

Etat de l'art

Pour mieux connaître les acteurs présents sur le marché et comparer les caractéristiques des véhicules, une veille technologique a été lancée en début de projet. Celle-ci regroupe les Light Electric Vehicles (LEV), qui se rapprochent des caractéristiques demandées par l'ADEME.

Elle est constituée des modèles L7e et L5e dont les caractéristiques suivantes sont disponibles : dimension, poids, vitesse, autonomie, nombre de place et le prix. Et de trois L6e circulant sur le territoire Français.

Il en découle que beaucoup de modèles de véhicule ont été pensés, prototypés, mais très peu ont pu être commercialisés en Europe.

Sur les 21 modèles qui ont été sélectionnés :

- 9 sont restés au stade de prototype ;
- 4 ne sont accessibles que par commande et ne ciblent qu'un public particulier ne voulant que des véhicules pour du loisir car chers ou peu fonctionnels ;
- hors modèles L6e (45 Km/h max), 5 sont en circulation et visent à prendre part au marché de la petite mobilité.

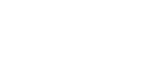
Quelles peuvent être les raisons pour lesquelles, si peu de LEV passent du prototypage à la commercialisation ? On en imagine quelques-unes :

- Des concepts trop avant-gardistes pour la période où ces véhicules ont été révélés au grand public ;
- Des concepts jugés pas assez sûrs ou stables
- Sortie au marché à une époque où la nécessité de pallier aux problèmes environnementaux en roulant dans des véhicules à faible émission de CO₂ n'était pas une priorité ;
- des tarifs trop élevés, etc.

Cela nous a montré la **nécessité d'une enquête** auprès du public pour tenter de comprendre les raisons du développement timide de cette catégorie de véhicule.

5 machines sortent du lot et font figure de première de la classe : Silence S04 (10k€), Chery eQ1 (12,5k€), XEV yoyo (15k€), Microlino (14k€). Elles concourent sur le même tableau que le véhicule que nous proposons et nous donnent des bases comparatives. Le but serait d'utiliser leurs points forts et d'améliorer leurs faiblesses en réduisant les coûts.

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des véhicules étudiés.

	Brand	Category	Nb of places	Weight(kg)	length(mm)	Width(mm)	Height(mm)	Engine Power (ch)	Energy system	autonomy (km)	speed (km/h)	price	Spécif.
	Sondors EV	L5e	3	816 Kg				127 kW/170 cv 439 N.m	Electric: Battery de 33 kWh	120 Km	100 km/h	10 000 \$	NON
	Electra Meccanica Solo	L5e	1	675 Kg				82 cv	Electric: Battery 110 V de 17.3kWh	161 km	130 km/h	15 000 \$	OUI
	Robert Q.Riley Entreprise XR3	L5e	2	660 Kg				23 cv (moteur diesel)	Hybrid electric/ diesel	65 km tout électrique 1.2 L au 100km	130 km/h	25 000 \$	non
	Microlino	L7e	2	513 Kg	2 435	1 500	1 459	12kw/17ch	Electric: 6/10.5/14 kWh	240 Km	90 km/h		oui
	Nobe GT 100	L5e	2+1	748 kg	3 650	1 560	1 370	Electric: top power 190 kW	Information not available	260 Km	145 km/h	37 000 \$	oui
	twisy 80	L7E	1+1	473 Kg	2 320	1 190	1 460	Electric: 13 kW/17 ch 57 N.m	6.1 kWh	95 km	80 km/h	11 800 €	oui
	Citroën Ami	L7e VSP	2	482 kg	2 410	1 390	1 520	Electric P.Nom 6 kW P.Max 9kW 40 N.m	5.8kWh 120 Ah 48v 59kg	75 km	45 km/h	7 390 €	oui
	Toyota iROAD	L2 "cydio"	1	300 kg	2 345	870	??	2x2 kW	5.5 kWh	50 km	60 km/h	10 000 €	plus produit
	AIXAM e-city sport	L7e VSP	2	350 kg	2 762	1 500	??	4 kW	6.1 kWh	90 km	45 km/h	16 699 €	oui
	Chery eQ1	L7e	2+2	855kg	3 200	1 670	1 550	30 kW 120 Nm	18.2 kWh	180 km	100 km/h	~12 500 €	oui
	Ampere ELECTRIC XUV	L5e	2	??	??	??	??	1.2kW	60 Volts 28 Ah	100 km	85 km/h	9 500 €	non
	Triggo ELECTRIC	L7E	1+1	~500 kg	2 600	860 - 1480	??	2x10 kW (combiné 15 kW)	8 kWh replaceable Batteries	100 km	90 km/h	??	non
	Shockwave Defiant EV3	L5e	3	information not available	information not available	information not available	information not available	information not available	14.4 kWh battery 45 cells 100 Ah 144V	320 km	112km/h	25 000 \$	non
	city transformer CT1	L7e	1	information not available	2 500	1 000 to 1 400 depending of the operating mode	1 580	2x7.5 kW	information not available	~ 150 km	40km/h ou 90 km/h depending of the operating mode	12 500 €	sra sur le marché en 2024
	Minimax 80	L7e	2	450 kg	2 129	1 200	1 668	11.5kW - 15kW	6.2 kWh 11.2 kWh	110km 162 km	80 km/h	12 990 €	roue 15". Avec ou sans portes. Prix avec Batt: 6.2kWh
	Minimax cubo	L7e-CU	2	600 kg	3 228	1 200	2 668	11.5kW - 15kW	7.8 kWh, 11.2 kWh 22.4 kWh	104 km, 156 km, 312 km	65 km/h	17 990 €	l'autonomie est donnée pour une vitesse de 45 km/h
	Eli zéro	L7e	2	350 kg	2 250	1 380	1 588		5.8 kW 8 kW	80 km 110 km	45 km/h	10 000 €	coffre 160 L
	Uniti One	L7e	1+2	450 kg	2 900	1 270	1 420	50 kW	12 kWh 24 kWh	150 km 300 km	130 km/h	17 767 € 25 550 €	Prix minimum Prix Maxi
	XEV yoyo	L7e	2	450 kg	2 530	1 500	1 560	7,5 kW - 15 kW	10.4 kWh	150 km	80 km/h	14 890 €	Batterie Lit/ Fe / Phosphate interchangeable, coffre 160 L.
	Nimbus Halo	L3e	1+1	290 kg	2 300	810	??	equivalent 125cc	8.1 kWh 12.4 kWh	121 km 191 km	80 km/h	6400 \$	est considéré comme un scooter. Possède 3 airbag et 2 ceinture de sécurité

Classe énergétique des moteurs électriques :

Un graphique pour rappeler la relation entre puissance de moteur et rendement.

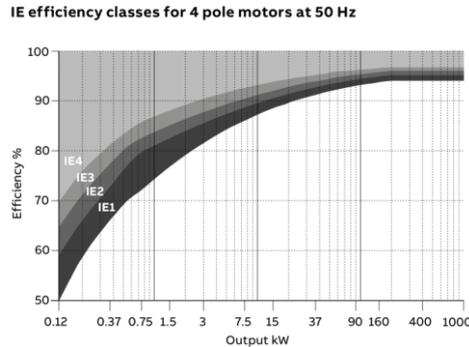


Figure 1 : [classes](#) énergétiques des moteurs

Batteries :

Choix du modèle

On donne ici un tableau récapitulatif des fabricants que nous avons identifié. Le prix est donné par module.

Fabricant	Poids (kg)	Energie (kWh)	Dimensions	Prix
E4V-300-48 (France)	113	14,4	LWH:650*474*250mm	€ 10 500 (0,73\$/Wh)
EG4-48V100 (USA)	43	5,12	LWH: 442*470*155mm	\$1499 (0,29\$/Wh)
SOK 48V 100 (USA)	45	5,12	LWH: 422*456*177mm	\$1790 (0,35\$/Wh)
Assemblage de cellules	5,51	1,02	173.9*71.7*207.2mm	\$135/cellule (0.13\$/Wh) +\$166 BMS

Nous avons choisi de prendre deux modules EG4 qui auront au total un poids de 86kg pour 10.2kWh et 3000\$. Le prototype de démonstration sera probablement testé avec un seul module.

Dans le futur nous envisageons d'assembler des cellules de base pour gagner en **coûts et flexibilité** de conception (pour réduire un peu la hauteur du véhicule par exemple).

Exemple d'essai de vieillissement de batteries :

Dans la suite de l'argumentaire du choix de la technologie LFP, la figure ci-dessous montre les résultats d'un essai de vieillissement des trois technologies au lithium. Essais faits plusieurs cyclages à des SOC allant de 20%-80% à 0%-100%.

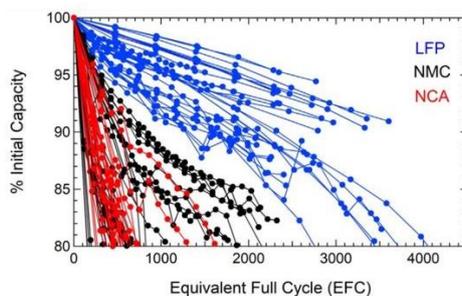


Figure 2 : [essai](#) de vieillissement de batteries

Intégration composants

Nous avons réalisé une maquette CAO à échelle en intégrant des composants clés de taille réelle. Le **moteur** vient de la base de données CAO de EFA-controls, les **batteries** ont les dimensions de leur data-sheet, le **modèle de personne** a une hauteur approximative de 1.75m, les **roues** sont des dimensions de celle de la Citroën AMI (155/65R14), les **triangle et suspensions** sont les suspensions arrières de Twizy qui sont open source (il faudra dans la conception finale certainement les modifier).

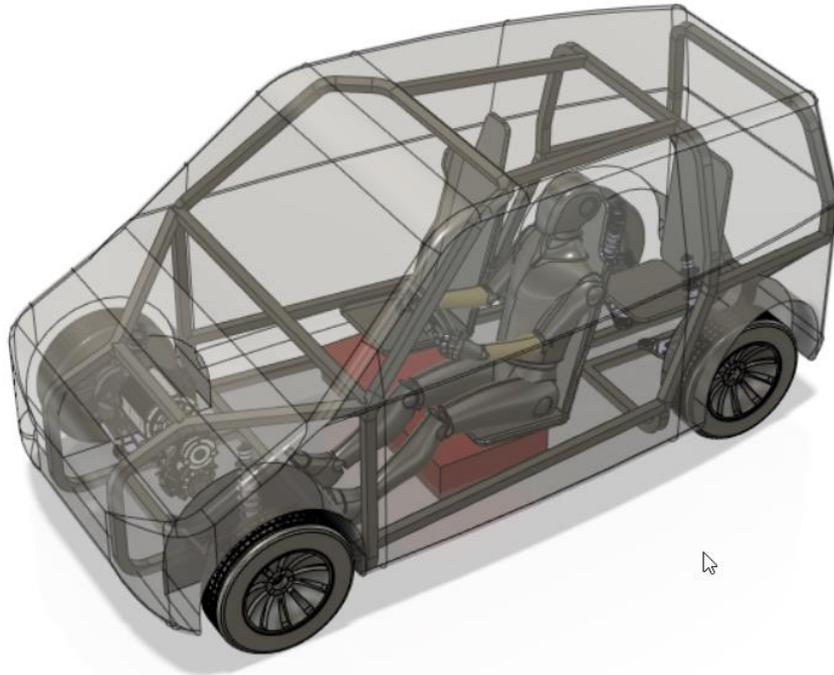


Figure 3 : vue Iso du H3R

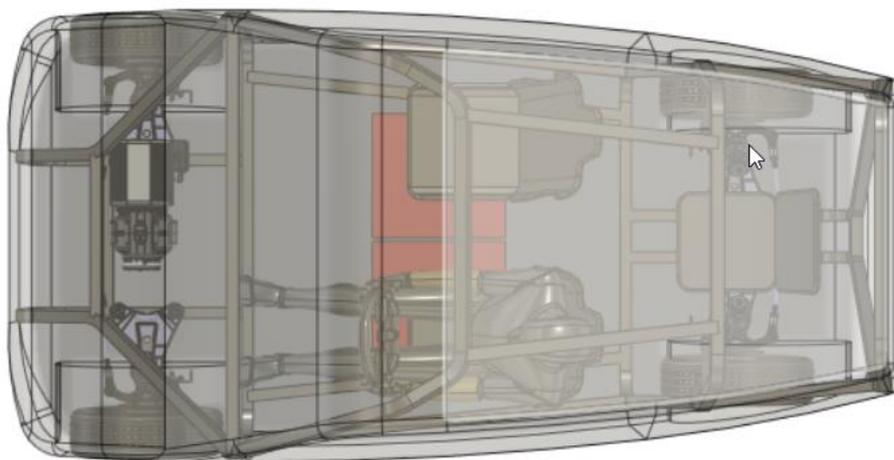
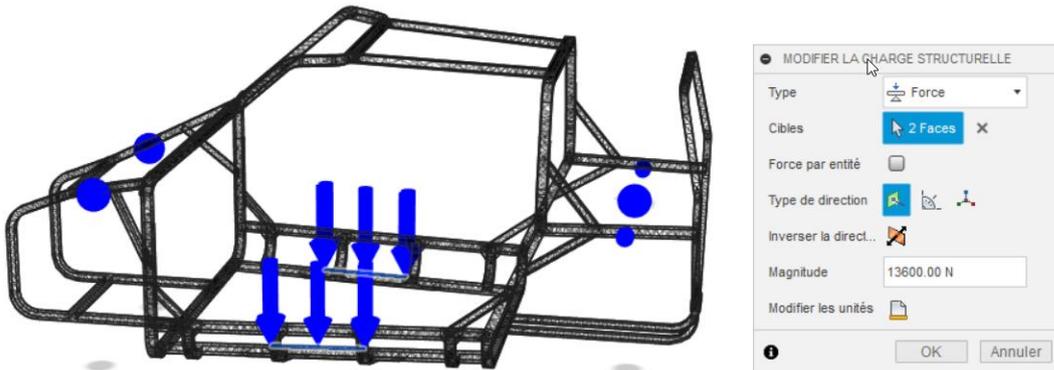


Figure 4 : vue du dessus du H3R

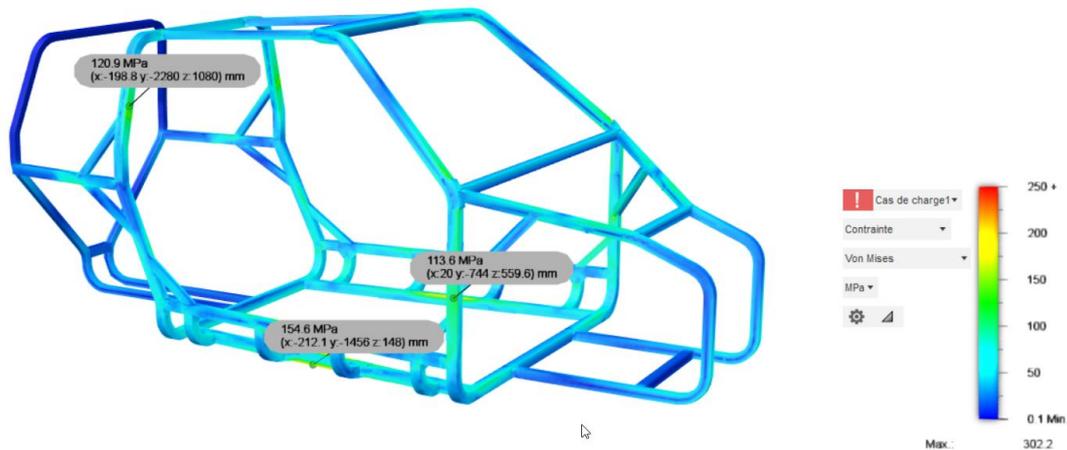
Etude mécanique

Une pré-étude de résistance mécanique a été faite en se basant sur le cas de charge de pré-dimensionnement proposé dans le livre " Fundamentals of Automobile Body Structure Design" [1].

Il s'agit d'un cas de charge 2g où la totalité de la masse est appliquée proche du point d'assise (H point). Une rotule à déplacement x, y et z nuls est placée sur le point d'appui des suspensions avant et une rotule à déplacement non nul seulement sur x (dans l'axe de la route). L'image ci-dessous illustre ces propos.



Les contraintes (Von Mises) sont en dessous de la limite élastique de l'acier. L'image ci-dessous montre les valeurs de contrainte dans les zones les plus sollicitées (le maximum de l'échelle de couleur a été fixée à la limite élastique de l'acier afin de montrer les zones qui auraient été critiques).



En plus de la vérification de résistance des matériaux, les prochaines vérifications de dimensionnement sont [1] :

- Calcul de la raideur de châssis
- Calcul de la fréquence propre en flexion
- Calcul de la fréquence propre en torsion

On pense pouvoir optimiser le châssis en termes de poids et de nombre de soudures. Ce sera fait dans la prochaine étape si le projet est validé par l'ADEME.

Aérodynamique :

Le livre de Wolf-Heinrich Hucho [2] est un livre très complet sur l'aérodynamique des véhicules routiers. Nous avons utilisé quelques-uns des principes de réduction de la traînée qui y sont rapportés.

On reporte ici quelques figures qui nous ont servi de base pour le design des formes de carrosserie

L'arrière :

L'arrière du véhicule H3R est rétréci par rapport à l'avant. Ceci est appelé boat-tailing dans le livre. Pour des questions de continuité, nous avons testé un angle de l'ordre de 15°.

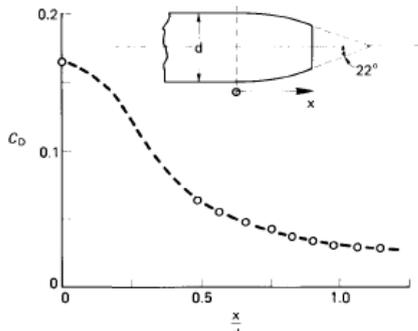


Figure 4.41 Effect of boat-tailing on drag coefficient, after ref. 4.40

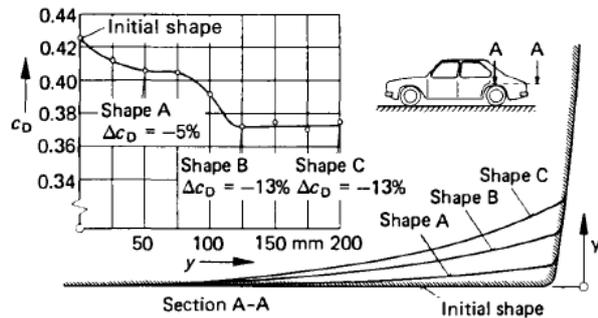


Figure 4.43 Boat-tailing applied to a notchback car, after ref. 4.25

Concernant l'arrière il semble important de placer un diffuseur arrière et d'avoir des choix pertinents pour la pente arrière de toit. Nous avons testé un angle bas de 20° et haut de l'ordre de 30°. Ce dernier est peut-être un peu grand.

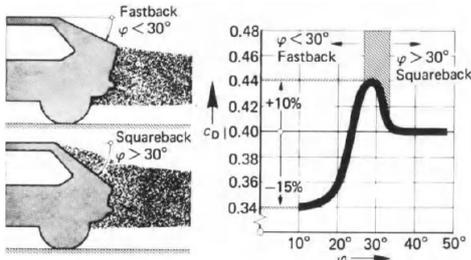


Figure 4.47 Influence of rear end slope angle φ on drag coefficient c_D , separation line and wake, after ref. 4.23, measured on VW Golf I (Rabbit)

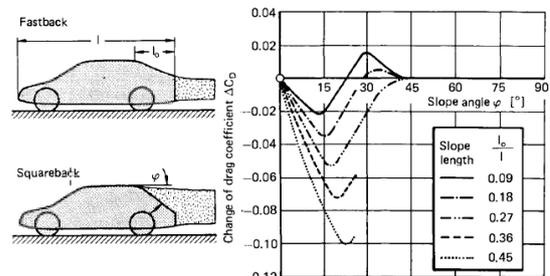


Figure 4.59 Effect of rear end parameters length l_r and slope φ on drag, after ref. 4.26

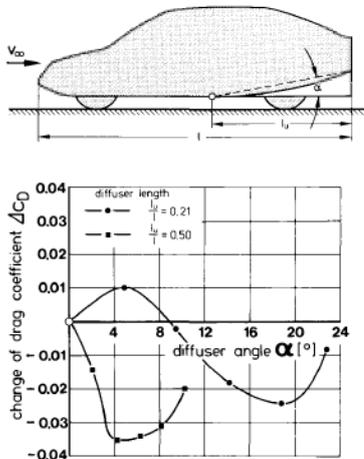


Figure 4.45 Effect of underbody diffuser length and angle on drag, after ref. 4.26

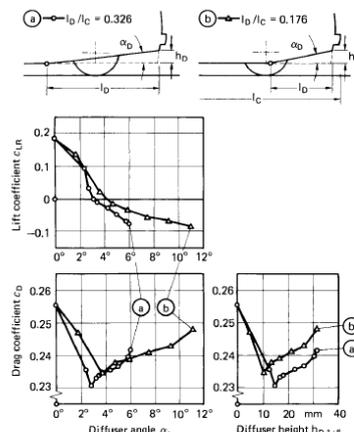


Figure 4.46 Effect of underbody diffuser geometry on drag and rear axle lift, after ref. 4.42

Courbure aux jonctions :

Il semble important d'avoir une courbure de jonction entre les faces avant et latérales assez progressive. Une valeur minimale de 56mm semble être nécessaire pour notre cas où la largeur du véhicule est de l'ordre de 1400mm. Le graphique ci-dessous est utilisé pour calculer cette valeur.

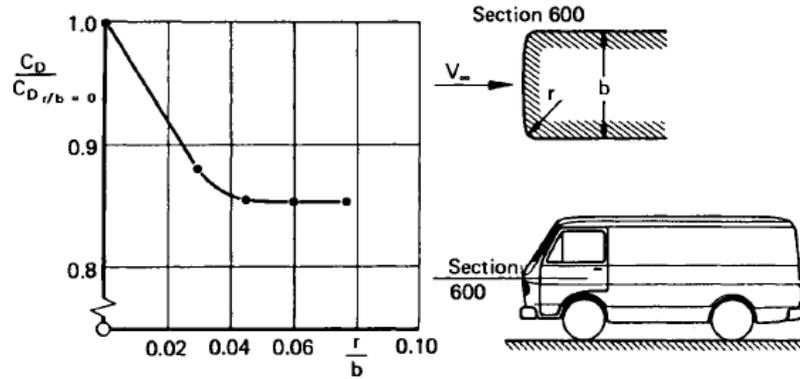


Figure 1.41 Determination of optimum leading edge radius for Volkswagen LT, after ref. 1.55

L'avant :

Le design de l'avant devrait se faire en profitant de l'absence de moteur thermique volumineux. Dans l'idéal il faudrait un avant arrondi. Le plus de continuité possible devrait se faire entre le capot et le pare-brise.

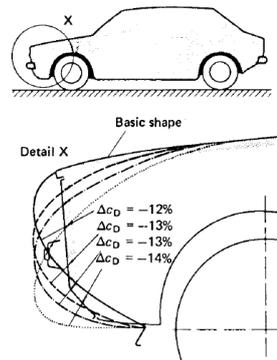


Figure 4.23 'Ideal' front end and shape modifications, after ref. 4.25

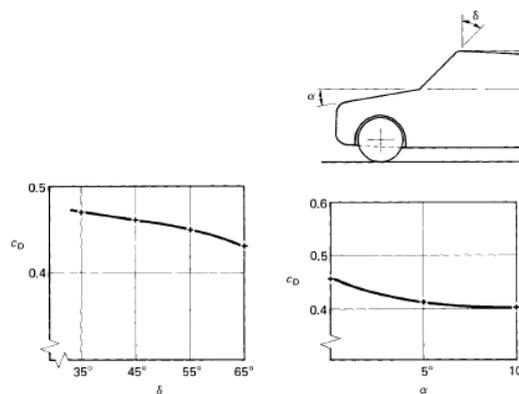


Figure 4.29 Effect of bonnet slope α and windscreen rake δ on drag, after ref. 4.27

Bibliographie

[1] D. E. Malen, Fundamentals of Automobile Body Structure Design, SAE International, 2011.

[2] W.-H. Hucho, Aerodynamics of Road Vehicles. From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering, Butterworth-Heinemann Ltd, 1987.