1,37% de la vente trimestrielle de voitures neuves.**
- 3.488 immatriculations (véhicules particuliers + véhicules utilitaires) ont ainsi été enregistrées. Sur le premier trimestre 2017, le marché progresse ainsi de près de 20%.
- Le succès se confirme : + 44% pour la Renault ZOE dont l'autonomie a été augmentée (400km théorique) devançant avec 1980 ex., la Nissan LEAF (311 ex.), la BMW I3 (159 ex.), et la Peugeot ION (143 ex.)
- Les hybrides rechargeables restent stables (838 ex)

- L'an dernier 96% des **2 015 177 immat.** de VP ont été des diesels à 52,1% et des essence à 43,8%
- Pour les qq 4% restant: **2,54% hybrid, 0,37% plug-in**
- - 2/3 d'hybrides ess :53 945 dont 7167 plug-in
- - 4 859 hybrides diesel dont 261 plug-in
- - **21 752 « tout électrique » (1,08%)**
- - 1 061 flex fuel E 85
- - 419 Ess gaz dont 325 GPL et 94 GNV
- - 13 à Hydrogène et 9 au seul gaz naturel

3 types différents

- Selon la capacité de la batterie et l'association ou non d'un moteur thermique essence ou diesel on distingue:
- La voiture **TOUT** électrique
- La voiture **Hybride** (thermique + électrique) **rechargeable** par borne extérieure dite **PLUG-IN**
- la voiture **Hybride** (thermique + petit moteur électrique) donc **non** des Cross-over ou même des 4x4

Différents types

- La voiture **tout électrique** comprend:
- Un ou plusieurs moteurs **exclusivement électriques**
- Une **grosse batterie** (poids > 300 kg et volume important) rechargeable chez soi ou sur des bornes publiques
- Elle est très silencieuse (danger pour les piétons)
- Accélérations très fortes, pas de boîte de vitesse mais réducteur (le moteur élec tourne jusqu'à plus de 10 000 t/mn) Possibilité de transmission intégrale (4x4)
- Autonomie « **annoncée** » entre 150 et 400 km pour les modèles « petites citadines » et moyens de gamme

Renault Zoe ZE 40



Zoe ZE 40

- Batterie LI-Ion 41kW.h 400v 305 kg
- Autonomie NEDC : 400 km
- Puissance 92ch/68 kW (R90) ou 88ch/65kW (Q 90)
- Couple max : 220 N/m à 3000t/mn
- V max:135 km/h
- 0-100km/h en 13,2 s
- Poids : 1480 kg
- Prix : 25 700 € (26 100 € charge rapide moteur Q 90)

Nissan Leaf Acenta



Opel Ampera-E



Tesla S 90 D intégrale



Différents types

- Les voitures « **hybrides rechargeables** » dites « Plug-in » possèdent :
- Un ou plusieurs moteurs électriques de puissance moyenne ou élevée
- Un moteur thermique essence ou diesel. Avantage: si batterie vide, le moteur thermique permet de continuer sa route.
- Une batterie de taille moyenne **rechargeable sur une borne extérieure** permettant de faire plusieurs dizaines de km
- Autonomie limitée en tout électrique. Possibilité d'utiliser les deux moteurs en même temps = puissance augmentée.

Golf GTE Hybride Plug-in



DS5 hybride 4



Différents types

- Les voitures « **hybrides** » **non rechargeables** sur une prise extérieure, comprennent :
 - Un **moteur essence ou diésel, associé** à un ou plusieurs **moteurs électriques**, avec une boîte de vitesse **mécanique ou automatique**
 - **Une batterie petite** à la capacité limitée, donc faible autonomie en tout électrique (2 à 10 km en ville) et **rechargée par le moteur thermique**.
 - **Puissance augmentée** lorsque les deux moteurs sont sollicités, permettant sur une durée courte des **accélérations franches**.

Toyota Auris Hybride



	ZOE ZE 40	Nissan Leaf	Opel Ampera	Tesla S 90	Golf GTE	Toyota Auris
Batterie poids	41 kW.h 305 kg	30 kW.h	60kW.h 430 kg	90 kW.h 550kg	8,7kW.h	1,3 kW.h NI-Mh
Autonom. NEDC	400	250	520	560	50	2km à 50km/h
Puissance Ch/kW	92/68 88/65	109/80	204/150	524/ 386 Av + Ar	204/150 ME75kW	136/100 ME
Couple N/m	220	245	360	660	350	300
V max Km/h	135	144	150	250	222	180
0-100km/h	13,2 s	11,5	7,3	4,4	7,6	10,9
Poids kg	1480	1525	1691	2084	1600	1310
Prix €	25 700 + L	35 300	39 500	98 150	40 500	25 800
Rech.rap.	1h05	1/2h 80%	1h30	40mn 80%	2h45	—

Les Batteries lithium-ion

- Le Lithium est relativement abondant surtout dans les « **salars** » du Chili, de l'Argentine et de Bolivie et dans les roches pegmatites et argiles, Australie et Chine.
- C'est un élément métallique alcalin léger très oxydable, **irritant et toxique en cas d'inflammation**.
- **L'extraction du lithium a un impact environnemental** important: pomper et évaporer la saumure (carburant), traiter et purifier pour obtenir le carbonate de lithium Li_2CO_3 , le calciner pour obtenir Li métal (émission de CO_2)
- **La durée de vie des batteries est de l'ordre de 10ans** il faut donc envisager **leur recyclage, qui consomme de l'énergie** et produit aussi des déchets. Usine UMICORE en Belgique et RECUPYL en France.

Le lithium: « salar » d'Uyuni en Bolivie



Batteries lithium-ion

- Les batteries sont constituées de lithium sous forme ionique. Le courant est produit par déplacement d'ions Li^+ dans un électrolyte « aprotique », entre une électrode en graphite et une électrode en dioxyde de Co ou Mn .
- Fabricants : Lg chem., Samsung, Panasonic, Tesla...
- **Pas d'effet « mémoire ».**
- Chaque cellule délivre une ddp de 3,6V.
- L'associations en série et parallèle de plusieurs centaines de cellules constitue la batterie susceptible de délivrer la puissance nécessaire au moteur électrique.
- La tension utilisée varie entre 300 et 400V pour les moteurs électriques des voitures petites et moyennes.

Zoe et sa batterie de 41 kW.h



Batteries Lithium-Ion

Batterie de l'Opel Ampera-E
288 cellules 430 kg, $\approx 360\text{v}$



Zoe Z 40

- conso: 13,6 à 18,6 kW.h/100 km 300km max
- Charge 100% en :
- 25h sur prise domestique (8A)
- 16h avec prise green up 3,2kW (prise 16A)
- 7h avec Wallbox 7kW
- 1h05 sur borne rapide 43kW

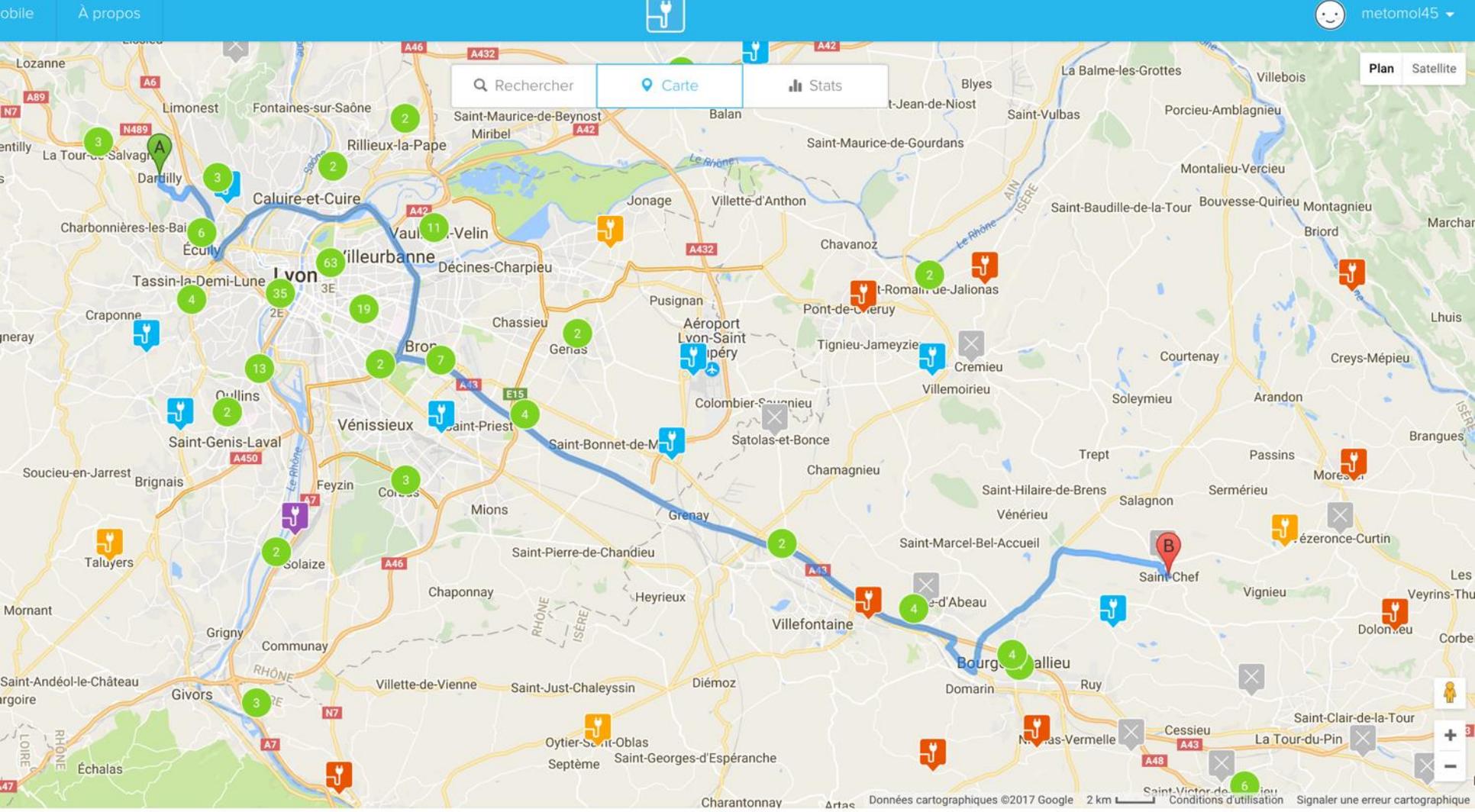
Temps de recharge Ampera E

En courant alternatif (AC) elle est proposée avec un chargeur de 7,2 kW permettant une recharge en 9h environ.

Type de prise	Temps estimé
Prise domestique 8A	32 h
Wallbox 3,7 kW	16
Wallbox 4,6 kW	13
Wallbox 7,4 kW	8
Combo 50 kW	1h30

Bornes extérieures de recharge

- En plus d'être « **Connectées** » **via votre smartphone** (recharge, démarrage du chauffage et dégivrage à distance) ... tous ces véhicules électrifiés (sauf hybrides purs), peuvent se recharger sur un **réseau de bornes extérieures** situées dans les centres commerciaux, les stations, les aires d'autoroute, certains hotels et restaurants.
- Cela nécessite parfois d'avoir des cables adaptateurs
- L'application <https://fr.chargemap.com> vous situe les endroits sur une carte, détaille votre itinéraire et son profil



Légende

Vitesses de charge

Les couleurs des marqueurs sur la carte correspondent à la vitesse de charge maximale disponible sur la zone de charge.



Standard → 3kW



Semi-accelérée → 7-11kW



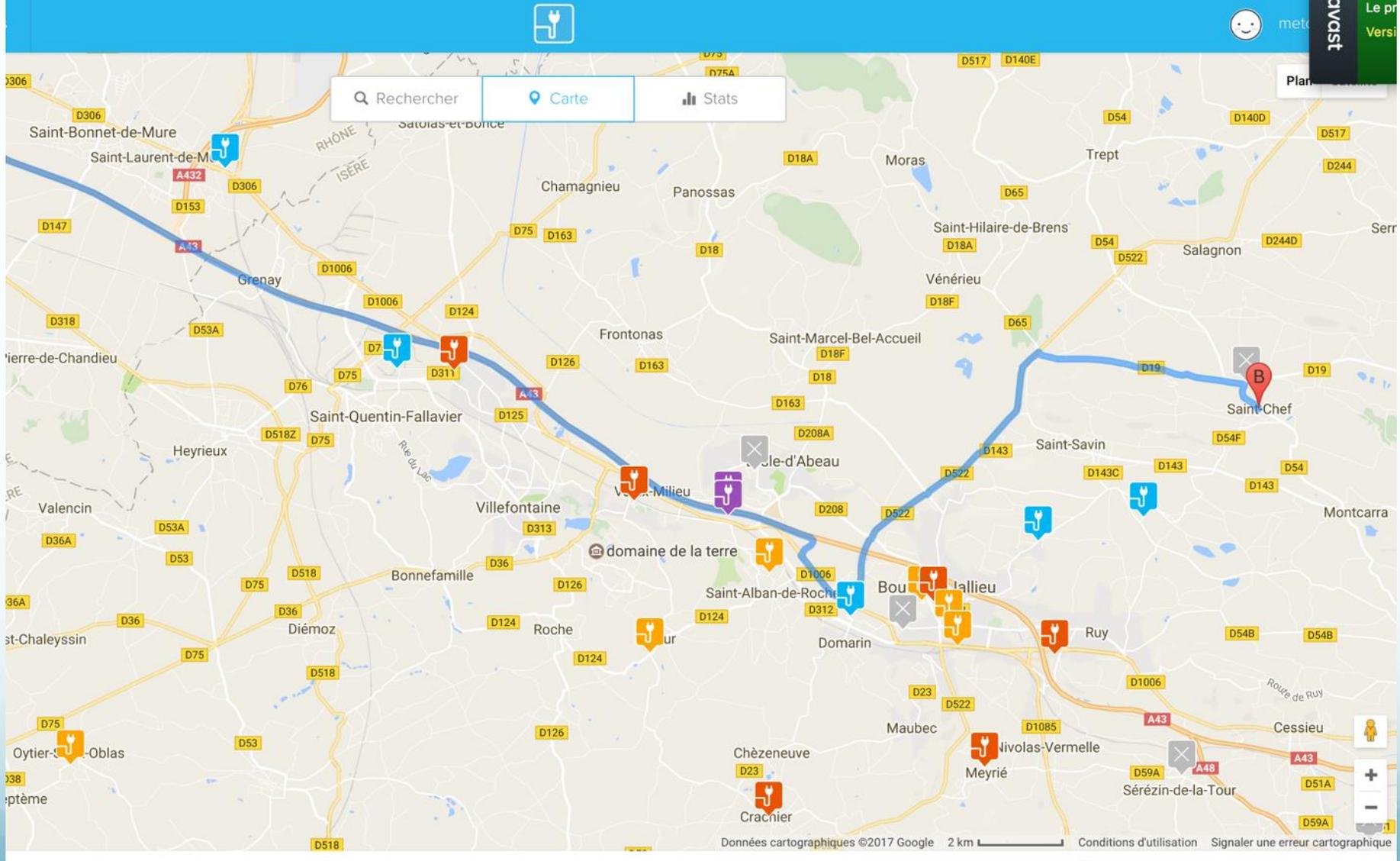
Accélérée → 22kW



Rapide → 43kW+



Hors d'usage

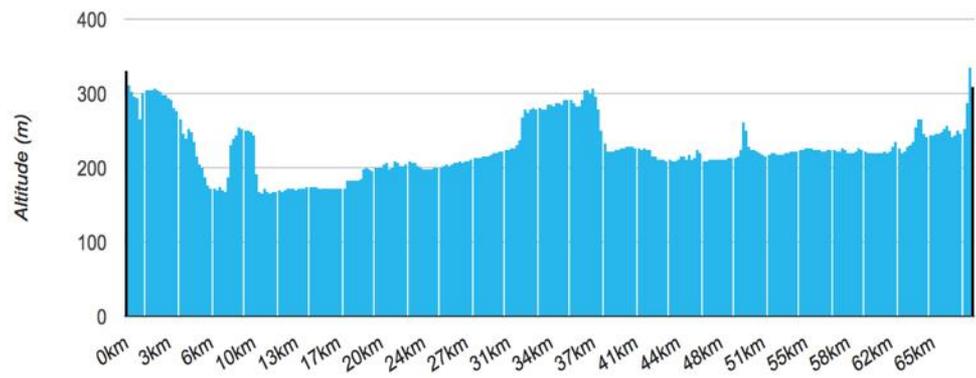


Rechercher Carte Stats

DISTANCE
70 KM

DURÉE
0H 58MIN

Dénivelé



Types de prises

Types de prises

✓ Tous

✓  Domestique UE

✓  Type 3C

✓  Type 2

✓  Type 1

✓  CHAdeMO

✓  Prise Combo UE

✓  P17 bleue (camping)

✓  P17 rouge (industrielle)

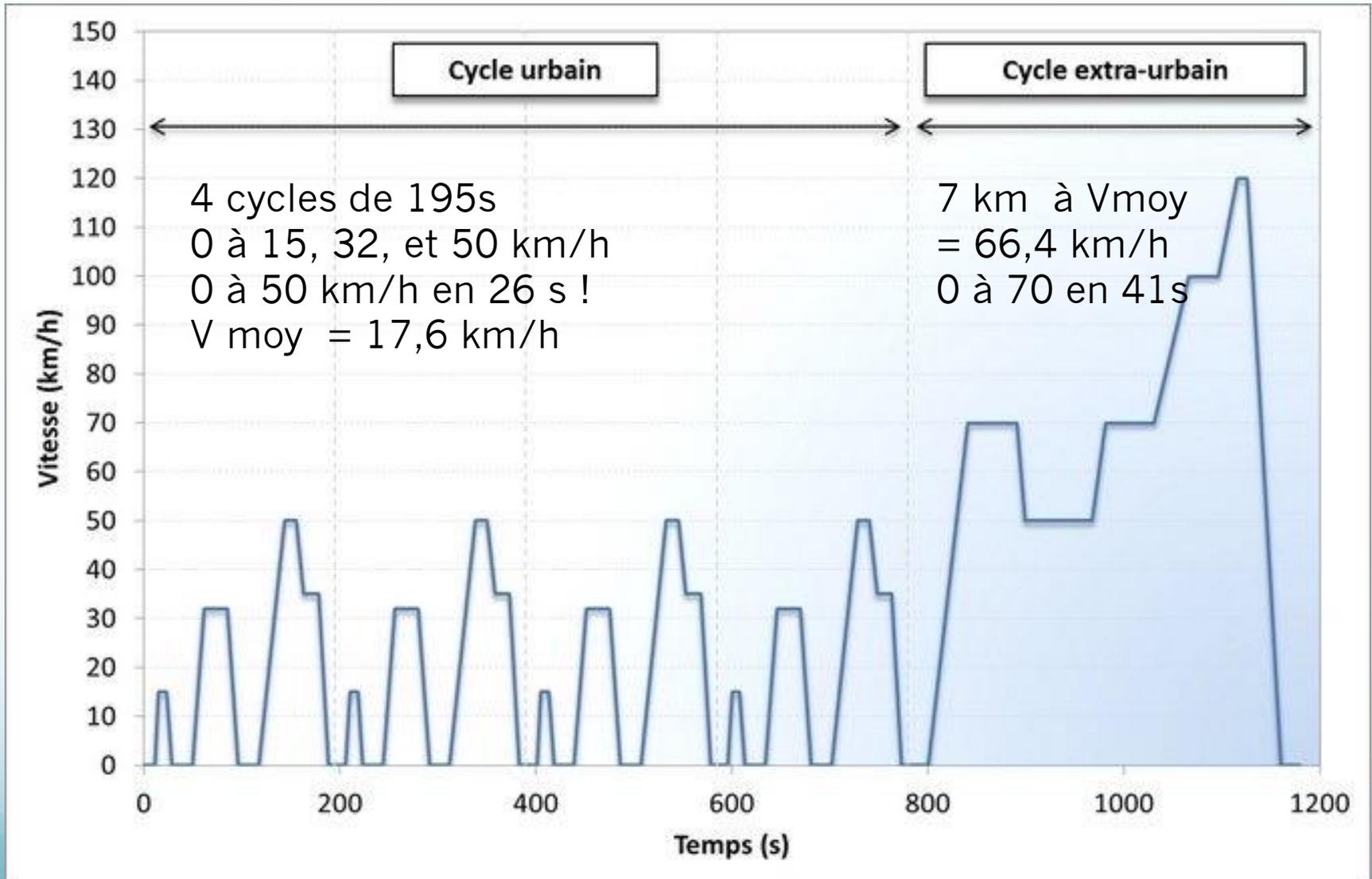
✓  Marechal

✓  Type 3A

Evaluation autonomie

- L'autonomie annoncée par les constructeurs est **toujours supérieure** à l'autonomie réelle car elle est évaluée selon le **cycle NEDC***, qui n'est pas représentatif des conditions normales de conduite, et ne considère que la conso du moteur sans les accessoires: phares, chauffage etc...
- **Globalement l'autonomie réelle se situe entre 50% et 80%**
- ex 400km selon NEDC = de 200 km à 320 km au mieux.
- *NEDC = New European Driving Cycle Il sera remplacé entre 2017 et 2020 par :
- WLTP : Worldwide harmonised Light vehicles Test procedures et son cycle WLTC (C pour cycle)

Cycle NEDC



Capacité des batteries

- Elle s'évalue en A.h x volts = des W.h ou en kW.h
- C'est la quantité d'énergie dépensée pendant une heure
- ex : une batterie de voiture diesel 74 A.h sous 12volts correspond à une énergie stockée de 888 W.h soit 0,9kW.h
- La batterie de la Zoe de capacité 41kW.h est donc capable théoriquement de délivrer 41 kW pendant 1h ou 20,5 kW pendant 2h ou 10,25 kW pendant 4h
- si elle consomme 10,25 kW.h pour faire 100km elle pourra faire 400 km avec sa réserve de 41kW.h

JPM/DEA **La capacité réelle disponible est de 90% env.** 15 mai 2017

Autonomie

- la capacité de la batterie c'est comme un réservoir d'eau: imaginons un réservoir de 41 litres avec un robinet qui laisse couler 10,25 litres en une heure
- le réservoir sera vide en $41 / 10,25 = 4$ heures. Si le robinet est plus gros le réservoir se videra plus vite.
- L'autonomie est donc le rapport entre la capacité totale de la batterie et la valeur moyenne de l'énergie qu'on lui demande de fournir . Cette énergie est variable:
- Si on conduit vite, avec de nombreuses accélérations, la batterie sera vide plus vite, de même si on franchit des côtes
- Les accessoires comme l'éclairage, le chauffage, les essuie glaces, le GPS, l'électronique embarquée, la radio font aussi diminuer l'autonomie ainsi que la température hivernale.

Augmenter l'autonomie

- Les constructeurs adoptent des technologies peu énergivores pour équiper les VE:
 - - Ampoules LED pour l'éclairage et la signalisation
 - - Pompe à chaleur pour le chauffage
 - - récupérateur d'énergie au freinage et ralentissement
 - - gestion électronique des batteries
 - - emploi de matériaux légers plast, alu...
 - - diminution des frottements, profil carrosserie (C_x)
 - - pneumatiques « vert »

Conduite et autonomie

- **Eviter les accélérations brusques:**
- Une seule accélération de 0 à 100 km/h en 13,2 s (ex Zoe) consomme en énergie **0,174 kW.h**
- Cela correspond à une accélération de $2,1 \text{ m.s}^{-2}$ soit 0,21g
- Le véhicule aura parcouru 183m ($x=1/2 \gamma t^2$)
- Une dizaine d'accélérations de ce genre sur 100 km augmente de **14% la consommation**
- L'augmentation du poids total en charge du véhicule diminue l'autonomie.

Conduite et autonomie

La consommation augmente beaucoup avec la vitesse - se car la puissance nécessaire pour vaincre la résistance de l'air **augmente avec le cube de la vitesse:**

$$F_{\text{air}} \text{ (Newton)} = 1/2 \cdot C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \quad \text{et} \quad P_{\text{air}} \text{ (W)} = F_{\text{air}} \cdot V$$

$$\text{Donc } P_{\text{air}} = 1/2 \cdot C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V^3$$

de 50 à 100 km/h $P_{\text{nécess}}$ est multipliée par 8

de 90 à 130 km/h $P_{\text{nécess}}$ est $X^{\text{ée}}$ par 3

de 110 à 130 km/h $P_{\text{nécess}}$ est $X^{\text{ée}}$ par 1,65

Et un toit en Photovoltaïque?

- Cela pourrait aider très faiblement à la recharge .
En effet à l'heure actuelle le rendement des cpv est de l'ordre de **120 à 150Wc/m²** (Si polycristallin)
- Compte tenu de la variabilité de l'ensoleillement sur une journée on peut espérer sur 2m² de toit du véhicule récupérer **200W x8h = 1,6 kW.h**
- Il faudrait **26 jours pour recharger la batterie de la ZOE ZE 40.**
- Cet appoint ne peut être envisagé actuellement du fait du coût de ce système qui serait **disproportionné par rapport au bénéfice.**

Venturi « Eclectik »

La production solaire d'une journée permet de faire 7 km à moins de 50km/h



Et la voiture à Hydrogène?

- La pile à combustible est un système qui génère du courant à partir d'une réaction d'oxydation alimentée par de l'Hydrogène et **produit de l'eau**, et de la chaleur.
- le coût est encore très élevé, la production d'hydrogène consomme de **l'énergie** et n'est pas dans une phase suffisamment industrialisée pour être rentable. Il faut arriver à 13€/kg (= 100km) si production H₂ par énergie renouvelable.
- la mise en œuvre est délicate (H₂ est hautement explosif) et une **station de ravitaillement coûte 1 M d'euros**

Voitures à Hydrogène

Une solution d'avenir complémentaire à la voiture électrique



Bonus financiers

- Aides de l'état :
- - de 0 à 20 g CO₂ : **6 000 €** pour achat d'un véhicule tout électrique
- **+ 4 000 €** si destruction d'un diesel d'avant le 1er janv. 2006
- - de 21 à 60g CO₂: **1 000 €** pour hybride plug-in (rechargeable)
- **+ 2 500 €** si destruction d'un diesel d'avant 1er janv 2006
- Les hybrides classiques **non rechargeables ne bénéficient plus de bonus.**

Zoe / Clio

	ZOE Intens	CLIO LIMITED
Energie	Electrique	Essence
Prix catalogue	25.700 € (- 6.000 €)	15.500 €
Puissance	92 ch	90 ch
Consommation normes CCE	13,3 kWh / 100 km	5 l / 100 km
Prix unitaire	0,127 / 0,15 €/ kWh Hc/ Hp	1,40 €/litre
Coût énergie pour 100 km	1,7 € / 2 €	7 €
Location batterie 7500 km/an 625km/mois	69 € / mois	0
coût locat pour 100 km	11 €	0
Coût total pour 100 km pour 7500 km/an	12,7 € / 13 € 953 € / 975 €	7 € 525 €

Coût de recharge

- Pour une recharge complète ce coût dépend:
- de la capacité du chargeur domestique et des câbles de recharge compatibles avec les différents types de prises
- Du contrat éventuel pour les recharges extérieures Tesla , Nissan... et emplacements dans les grandes surfaces
- Du prix du kW.h heure creuse ou heure pleine chez soi

Coût recharge complète EDF

Domicile

	HC 0,127 €/kW.h	HP 0,150 €/kW.h	Sans HC 0,145 €/kW.h
8,7 kW.h	1,10	1,31	1,26
30 kW.h	3,80	4,50	4,35
41 kW.h	5,21	6,15	5,95
60 kW.h	7,62	9	8,70
90 kW.h	11,43	13,50	13,05

recharge

- le mix moyen de la production électrique de la France équivaut à seulement 85g de CO₂/kW.h
- Europe : 400 g/kW.h Chine : 850g/kW.h Inde : 875 g/kW.h
- la consommation d'un V.élec /10 000km/an = 1000 à 2500 kW.h
- correspondant à un équivalent CO₂ pour 10.000 km de :
- 85 kg à 213kg CO₂ en France
- 400 à 1000 kg en Europe
- 850 à 2125 kg en Chine
- 875 à 2188 kg en Inde

Bilan énergie primaire*

- A l'heure actuelle on considère (ADEME) que l'énergie primaire en électricité = 2,58 fois l'énergie consommée à la prise
- cela implique qu'une voiture électrique qui consomme environ 15 kW.h aux 100 km, demande en réalité une énergie de 38,4 kW.h en énergie primaire.
- la RT 2012 oblige pour les constructions, dont le chauffage est électrique, à respecter une consommation de 50kW.h par m² en énergie primaire !
- Ce coefficient a été pris pour favoriser les énergies renouvelables.

Véhicules électriques bilan consommation

- Pour la France, si on remplaçait la moitié des véhicules à moteur thermique (soit $\frac{1}{2}$ de 32 millions) par des V électr. il faudrait, selon la conso du véhicule, (0,12 à 0,25 kW.h/ km) un surplus de production électrique pour 10 000 km/an de : **19,2 millions à 40 millions de MW.h soit :**
- 4.800 à 10.000 éoliennes de 2MW (4000 MW.h/an)
- 2 à 5 tranches nucléaires de 1.100 MW ($7,7 \cdot 10^6$ MW.h/an)
- 17 450 ha à 36360 ha de cellules PV (1.100kW.h/10m²/an)

Vraiment Zéro émission?

- HELAS NON Jamais!!
- Particules fines : un VE comme un VT **produit des particules** fines : pneumatiques, usure de l'asphalte, plaquettes de frein
- **Localement il ne rejette pas de gaz polluant**, mais le courant nécessaire pour le recharger provient de centrales nucléaires 76,3%, Hydrauliques 10,8%, éolien 3,9%, thermique 6,2%, photovoltaïque 1,4%, divers bio énergie 1,1,
- Ces installations produisent (ou ont rejeté pour leur construction) à des taux différents, du CO₂, des Nox, des particules fines, des rejets d hydrocarbures, de COV, de SO₂...

Outil de décision

Electro-compat-VE_GdPub-v9

Présentation Zoom 125% Insérer Tableau Graphique Texte Figure Données multimédias Commentaire Collaborer

Intro Simulation Table valeur résiduelle Carte Grise



VEHICULES ELECTRIQUES

ETES-VOUS ELECTRO-COMPATIBLE ?

Ce simulateur pédagogique n'a pas d'autre ambition que de vous aider à vous positionner par rapport à votre accès possible au Véhicule Electrique.

Il permet donc de répondre à la question : quelle économie financière serait générée par un véhicule électrique pour mes déplacements ?

Le principe consiste à comparer le coût complet d'usage d'un véhicule thermique avec son équivalent électrique sur la période de détention envisagée pour le véhicule électrique.



Glossaire :
VE : véhicule électrique
VT : véhicule thermique
HC : heures creuses du tarif élec
HP : heures pleines du tarif élec

Parti pris :

La durée de détention pour l'étude est conseillée entre 3 et 5 ans.
Le véhicule est acheté mais la batterie peut être louée.
Un contrat d'entretien est souscrit pour le VE ce qui permet de sécuriser le coût complet d'usage du VE.



[Je lance mon évaluation...](#)

Besoin d'aide ?... **Jean-Hubert GAYAUD** ghjtp6@laposte.net
----- PNEUS SOUS GONFLES DE 300g = 3% DE CONSOMMATION EN PLUS : VERIFIEZ LA PRESSION VOS PNEUMATIQUES -----

Electro-compat-VE_GdPub-v9.xlsx (145.2 ko)

15 mai 2017

JPM/DEA

52

Conclusions

- **Avantages VE :**
- Mécanique et entretien plus simples et moins chers
- Pollution locale plus faible
- Consommation électrique au km moins chère
- Silence et accélérations
- **Inconvénients:**
- prix et poids véhicules et location batteries ,durée de vie, recyclage
- Autonomie et vitesse limitées (mais en progrès dans avenir proche)
- bilan écologique incertain selon origine électricité



Merci de votre attention