

L'émergence du Véhicule Électrique

Les Enjeux - Les Batteries

ZE.



SOMMAIRE

01	Véhicule Électrique: Contexte et Usage	06	Durée de Vie
02	Marchés du Véhicule Électrique et Hybride	07	Sécurité
03	Technologies de Batterie pour Véhicule Électrique et Hybride	08	Recyclage
04	Batterie Li-ion pour Véhicule Électrique	09	Coût
05	Performances	10	Conclusion

01 Véhicule Électrique: Contexte et Usage

HISTORIQUE DES BATTERIES POUR VEHICULES

Véhicules électriques

Prototypes

Production série

500 véhicules



Ni-Cd



Li-ion



Li-ion



Li-ion

Li-ion

Batterie Pb

1/3 Essence
1/3 Vapeur

Batterie
12V de

1900

Prédominance du
moteur thermique

1997

Batterie Pb

POURQUOI LE VE EST DEVENU PERTINENT?

1. Réduction des émissions CO2

Réchauffement
climatique



- L'automobile est responsable de près de 15% des émissions CO2
- De plus en plus de réglementations et de taxes:

<20 g/km	20-50 g/km	50-60 g/km	60-90 g/km	90-105 g/km	135-155 g/km	155-175 g/km	175-180 g/km	180-185 g/km	185-190 g/km	> 190 g/km
bonus €7000	bonus €5000	bonus €4500	bonus €550	Bonus €200	taxe €100-400	taxe €1500	taxe €2000	taxe €2600	taxe €3000	taxe €5000

2. Prix et Rareté du pétrole

- Fluctuation du cours du baril (tensions géopolitiques)
- Épuisement des réserves



3. Nouvelles Technologies de Batterie

- Augmentation des densités d'énergie et de puissance:

Pb: 30 Wh/kg → Ni-Cd: 50 Wh/kg → NiMH: 70 Wh/kg → **Li-ion > 150 Wh/kg**

30 km

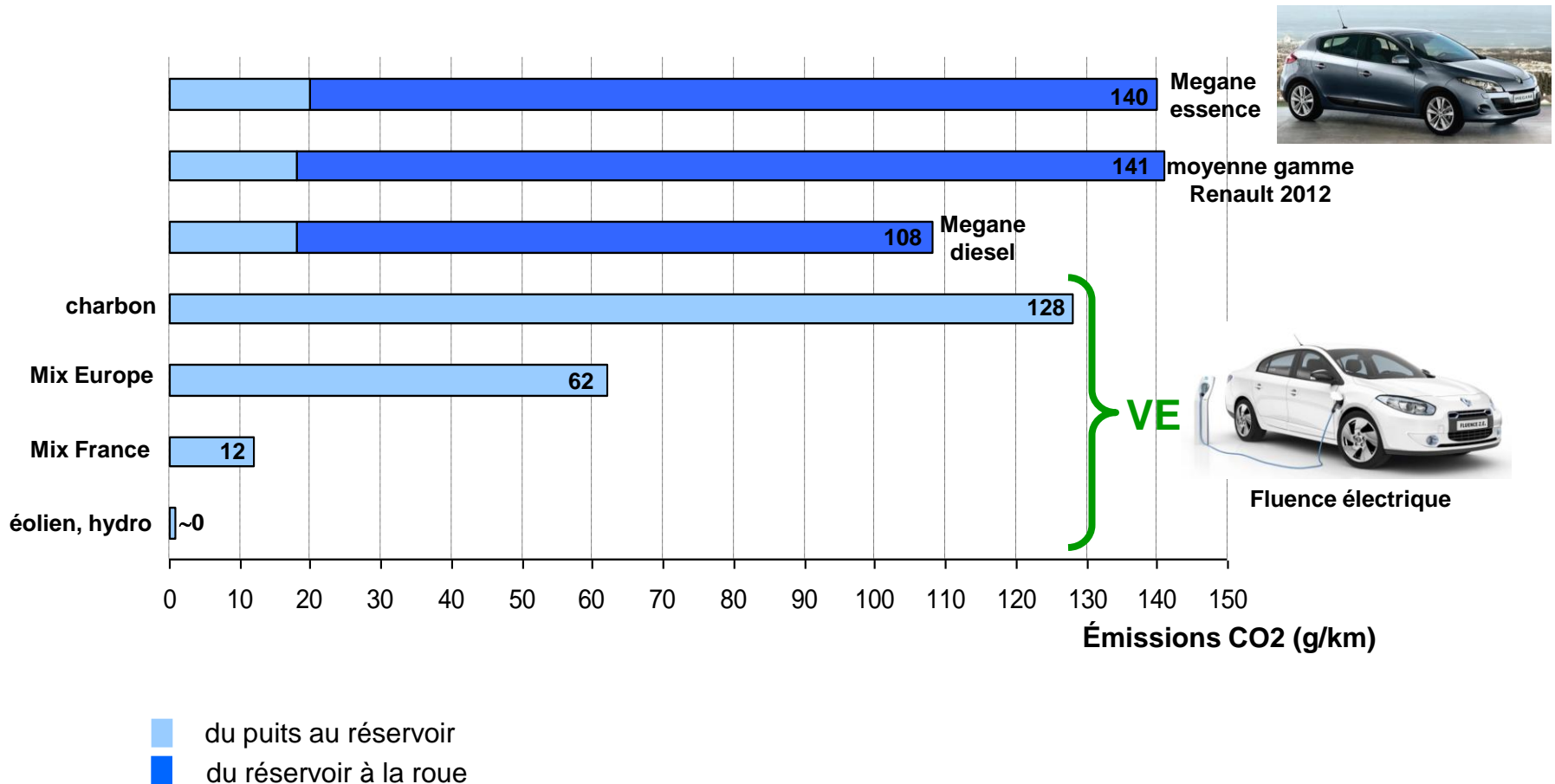
50 km

70 km

150 km

Le VE: une solution pour réduire drastiquement les émissions CO2

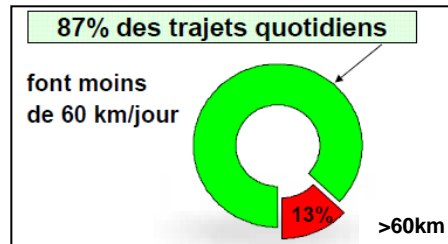
■ Emissions CO2 du puits à la roue



Le VE: une vraie alternative procurant plus d'agrément

- Une solution pour une majorité de clients

En Europe:



⇒ Autonomie de 100 km largement compatible avec une utilisation quotidienne

- Aucune émission polluante (particules, NOx, CO,...)

- L'absence de moteur thermique permet Zéro pollution en ville

- Aucune nuisance sonore et un nouvel agrément de conduite

- Un groupe motopropulseur électrique est quasiment silencieux (il faut cependant prévoir la génération de « bruit » artificiel à faible vitesse pour des raisons de sécurité)
- Un couple disponible immédiatement, contrairement au moteur thermique

Charge de la batterie d'un VE

■ 3 types de « recharge » possibles

■ 1. Charge normale (6-10h)

chez soi:

- avec une Wall Box
(3.7kW, 220V, 16A, 6-8h)



- directement avec un câble EVSE branché sur
une prise domestique (2.3kW, 220V, 10A, 10h)



ou via une borne publique (3.7kW, 6-8h)



■ 2. Charge accélérée / Charge rapide

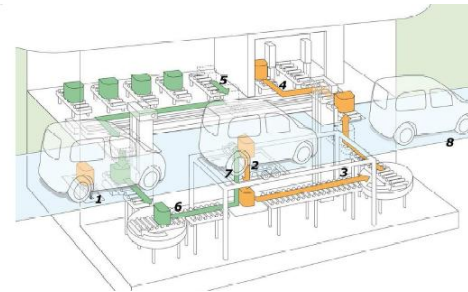


Charges sur borne spécifique (courant triphasé 400V, 32A ou 63A):

- charge accélérée: 22 kW (env 1h pour 80% de charge)
- charge rapide: 43 kW (env 30min pour 80% de charge)

■ 3. Echange de batterie « quick drop »

- env 3mn dans une station dédiée
- système de navigation utilisé



Différents modes de Charge

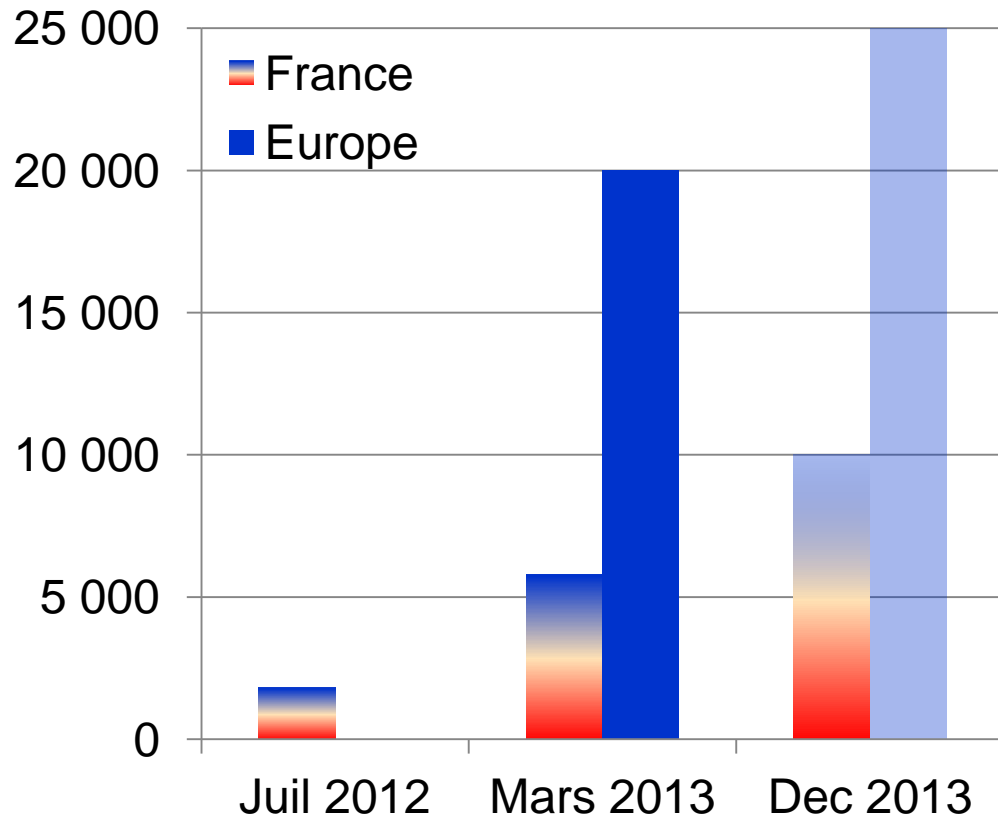
mode	AC/DC	puissance	chargeur	Raccordement			véhicules
				Câble	borne	VE	
1	AC	2,3 kW	Prise simple 230V 10A	Simple	dom 	câble attaché	Twizy 
2	AC	2,3 kW	Prise simple avec terre 230V 10A	avec boîtier de contrôle 	dom 	type 1 	Kangoo, Fluence (rech occasionnelle)  
3	AC	3,7 kW	Wall box ou borne 230V 16A	 Kangoo, Fluence	type 3 	type 1 	Kangoo, Fluence Zoé  
		22 kW	Borne 400V 32A		<u>ou</u>	type 2 	Zoé 
		43 kW	Borne 400V 63A	Zoé 	type 3 		Zoé
4	DC	50 kW	Borne 400V 125A	CHAdeMO			Leaf

Bornes Autolib (3 kW): branchements possible prise dom, type 3 et câble attaché permettant type 1 côté VE

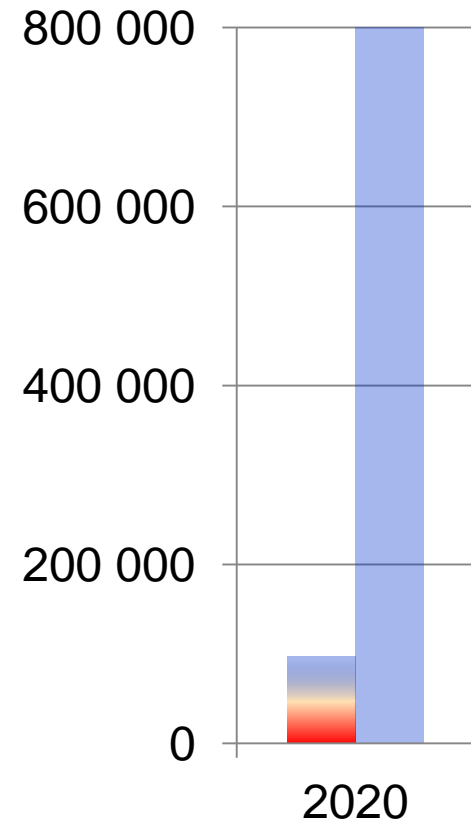
Allemagne: bornes de type 2

Infrastructure de Charge

Statut



Prévisions



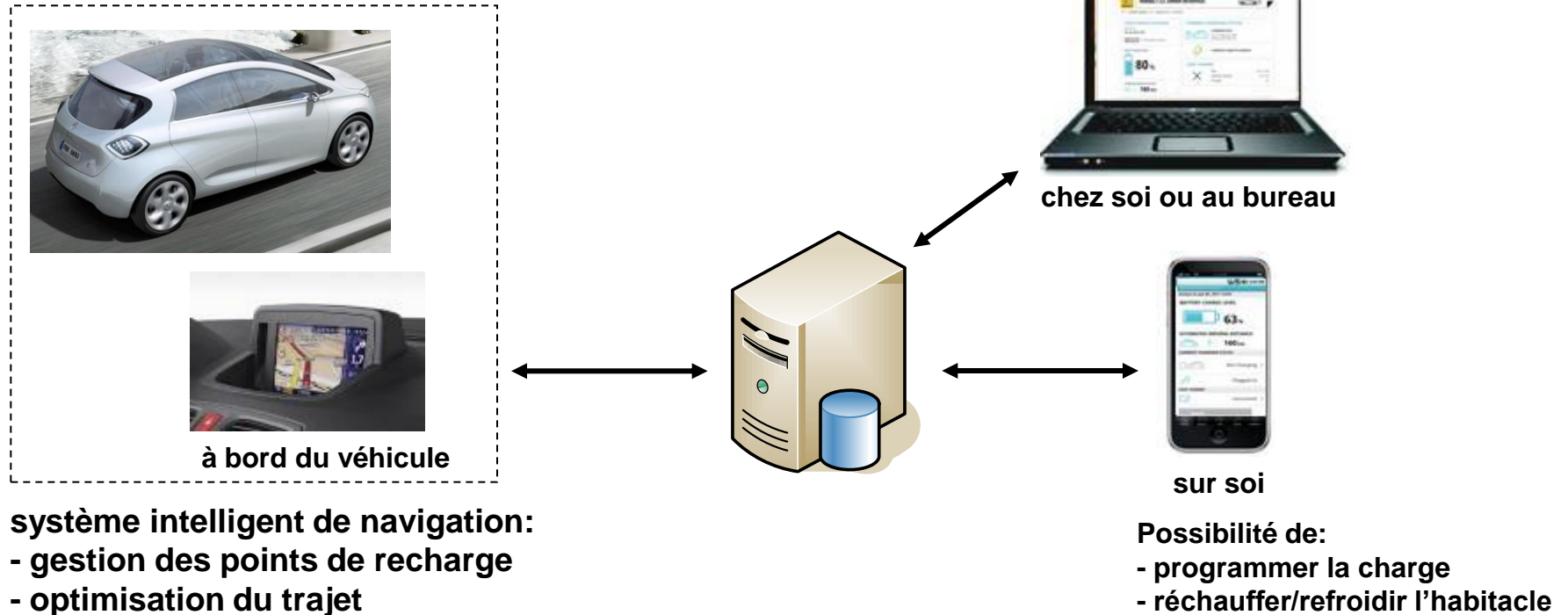
Etat des lieux Septembre 2013:

- Réseau Renault: 400 points de recharges représentant presque 900 bornes (charge normale ou accélérée)
- France: plus de 6 000 bornes (dont env 3 000 Autolib)
- Europe: plus de 22 000 bornes dont 4 000 pour les charges accélérées (1h ou 2h)

Utilisation d'un VE: les services connectés

Maîtriser l'autonomie de son véhicule

Gestion de l'état de charge de la Batterie:



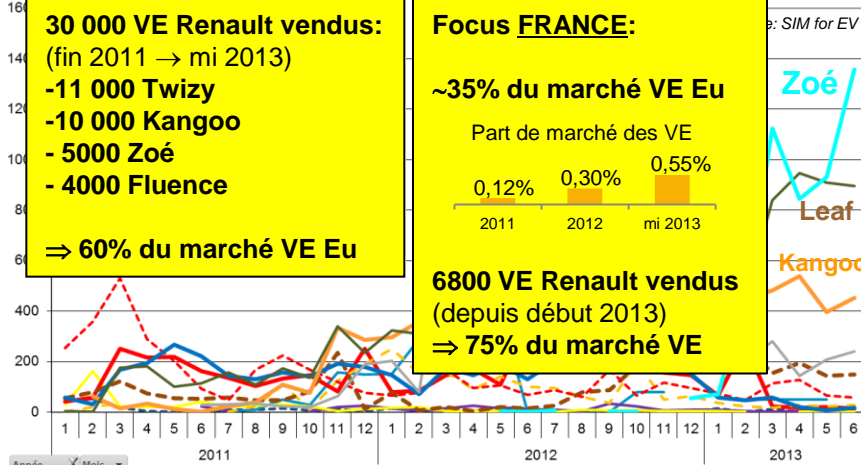
02 Marchés du Véhicule Électrique et Hybride

Marchés du VE et du VH : Actuels & Projections

VE Europe

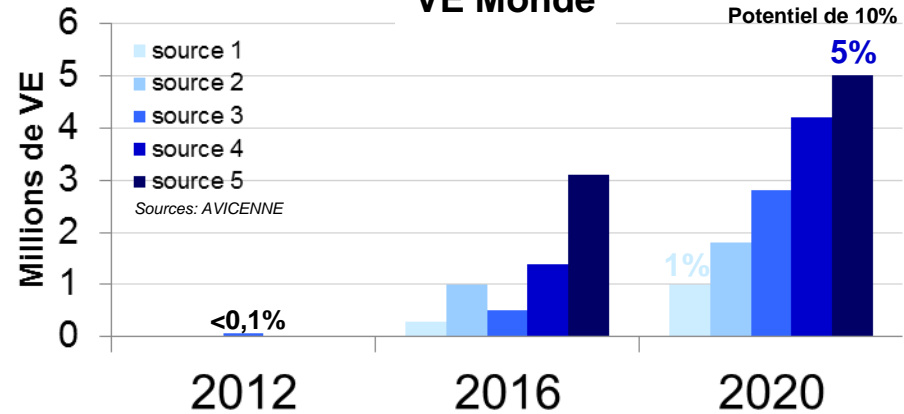
30 000 VE Renault vendus:
(fin 2011 → mi 2013)
-11 000 Twizy
-10 000 Kangoo
- 5000 Zoé
- 4000 Fluence
⇒ 60% du marché VE Eu

Focus FRANCE:
~35% du marché VE Eu
Part de marché des VE
0,12% 2011, 0,30% 2012, 0,55% mi 2013
6800 VE Renault vendus
(depuis début 2013)
⇒ 75% du marché VE



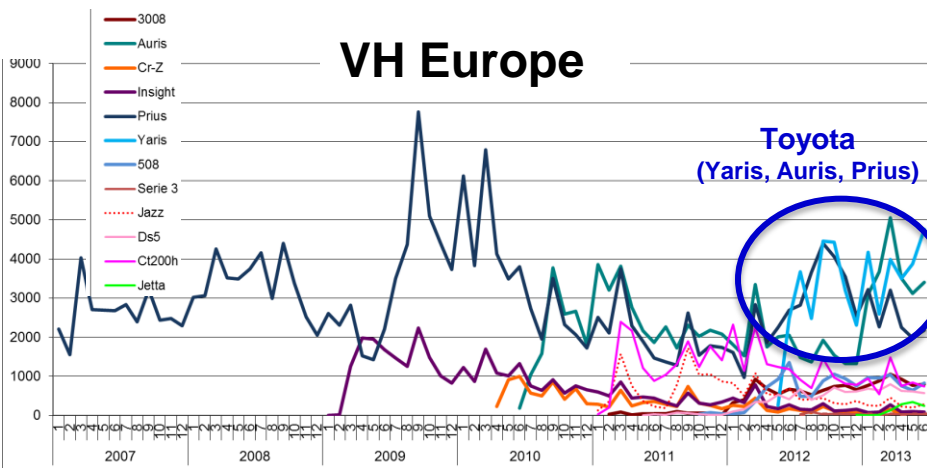
L'Alliance Renault-Nissan a déjà vendu plus de 100 000 VE dans le monde

VE Monde

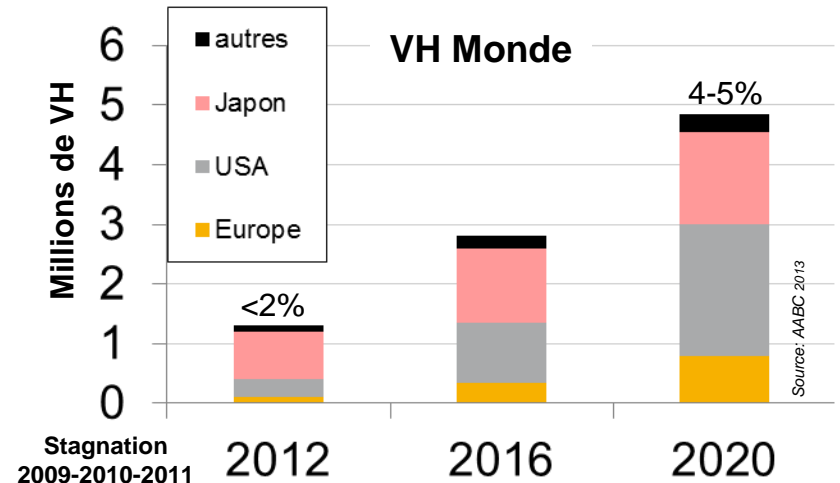


VH Europe

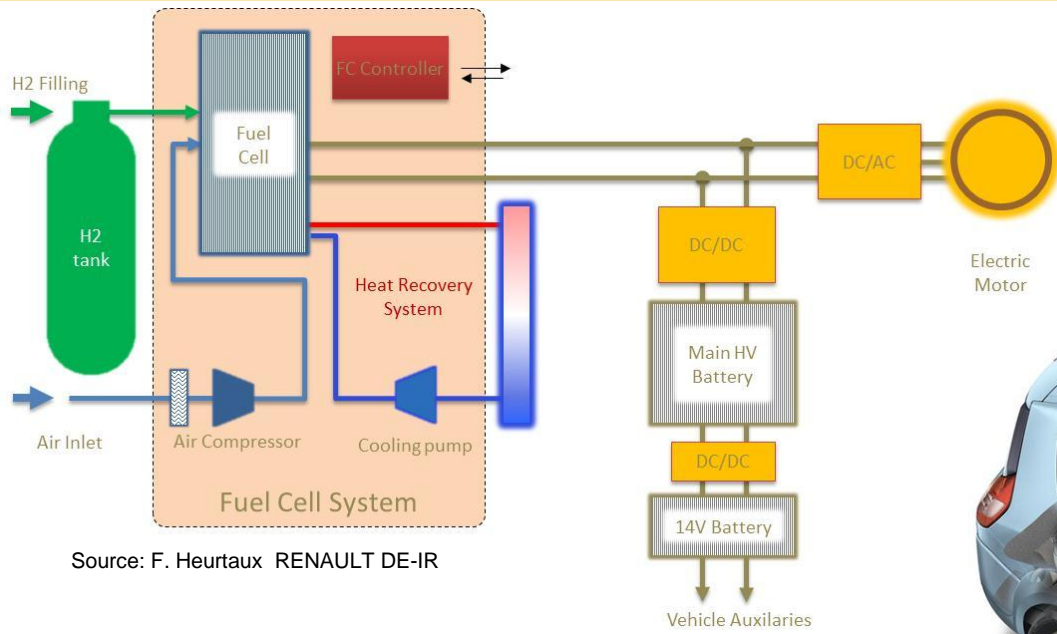
Toyota
(Yaris, Auris, Prius)



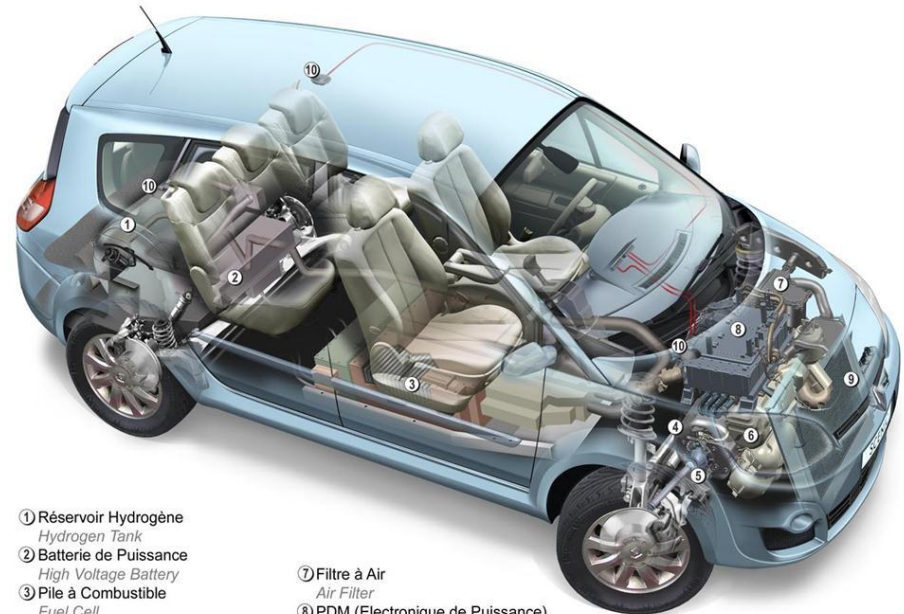
VH Monde



Alternatives au Véhicule Electrique à batterie



Source: F. Heurtaux RENAULT DE-IR



- ① Réservoir Hydrogène
Hydrogen Tank
- ② Batterie de Puissance
High Voltage Battery
- ③ Pile à Combustible
Fuel Cell
- ④ Moteur Electrique et Boîte
Traction Motor and Gear box
- ⑤ Transmission
Drive Shaft
- ⑥ Compresseur d'Air
Air Compressor

- ⑦ Filtre à Air
Air Filter
- ⑧ PDM (Electronique de Puissance)
*Power Delivery Module
(High Voltage Electronics)*
- ⑨ Radiateur de Refroidissement
Cooling Radiator
- ⑩ Capteurs d'Hydrogène
H₂ Sensors

Véhicule Pile à Combustible Hydrogène
Hydrogen Fuel Cell Vehicle

- Comme « range extender » pour augmenter l'autonomie du VE Batterie

03 Technologies de Batterie pour Véhicule Électrique et Hybride

Puissance et Energie pour les applications automobiles

Puissance

100 kW

10 kW

1 kW

véhicule conventionnel

100 Wh

1 kWh

10 kWh

100 kWh

Energie utile

⇒ Autonomie

Full/Strong Hybrid

(strong boost, regen braking, small e-drive)



Mild Hybrid

(boost, regen braking)



Stop&Start



Plug-in Hybrid (PHEV)

(strong boost, regen braking, long e-drive)



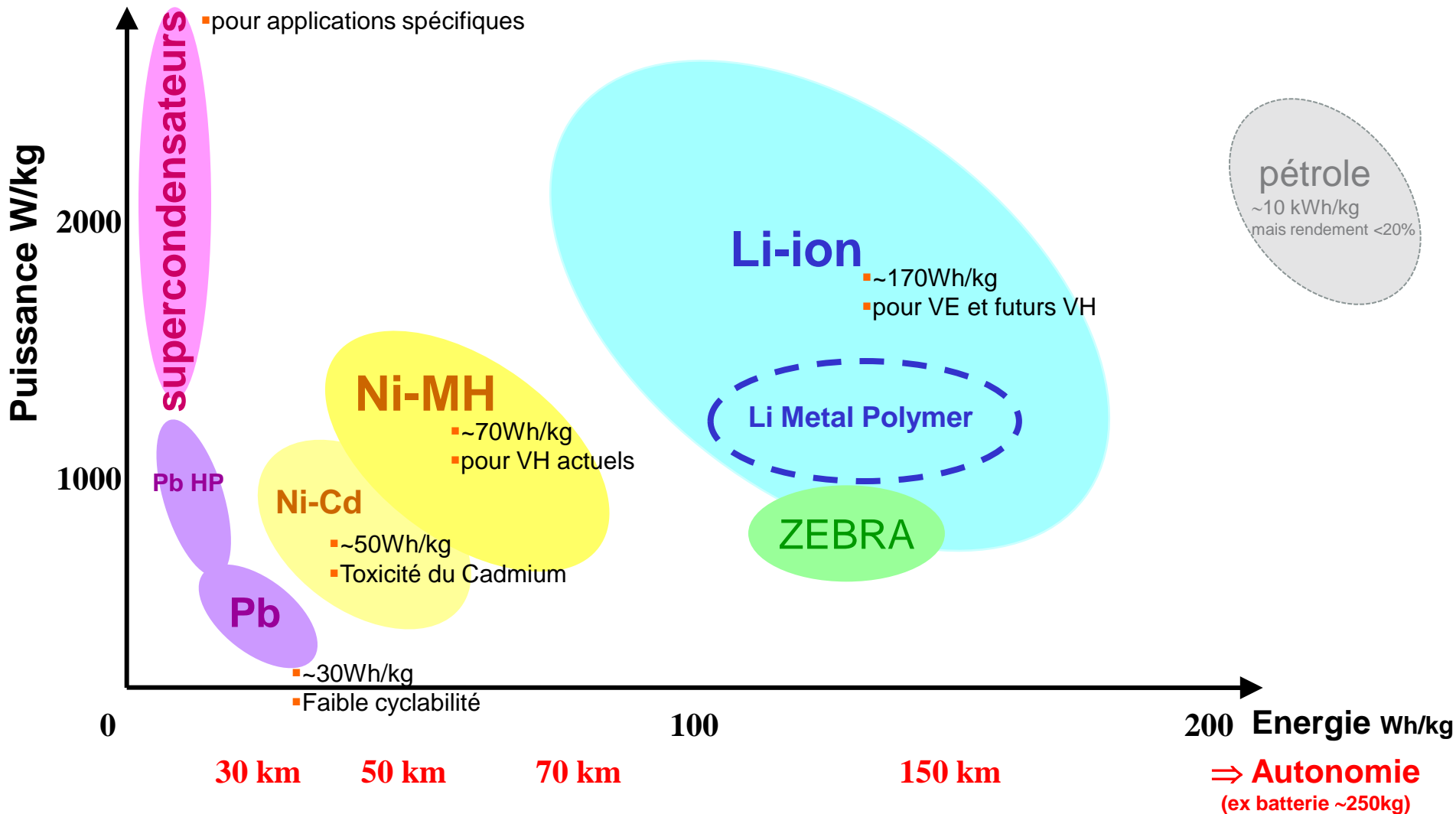
Pur VE

Syst HT

Syst 12V

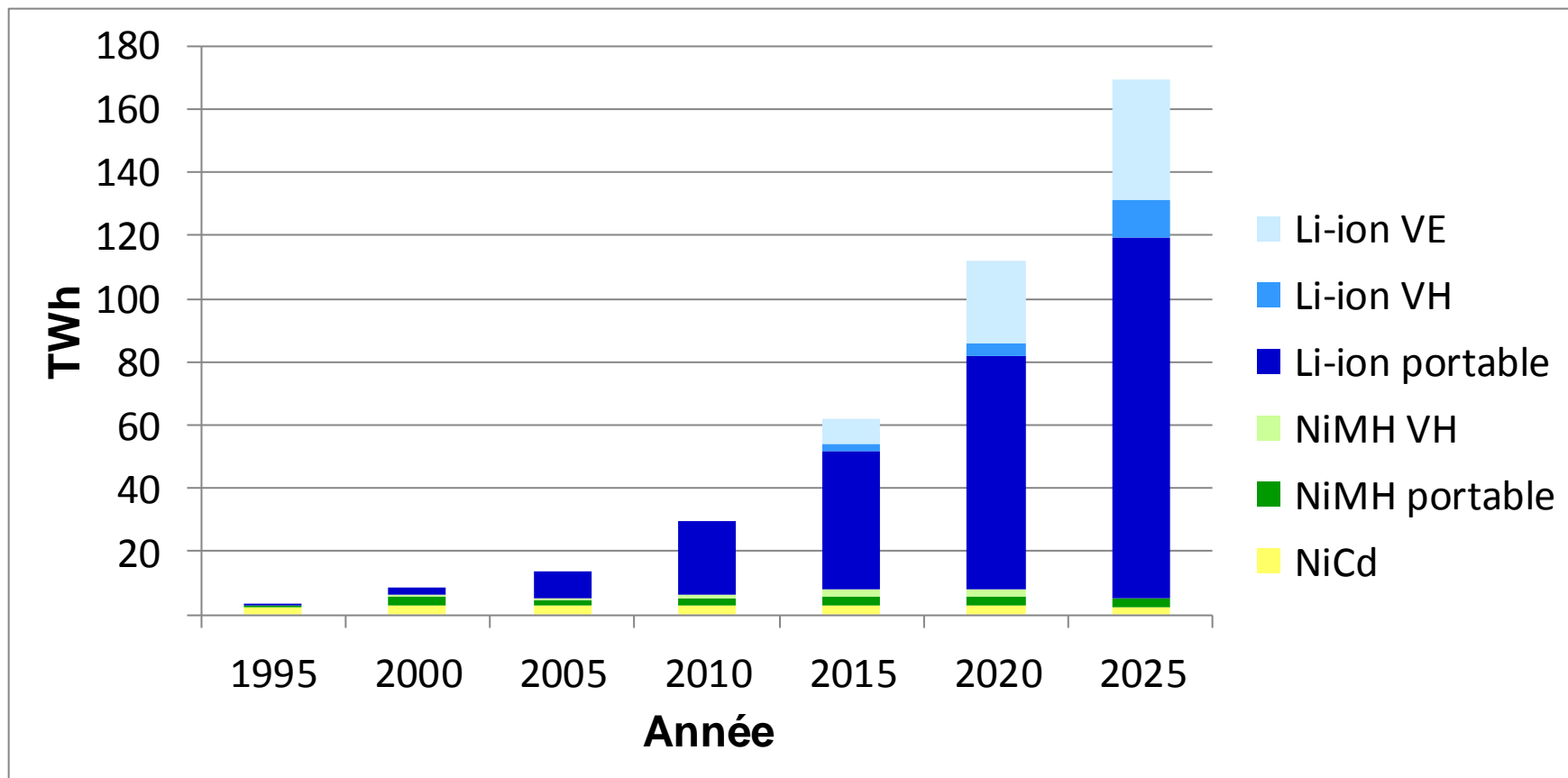


COMPARATIF DES PRINCIPALES TECHNOLOGIES



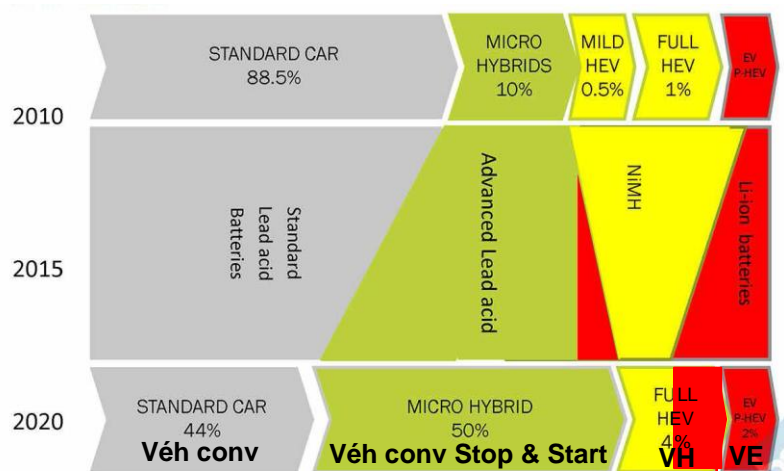
TECHNOLOGIES BATTERIES pour VE et VH

Marché mondial des batteries rechargeables (hors Plomb)

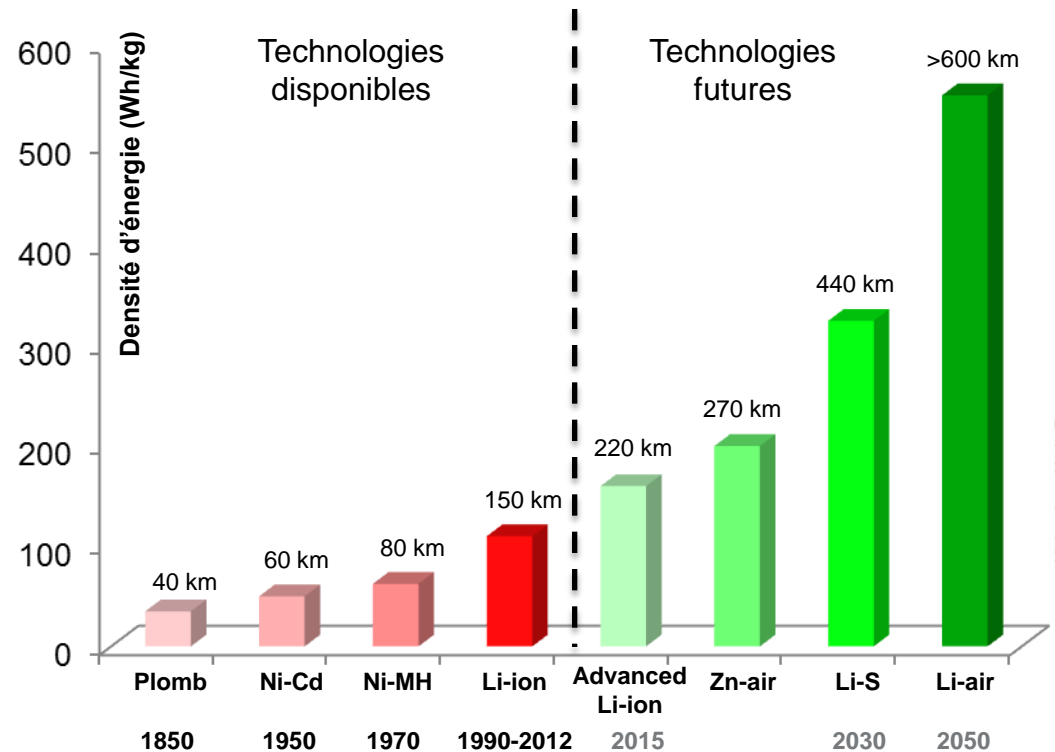


TECHNOLOGIES BATTERIES pour VE et VH

Quelles technologies après le Li-ion?



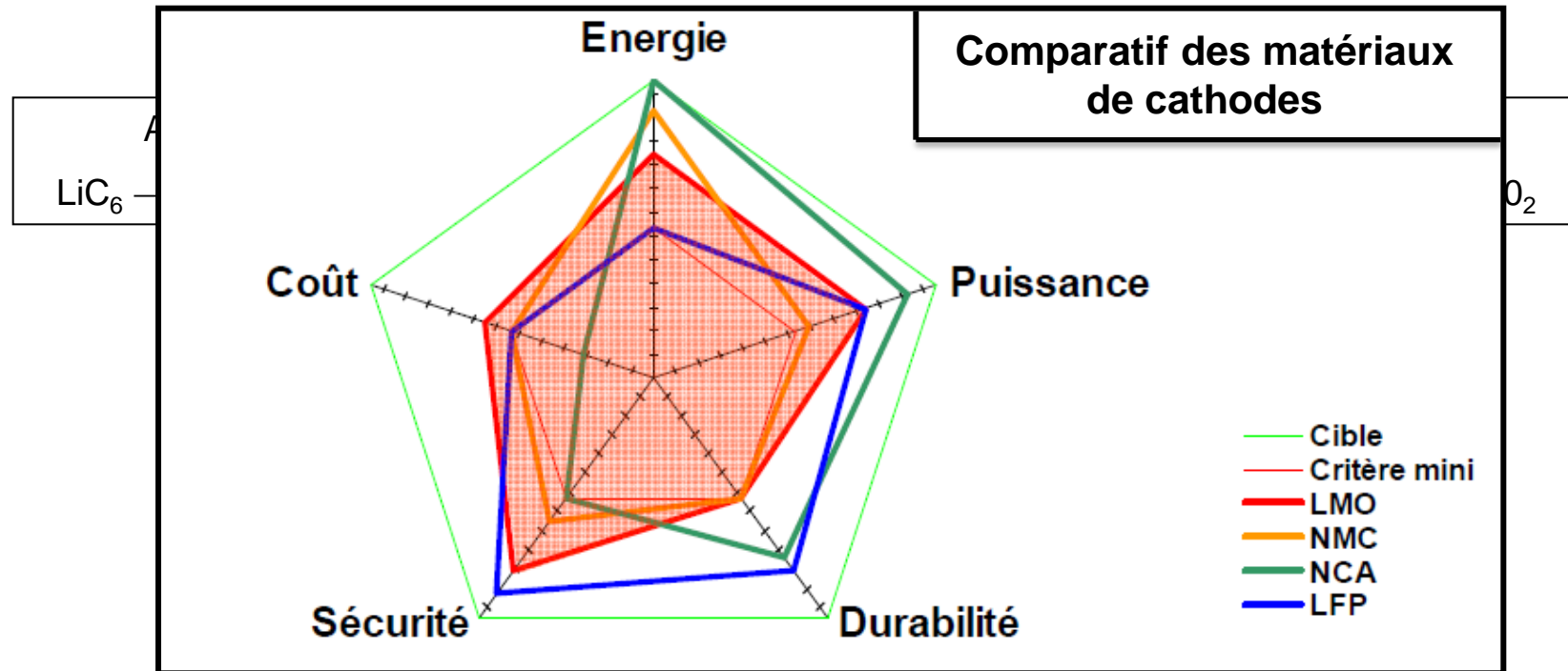
Source: Avicenne



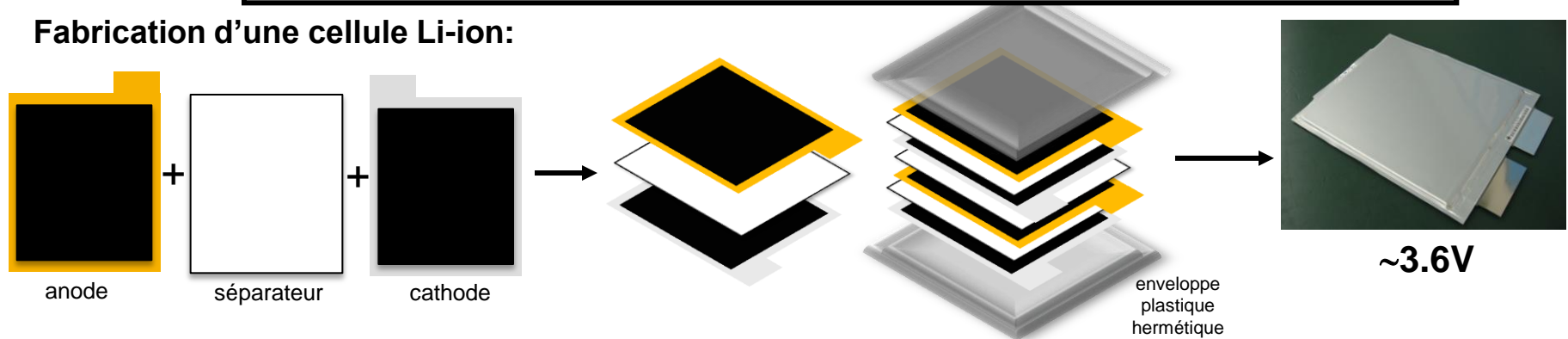
Vision Jean-Marie Tarascon

04 Batterie Li-ion pour VE

Principe de fonctionnement du système Li-ion

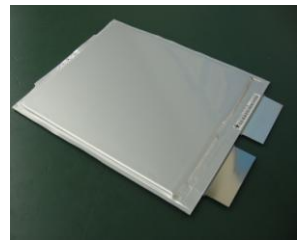


Fabrication d'une cellule Li-ion:



Structure d'une batterie de VE - exemple

De la cellule Li-ion au pack batterie:



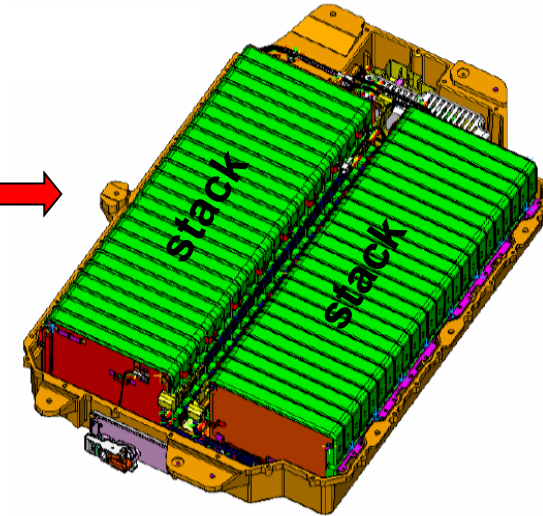
Cellule



Module
(~format A4)

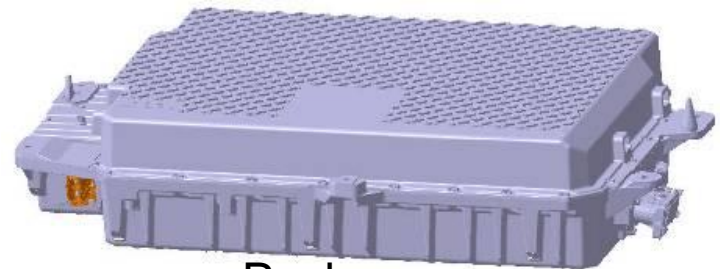


Stack



Pack composé de:

- stacks (assemblage de **modules**)
- BMS (contrôleur, électronique)
- connectique (connecteurs, busbars)
- capteurs (courant, tension, temp.)
- structure mécanique, autres...



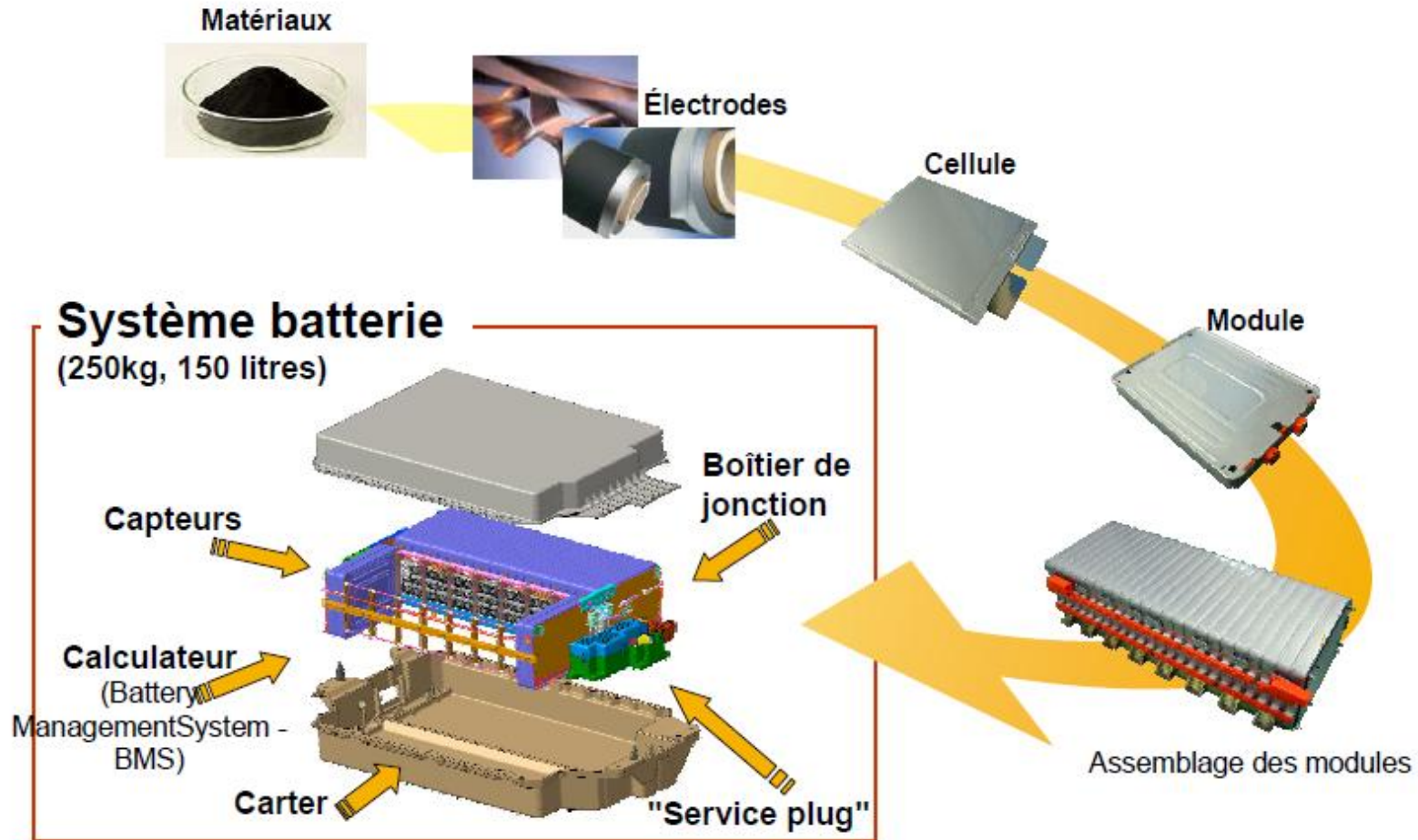
Pack



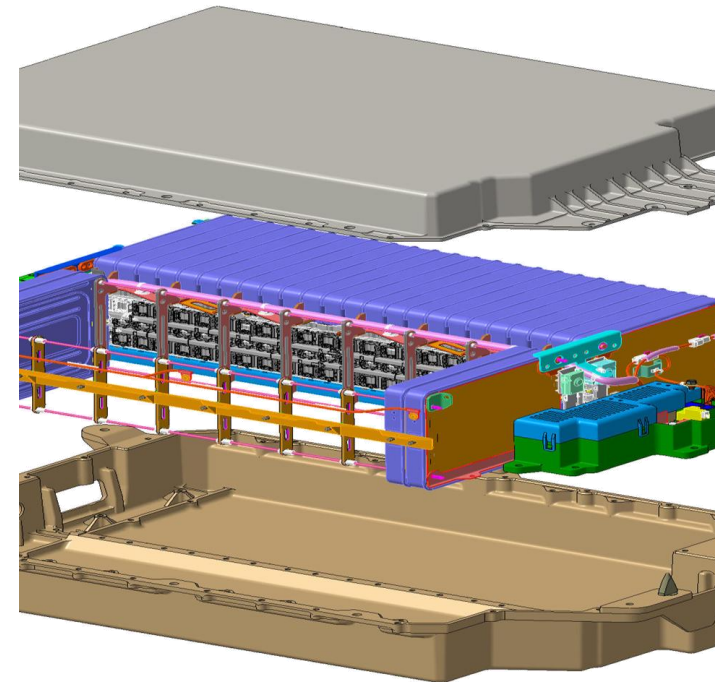
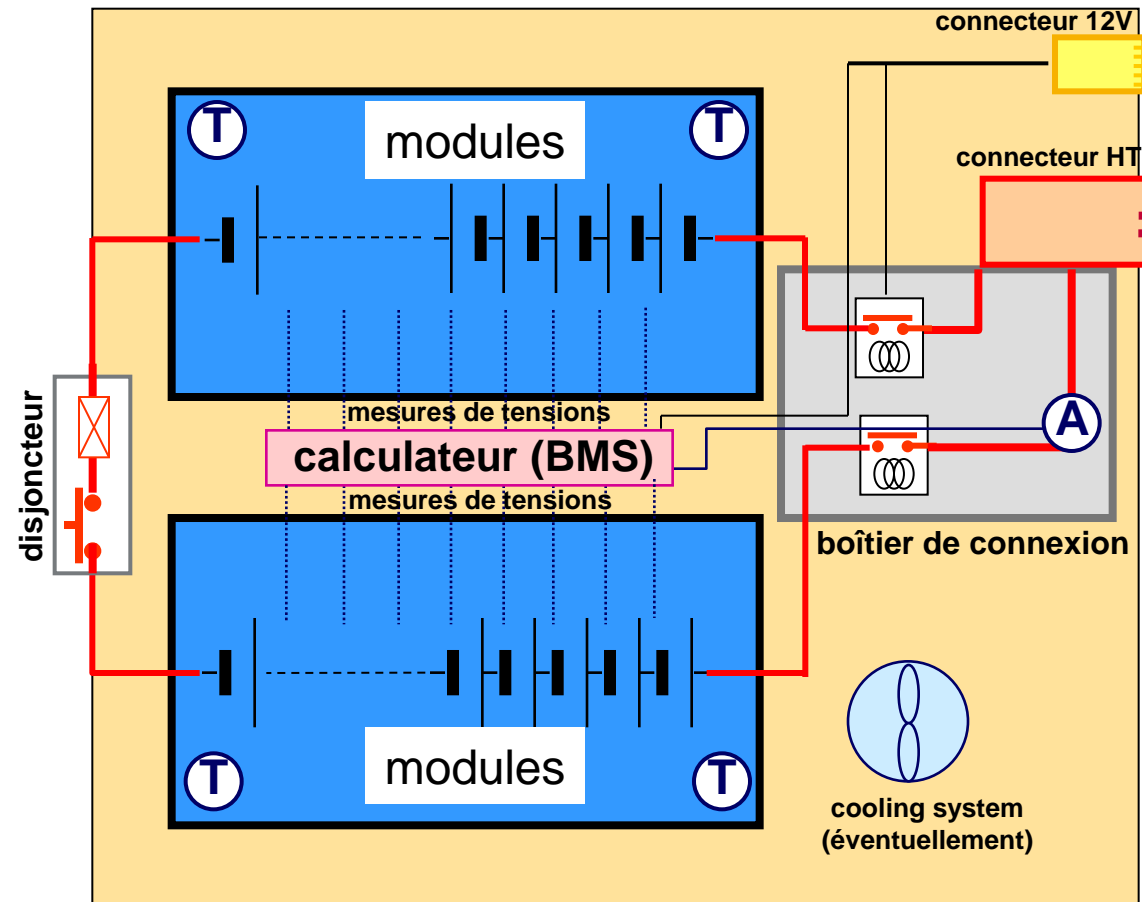
~25 kWh

Structure d'une batterie de VE - exemple

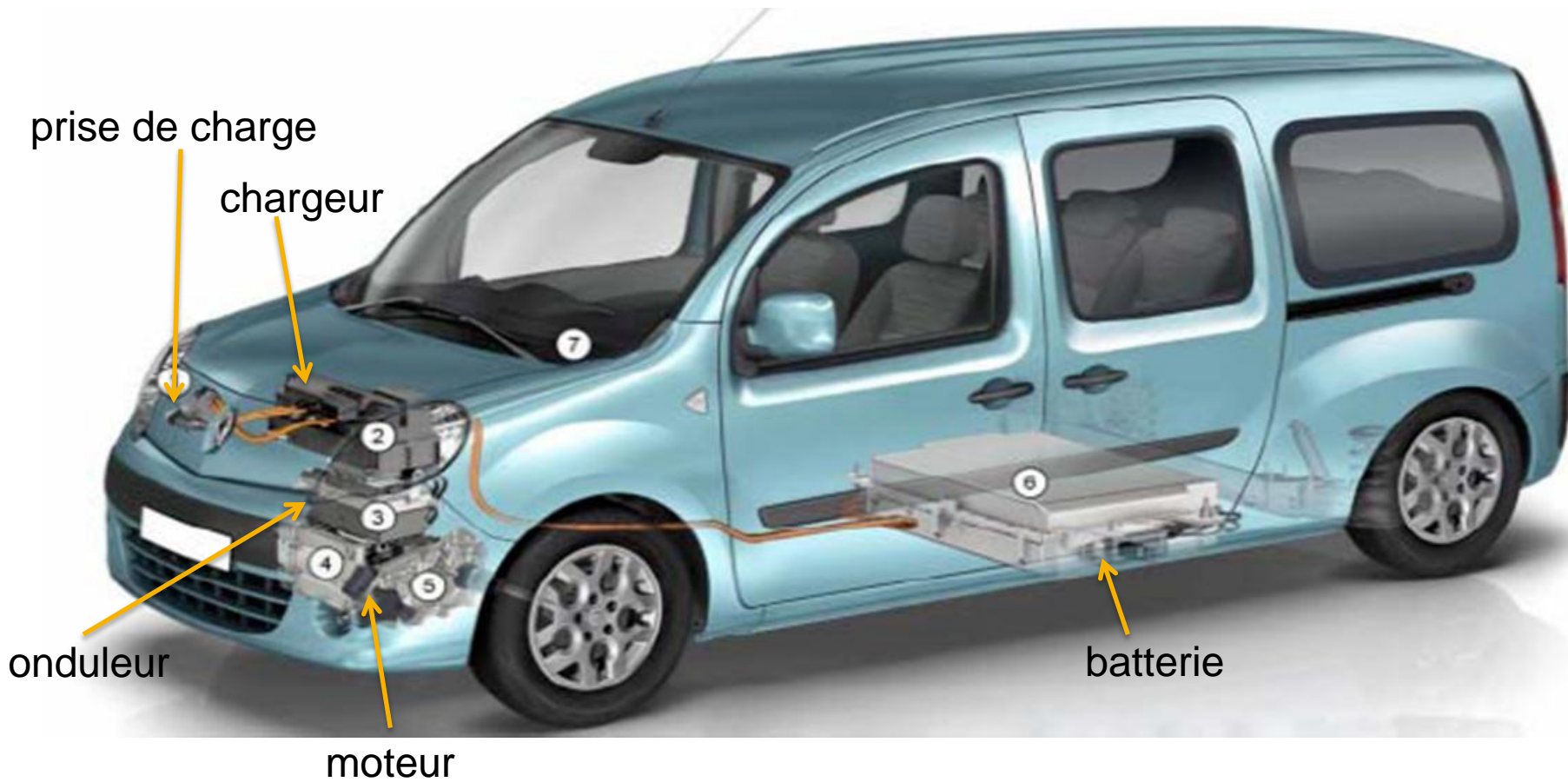
De la matière au pack



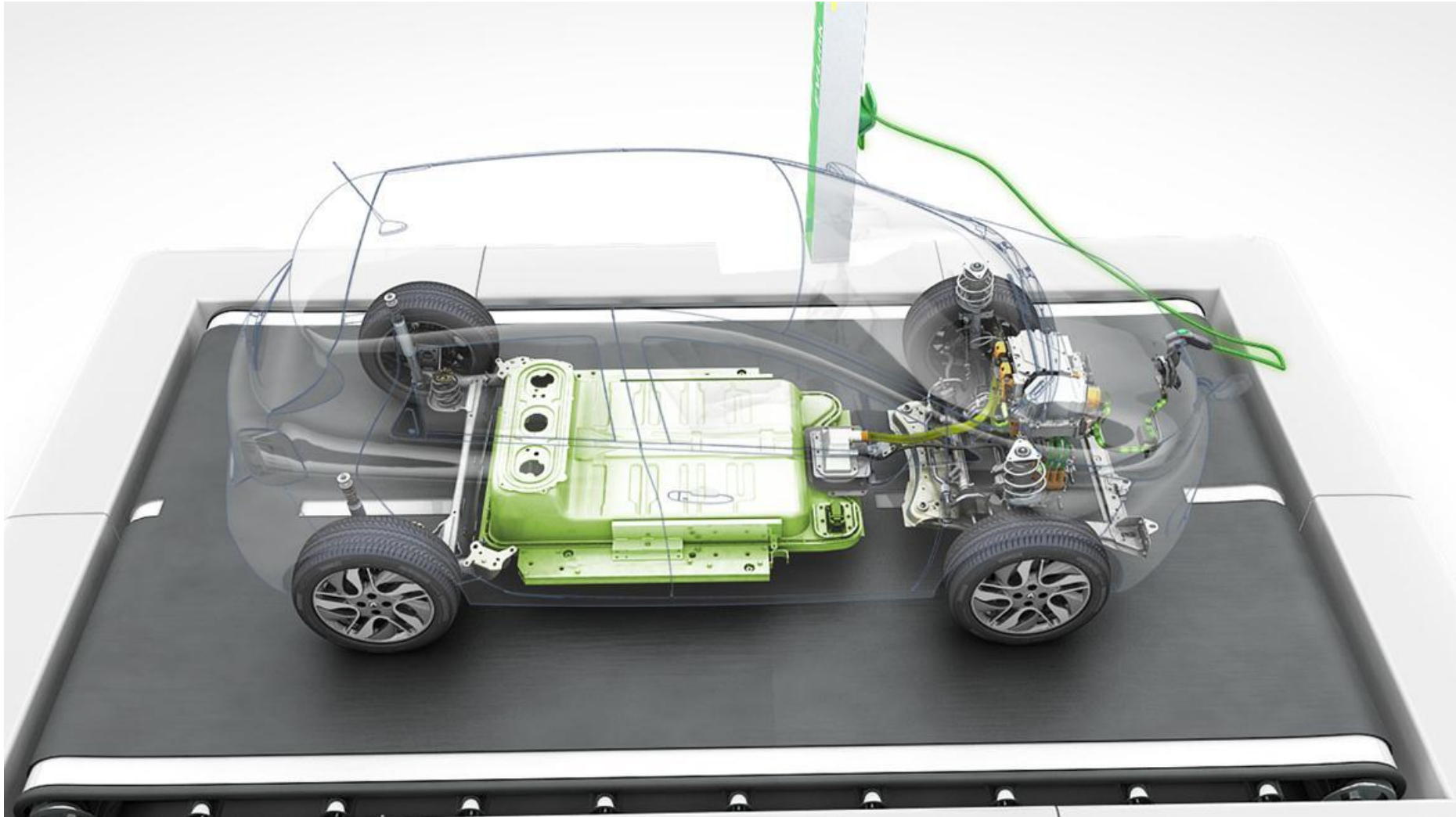
Structure d'une batterie de VE - exemple



Architecture d'un VE - exemple Kangoo



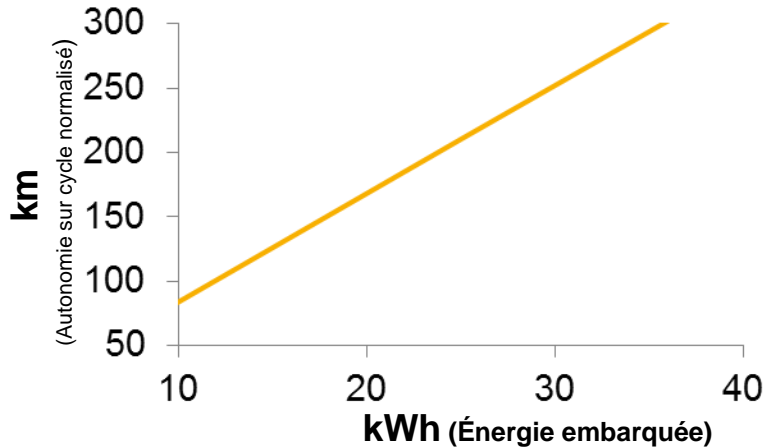
Architecture d'un VE - exemple Zoé



05 Performances

Energie et Puissance d'une batterie

- **Energie (Wh) \Rightarrow Autonomie**



L'autonomie dépend aussi fortement du parcours (dénivelés...), du style de conduite (vitesse...), du confort thermique (clim, chauffage)

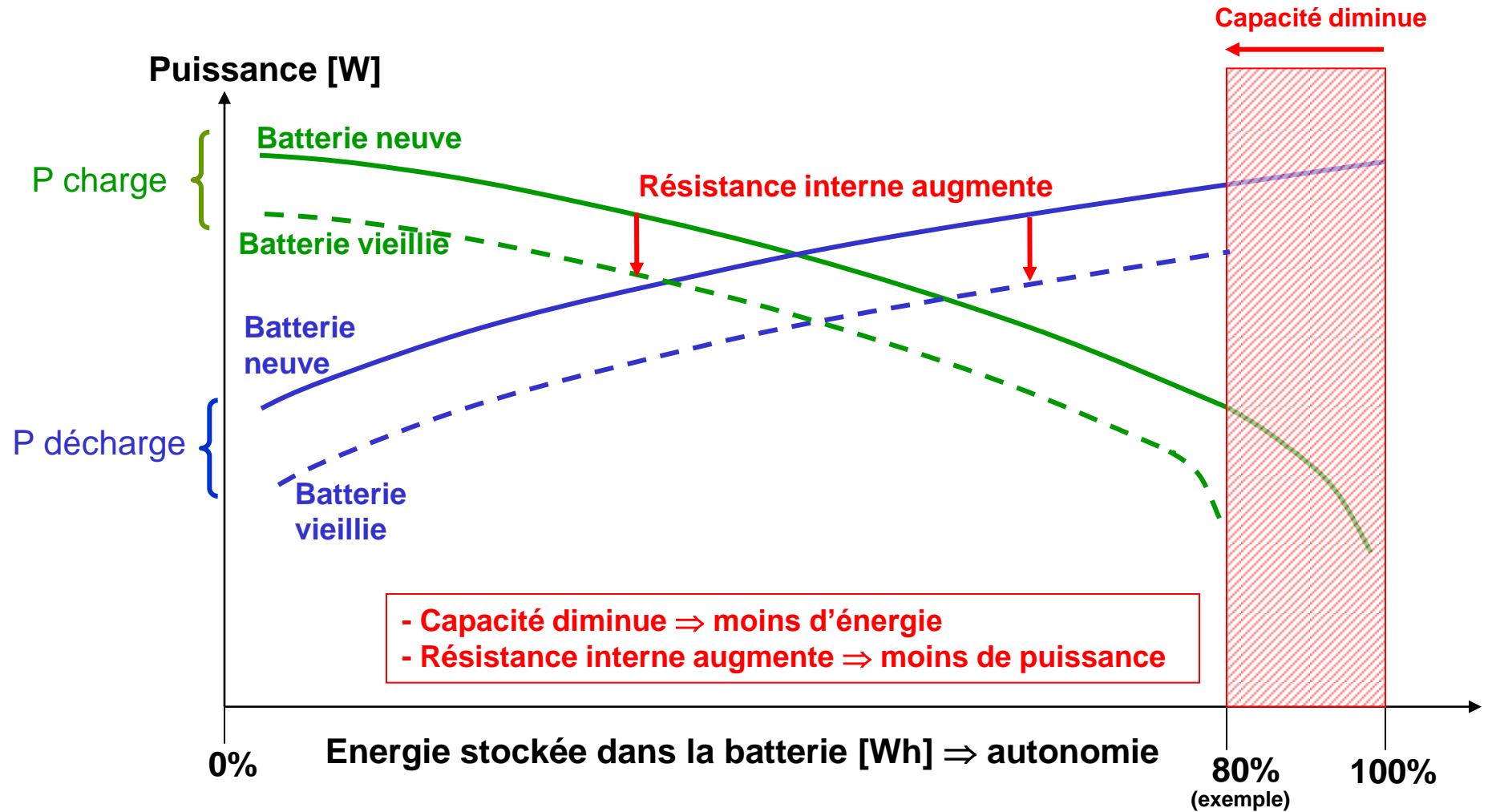
- **Puissance (W) \Rightarrow Performances (accélérations)**

La puissance dépend fortement de l'état de charge de la batterie, de la température, de la durée de sollicitation,...

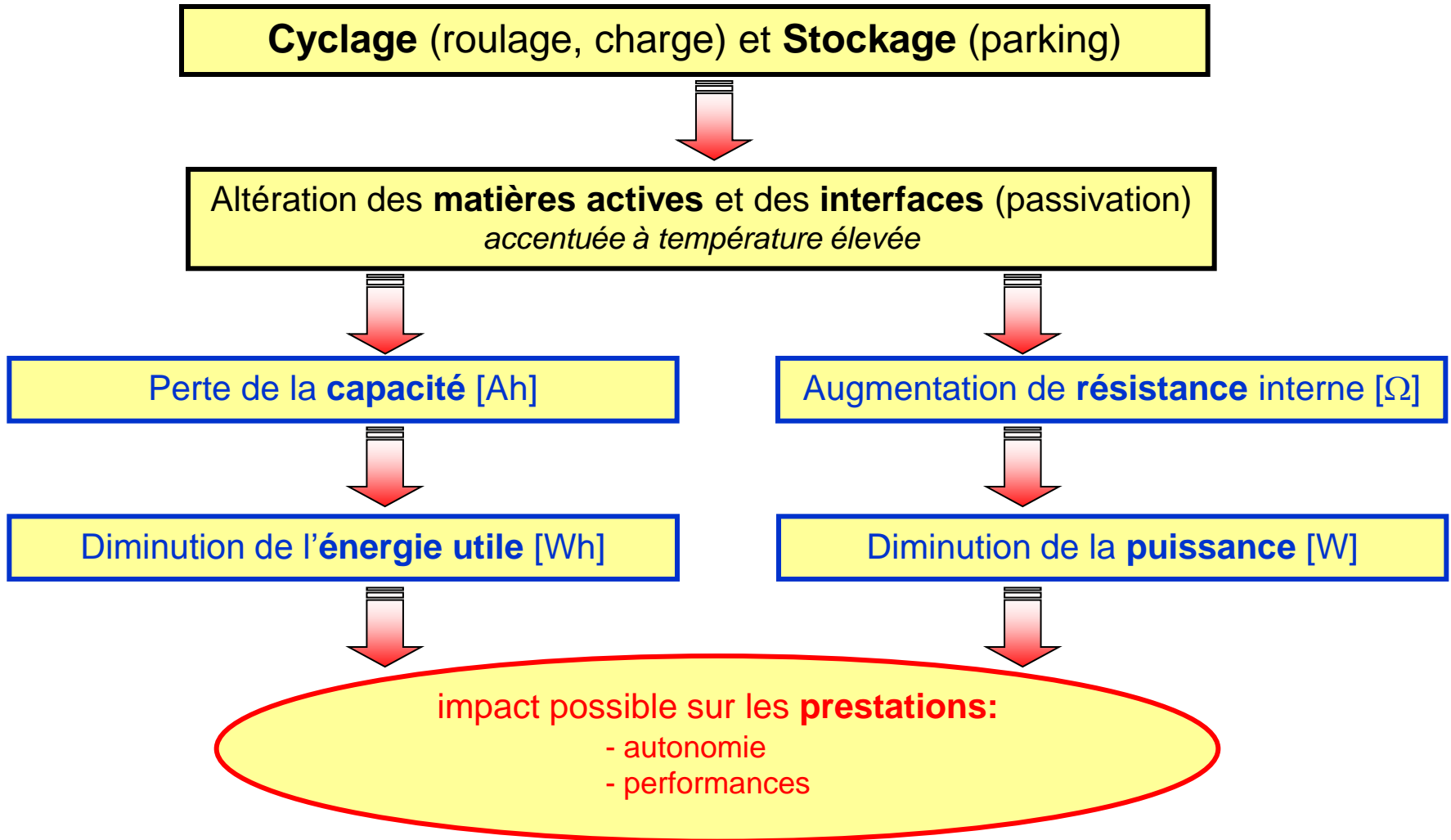
- **...et la tenue dans le temps de ces caractéristiques (durée de vie)**
 - aspect thermique: la température accélère le vieillissement de la batterie
 - usage du véhicule: nb de km parcourus (cyclage de la batterie), sévérité des profils de roulage

06 Durée de Vie

Impact du vieillissement des batteries sur les performances



Pourquoi les performances d'une batterie se dégradent?



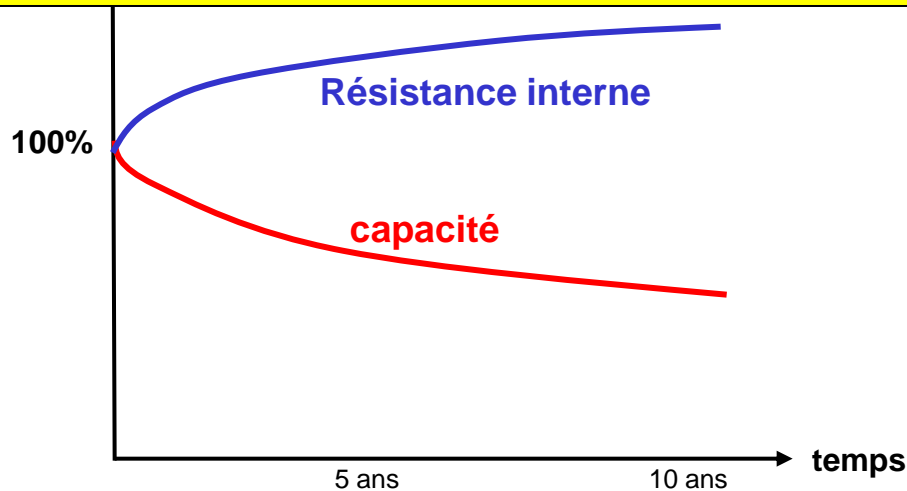
Facteurs de vieillissement d'une batterie

La limitation du vieillissement de la batterie se fait par le choix des **matériaux** (cathode, anode,...) et le bon **dimensionnement / design** de la batterie (énergie initiale, thermique)

L'estimation de la durée de vie de la batterie est fonction des différentes conditions d'usage du véhicule, et requiert de nombreux tests dont les résultats sont intégrés dans des **modèles de vieillissement** plus ou moins empiriques

⇒ Nombreux tests de validation à effectuer pour chaque Projet Véhicule

Moyens d'essai pour batterie: bancs de puissance



07 Sécurité

SÉCURITÉ: une obligation, sans compromis

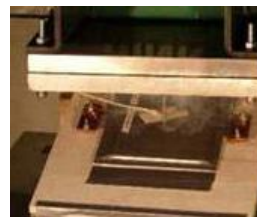
■ Analyse théorique (AMDEC)

- toutes les situations anormales ou extrêmes, conduisant à un évènement impactant la sécurité des personnes, sont envisagées de façon exhaustive (AMDEC)
- à chaque cause identifiée, une contre-mesure est appliquée, et son efficacité validée

■ Plusieurs types d'essais « abusifs » sont réalisés

- Écrasement
- Perforation
- Surcharge
- Court-circuit
- ...

Les essais sont réalisés sur cellules, batteries, véhicule



Ex de perforation au clou d'une cellule Li-ion



- Ces essais permettent: - soit de valider le design de la batterie, si le résultat du test est acceptable
- soit de déterminer quelle contremesure doit être appliquée (nouveau design, protection électronique renforcée, protection physique...) si le résultat du test est jugé insuffisant

■ Collaboration en amont avec les Services de Secours et le Réseau Renault

- Les VE et leurs batteries sont présentés aux Service d'urgence (pompiers,...), afin de mettre au point des protocoles d'intervention en cas d'accident
- Certains essais (feu,...) sont réalisés en amont pour s'assurer qu'un véhicule électrique a un niveau de sécurité au moins équivalent à un véhicule thermique
- Par exemple, pour la maintenance ou les interventions suite à un accident, un service-plug accessible permet la mise en sécurité de la batterie (rôle de disjoncteur)

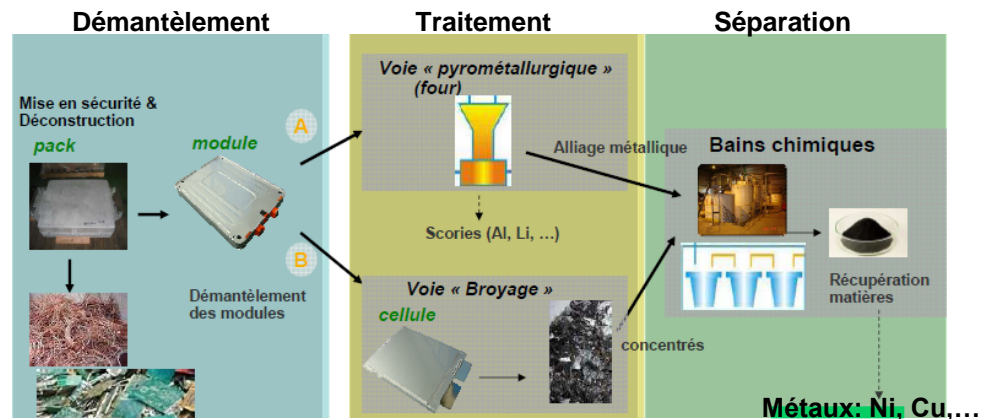
08 Recyclage

RECYCLAGE

■ Réglementation (européenne)

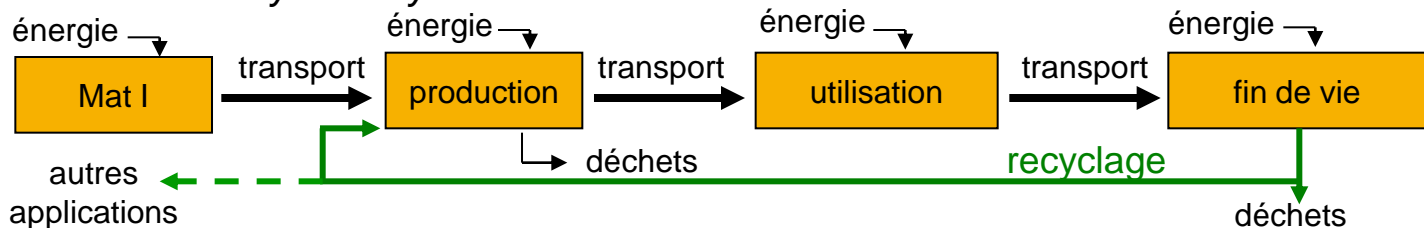
- Le constructeur automobile est responsable du recyclage de la batterie
- ⇒ constructeurs et recycleurs doivent donc collaborer en amont pour établir les filières
- La Directive batterie demande un taux de recyclage de 50% (méthode de calcul reconsidérée)

■ Process



■ Au-delà du recyclage proprement dit

- il faut considérer l'analyse du cycle de vie:

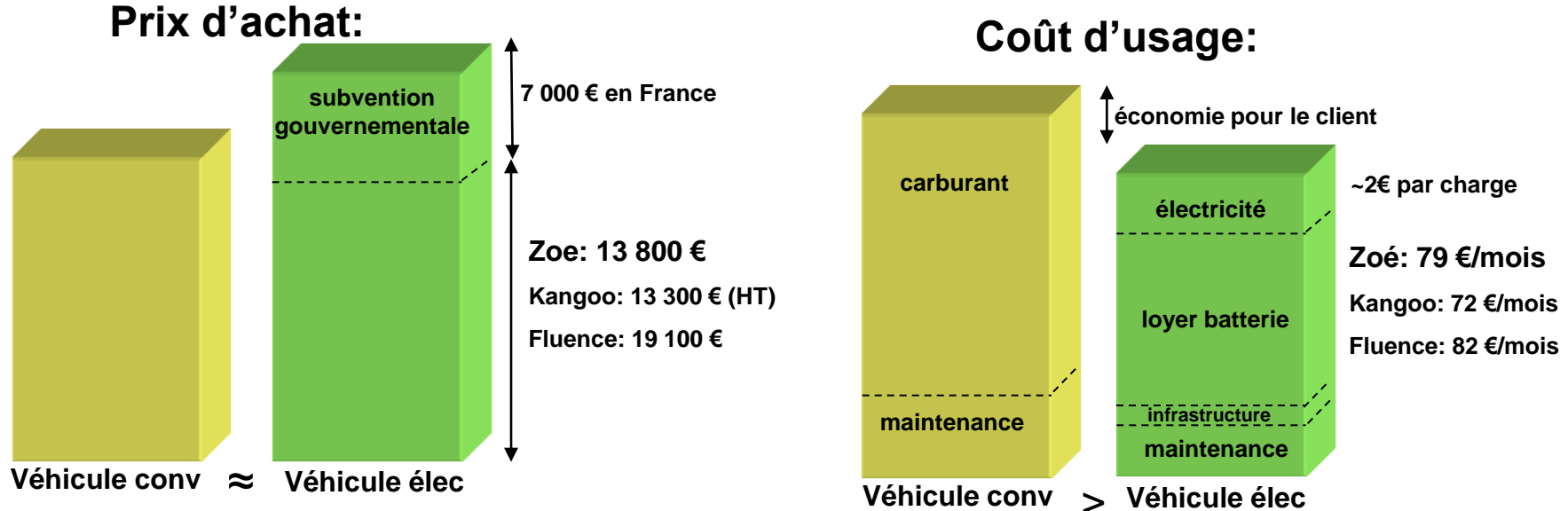


09 Coût

COÛT

- Le coût de la batterie, est élevé (~5-10 k€) du fait notamment des matériaux utilisés pour le Li-ion, mais devrait baisser sensiblement avec l'effet volume
- Le prix d'un véhicule électrique (hors batterie) est équivalent à celui d'un véhicule thermique comparable
- Le coût d'usage d'un véhicule électrique doit être équivalent ou inférieur à celui d'un véhicule thermique

⇒ Renault propose un système de location de la batterie:
 - Prix du Véhicule reste abordable
 - Tranquillité pour le Client



10 Conclusion

CONCLUSION

- 4 véhicules 100% électriques
(tous avec un moteur électrique)

Centre RENAULT ZE à Boulogne-Billancourt

Réservation pour un essai sur:
<http://www.renault.fr/essai-gamme-ze/>



Twizy Mars 2012



70 kW
135 km/h
185 km autonomie NEDC
135 km autonomie réelle



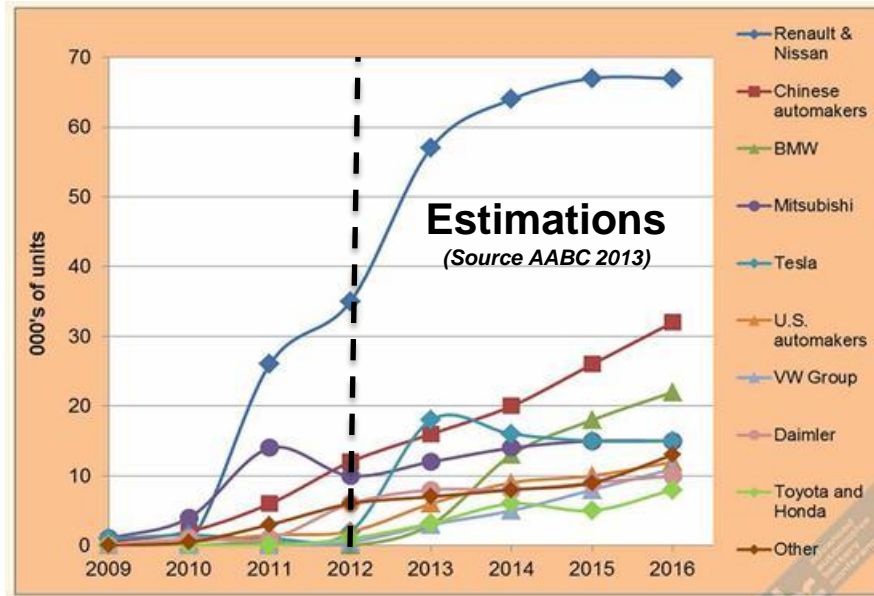
13 kW
45 / 80 km/h
100 km autonomie NEDC
80 km autonomie réelle



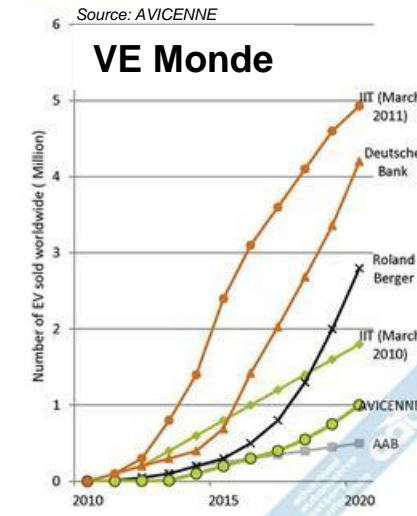
65 kW
135 km/h
210 km autonomie NEDC
150 km autonomie réelle



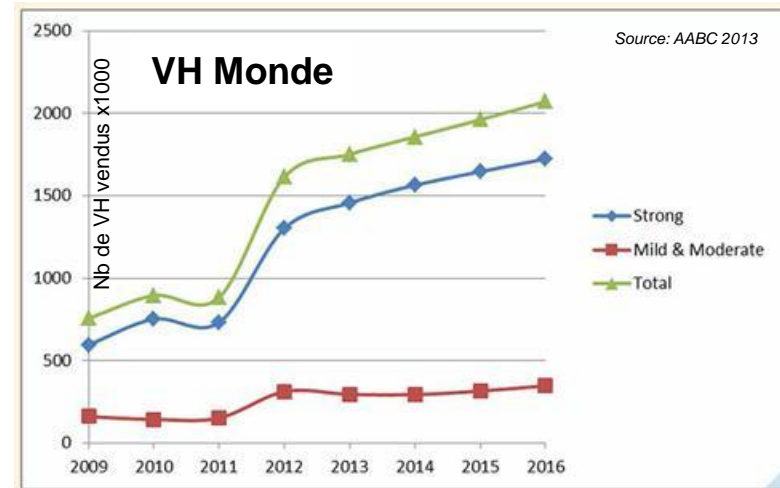
Marchés du VE et du VH : Actuels & Projections



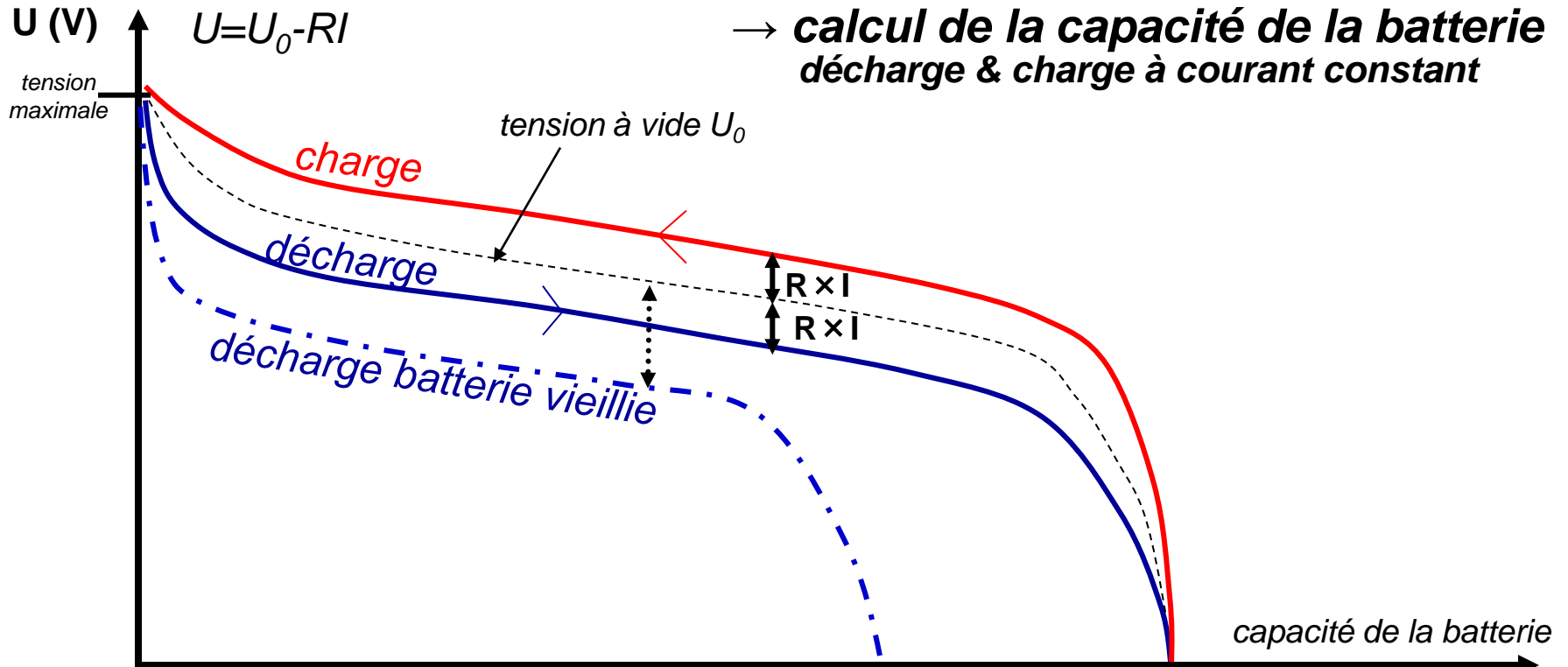
EV sold, in million units, worldwide, 2010 - 2020



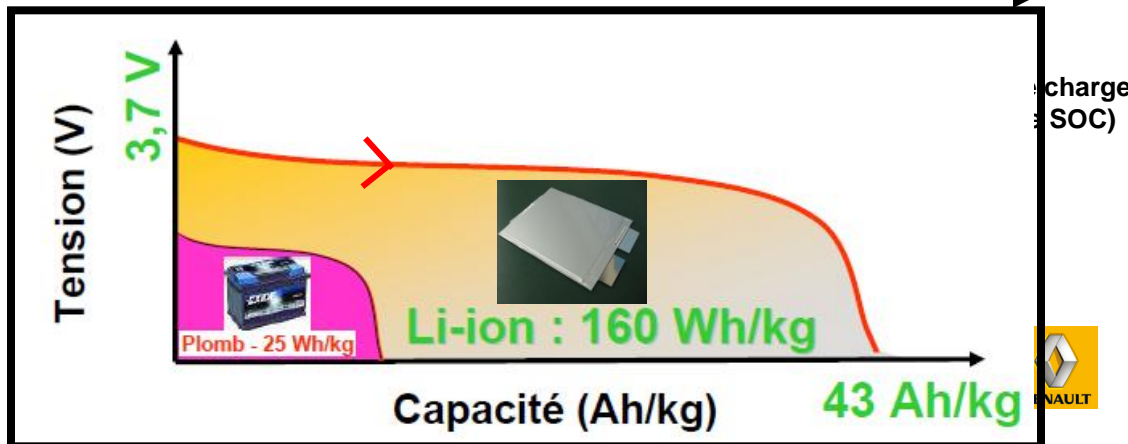
L'Alliance Renault-Nissan a vendu plus de 100 000 VE dans le monde



COURBE DE CYCLAGE D'UNE BATTERIE



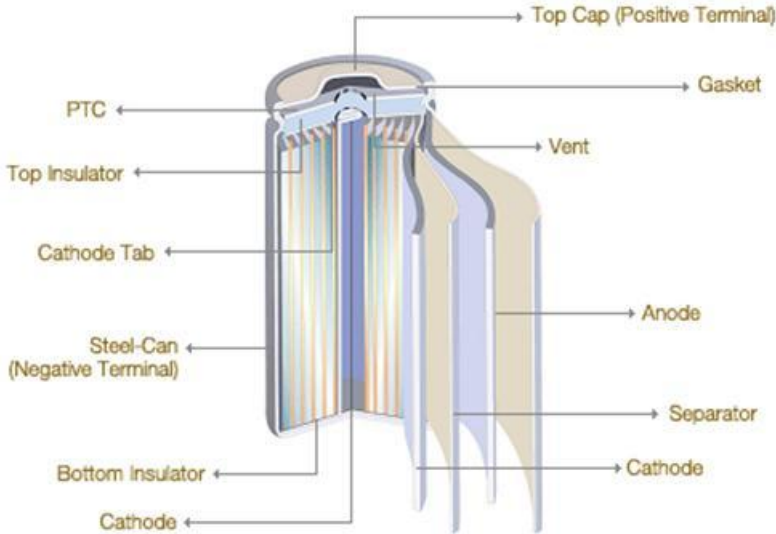
100% chargée



⇒ Différents process de fabrication: impacts possibles sur coût, durée de vie, fiabilité, sécurité, contrainte d'intégration

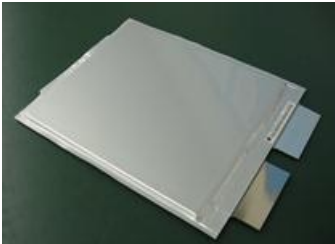
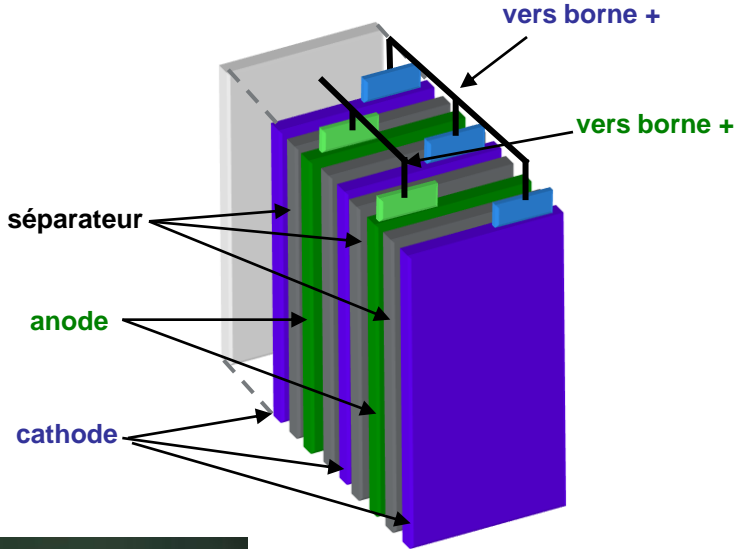
Élément cylindrique:

électrodes enroulées (spiralées)



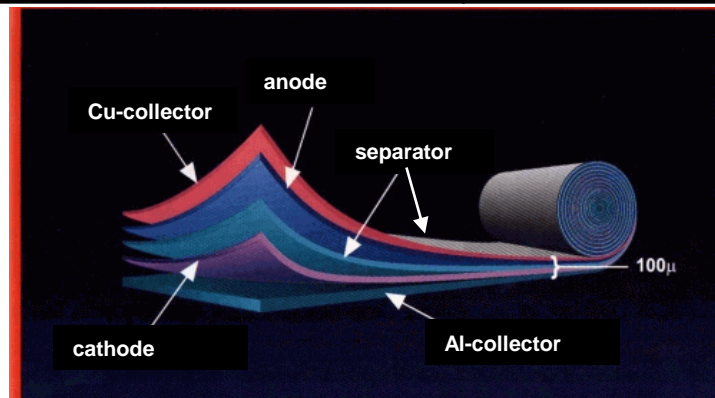
Élément prismatique:

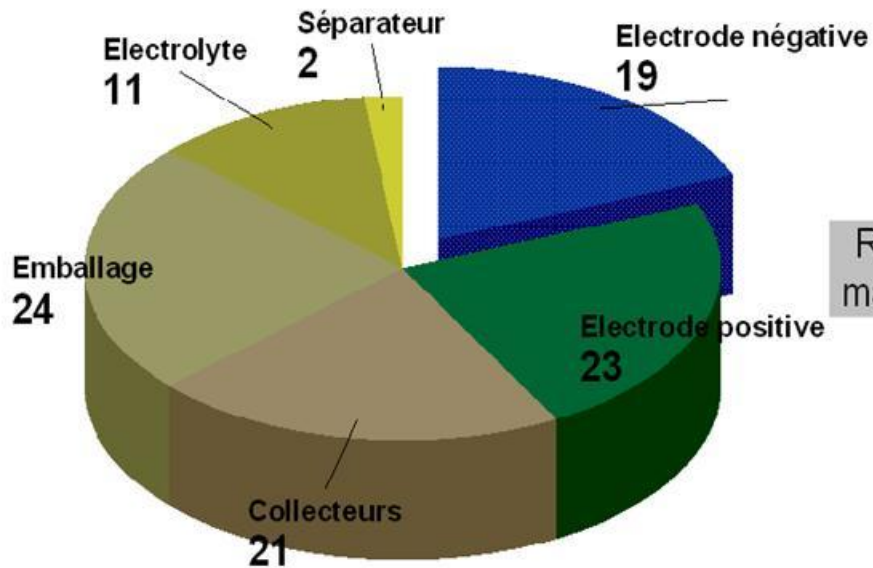
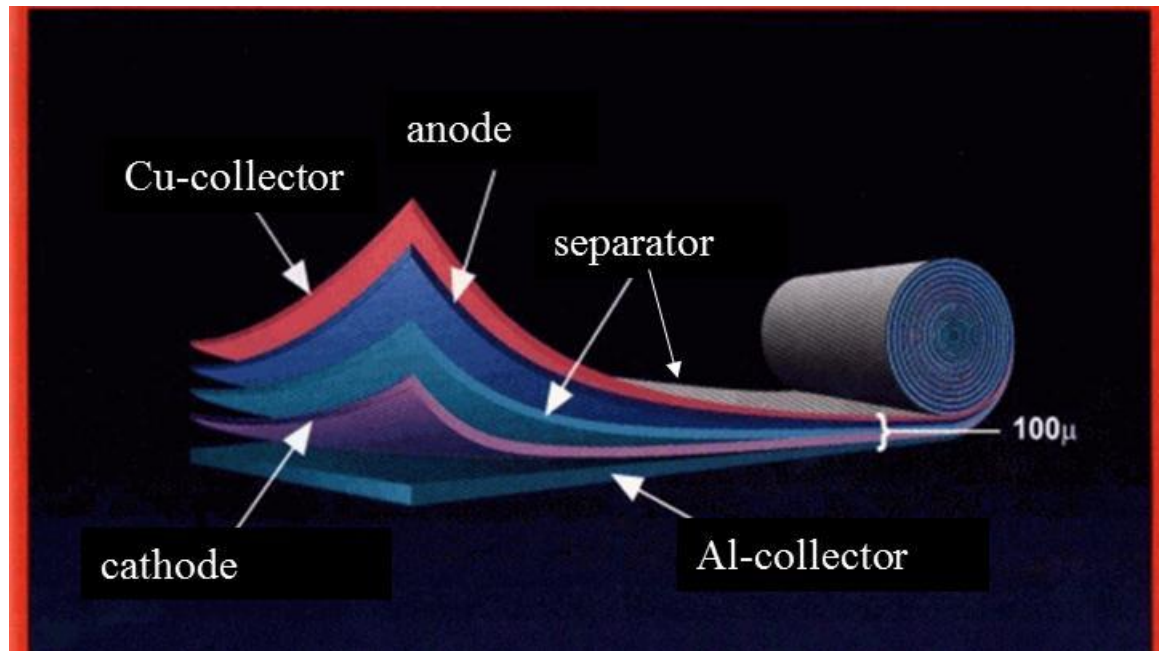
électrodes empilées (stackées)



D'autres designs existent: prismatique spiralée,...

Matériau	Fonction	Exemples
Matériau de Cathode	-insertion de lithium durant la décharge -désinsertion de lithium durant la charge	Oxydes métalliques (avec stœchiométries particulières): -LiMn2O4 -LiNiO2 (NCA car substitution partielle avec Co et Al) -LiNiMnCoO2 (NMC) -LiFePO4 + d'autres en R&D
Matériau d'Anode	-désinsertion de lithium durant la décharge -insertion de lithium durant la charge	-différents types de carbone (graphite, hard carbon,...) -composés à base de silicium en développement
Séparateur	Isolant électronique entre la cathode et l'anode	Membrane polymère poreuse (PE, PP, ...)
Electrolyte	Assure la conductivité des ions lithium dans le séparateur et les électrodes	Mélange de solvants organiques (2 ou 3) avec sel de lithium (LiPF6)
Collecteurs de courant	Feuilles métalliques sur lesquelles sont déposés les matériaux d'électrode (coating). Les collecteur assurent le transport des électrons jusqu'aux bornes.	-feuille d'aluminium pour la cathode -feuille de cuivre pour l'anode
Autres	Liant: polymère pour fabriquer les électrodes Différents additifs: pour durabilité ou sécurité	Liant: PVdF Additifs: souvent confidentiels





Répartitions massiques des constituants d'un accumulateur Li-ion ($\text{LiFePO}_4 / \text{C}$)

- Mettre sur le marché des VE (ou VH) aussi sûrs pour le Client qu'un véhicule conventionnel
 - Réaliser les essais demandés par la SdF / SGP/ le Métier (DGMPE) dans le cadre de Projets ou d'études Métier
 - Valider les conceptions batteries définies par Renault ou les fournisseurs, pour chaque Projet véhicule
 - Réaliser des essais Métier, permettant de comprendre les mécanismes en jeu suite aux conditions abusives, afin de concevoir et mettre en place des contremesures (moyens de protection) efficaces pour prévenir tout EIC
- S'assurer que Renault est à l'état de l'art quant aux choix des technologies lithium, via la réalisation de tests « standards »

Plusieurs organismes proposent des tests considérés aujourd'hui comme standards:

- USABC FreedomCar (repris par EUCAR) est la référence pour les batteries VE et VH
- mais aussi UN (pour portable), ISO (en construction)

Test de surcharge



→ surcharge



Du gaz se dégage à l'intérieur de l'élément, pouvant conduire à une rupture de l'enveloppe. Selon les technologies testées, il peut y avoir un simple dégagement de fumées ou un risque d'inflammation.

Test au clou (perforation)



→ élément perforé



Ce test simule un court-circuit interne (événement rarissime non prévisible, dû par exemple à une dérive du process de fabrication) Selon les technologies testées, il peut y avoir une simple chute de tension, accompagnée ou non d'un dégagement de fumées ou d'une inflammation.

Écrasement (crush)

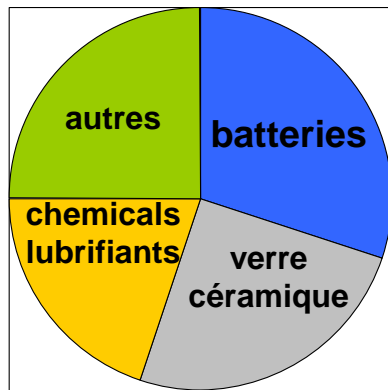


Court-circuit etc...

Level	Effect
0	No effect
1	Reversibly damaged, no defect, no leakage, no venting,...
2	Irreversibly damaged, no leakage, no venting, no fire,...
3	Leakage, no venting, no fire, no rupture, no explosion
4	Venting ($\Delta\text{mass} \geq 50\%$), no fire, no rupture, no explosion
5	Fire, no rupture, no explosion
6	Rupture, no explosion
7	Explosion

Procédures (USABC) → Résultats classés selon tableau de criticité (USABC) → Critères d'acceptabilité à définir par le constructeur

➤ Le Lithium sous forme de Li_2CO_3



- env 16 000 tonnes équivalent Li métal produites par an (84 000 t de Li_2CO_3)
- réserves estimées entre 15 000 000 et 30 000 000 tonnes équivalent Li métal
- Réserves en Bolivie, Chili, Chine, Brésil, Canada,...

⇒ Les réserves sont conséquentes et ne devraient pas faire défaut, à condition qu'à l'avenir le lithium soit récupéré lors du recyclage

➤ Les oxydes métalliques (matériau de cathode)

à base de Mn (abondant), de Ni, Fe, Co, ... ou de phosphate

➤ Le carbone (matériau d'anode)

naturel (mine) ou artificiel (pétrole)