

## Annexes pour le dossier énergie

### Energie grise de fabrication

On donne ici les valeurs de consommation d'énergie primaire par kg de matière utilisée. Certaines données viennent d'une base ecoinvent les autres d'articles donnés sous forme de liens URL.

Energie de fabrication (MJ/kg)					
Acier	Cuivre	<a href="#">Verre (plaque)</a>	Aluminium	<a href="#">hdPE</a>	<a href="#">Marguard MR5E (polycarbonate)</a>
24,7	26,8	13,3	162	73,8	62

Pour la batterie nous avons cherché l'information spécifiquement pour la technologie LFP. L'énergie de fabrication est de l'ordre de 0.97MJ/Wh. Il s'agit là de la moyenne retenue par [cette](#) étude qu'il faut d'ailleurs lire pour comprendre les avantages de la technologie LFP.

### Modèle de calcul de consommation

On voudrait remercier Wissam Abou-Nader, docteur-ingénieur au sein du groupe Stellantis, pour le partage d'un fichier de calcul qu'il a réalisé. Cette partie a grandement été accélérée grâce à son aide.

On donne ici les équations pour le calcul de la force de traction et donc l'énergie de roulage. En écrivant un bilan des forces en régime transitoire on peut arriver à l'expression de la puissance de traction ( $Pu$ ) en négligeant les pertes sur la chaîne de traction [1]:

$$Pu = V [F_R + F_{Aer} + F_{gr} + F_{acc}]$$

La vitesse  $V$  est fonction du cycle de conduite pris en compte. La force de résistance aérodynamique s'écrit :

$$F_{Aer} = S \frac{1}{2} \rho C_x V^2$$

Ici  $S$  est l'aire frontale. La masse volumique  $\rho$  est souvent supposée constante ( $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ ). Le coefficient  $C_x$  est à déterminer soit en soufflerie soit par calcul. Le calcul permet de hiérarchiser des solutions et d'avoir une bonne approximation du coefficient réel.

La force de résistance au roulage s'écrit de la manière suivante :

$$F_R = f_R \underbrace{m g}_{\text{force normale}}$$

Le coefficient de résistance au roulage est pratiquement constant jusqu'à des vitesses de l'ordre de 100km/h [1]. Il est de l'ordre de 0.012 kg/kg pour des surfaces de type goudron lisse et béton.

La force de gravité s'exprime ainsi :

$$F_{gr} = mg \cos\theta$$

Cette force prend en compte l'inclinaison de la route ( $\theta$  en degrés). Cependant, en général on fait des allers retours sur l'ensemble de l'utilisation du véhicule et cette force se soustrait ou s'ajoute et donc s'équilibre au global. Elle n'est donc pas prise en compte pour le calcul de la consommation [1].

Enfin, la force d'accélération prend en compte l'inertie du véhicule et de roues. Elle s'écrit ainsi :

$$F_{acc} = \dot{V} m (1 + \varepsilon)$$

L'accélération sera calculée de manière discrète à partir des profils de vitesse. Le coefficient  $\varepsilon$  doit prendre en compte l'inertie de rotation des roues. Nous avons choisi de prendre une valeur de 0.05 (par les conseils de Wissam).

#### Validation partielle du modèle

Afin de valider le modèle de consommation, nous l'avons testé sur deux véhicules : le Silence S04 et le scooter Seat Mo125. On prend en compte la masse incluant les batteries et le poids du nombre maximal de passagers. Pour le Silence S04 s'est posée la question du poids des bagages ; nous avons décidé d'ajouter 30kg de bagages puisque dans le descriptif le volume de coffre est décrit comme pouvant accueillir 3 bagages. Pas de baguage et un passager pour le SeatMo125. S'est également posé la question du cycle de conduite pour le Silence S04 car on lit dans [2] que la condition de passage d'une suite L+M+H à L+M+L se fait si la vitesse maximale est inférieure à 90km/h, hors la vitesse maximale de la Silence S04 est égale à 90km/h. On ne sait pas sur quelle série la consommation a été homologuée. Nous avons donc testé les deux. Concernant le coefficient de trainée, nous l'avons pris égale à 0.4 pour la silence S04 car cela correspond à une voiture classique non optimisée [3] et nous avons convergée sur une valeur de 0.7 pour le scooter ce qui est cohérent avec la littérature [4].

Le tableau ci-dessous rassemble l'ensemble des caractéristiques des véhicules de test. Les références pour les consommations communiquées par le fabricant sont [Silence-s04](#) et ici [SeatMo125](#).

Cas d'étude	capa (kWh)	conso (kWh/100km) sur auto indiquée	masse (kg) (hors batteries)	pu (kW)	poids batterie (kg)	aire (m2)	poids total (kg)
Silence S04	11,2	7,5	450	14 à 22	82	1,90	682
Seat mo 125	5,6	4,1	114	7 à 9	41	0,99	230

Les résultats de modélisation sont reportés sur le tableau suivant :

	Modes de cycle	Cx	conso simulée (kWh/100km)	Ecart à la conso. officielle
Silence S04	L+M+H	0,4	6,47	-16%
	L+M+L	0,4	5,85	-28%
Seat mo 125	L+M+H	0,7	3,81	-7%

Les consommations calculées sont en dessous des consommations officielles. Il se peut que le rendement des machines électriques dégrade la consommation réelle (ce rendement n'est pas pris en compte dans le modèle, voir annexes). Il se peut aussi que les Cx soient trop faibles. Aussi, on remarque pour la Silence S04 que le cycle LML produit une erreur de 28% ; à moins que le Cx réel soit bien plus grand en réalité, il semble probable que l'homologation ait été faite en LMH.

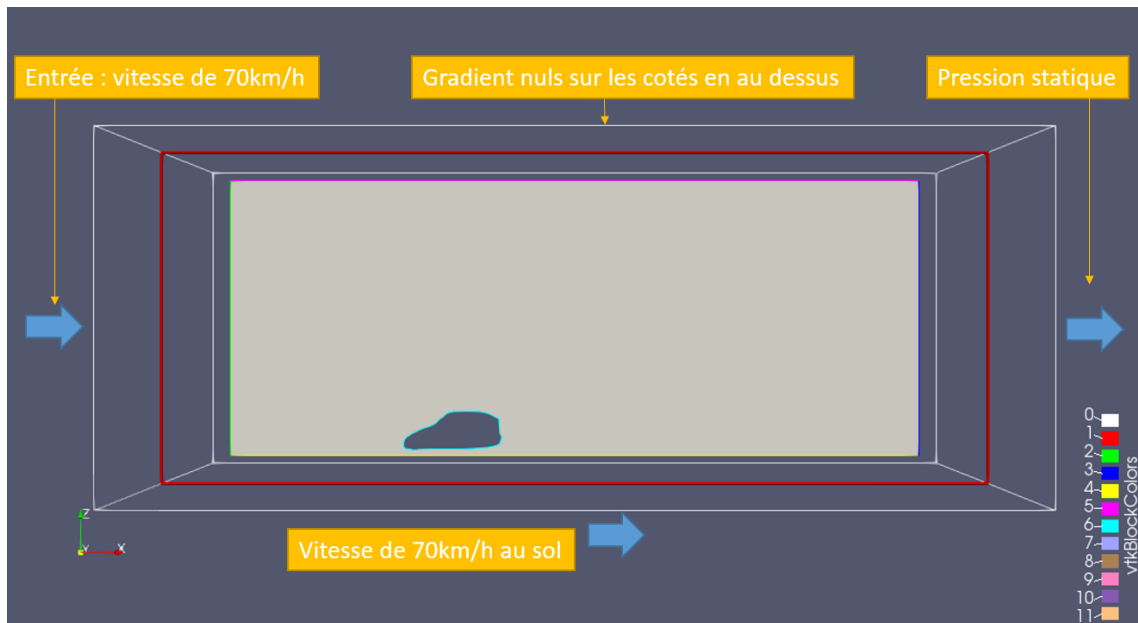
Sur le modèle de calcul, comme aspects pouvant ajouter des erreurs on peut lister : la connaissance de la surface frontale exacte, les approximations sur le modèle de résistance au roulement, la modélisation de la chaîne de traction (rendement du variateur et du moteur en fonction du régime) puis l'éventuelle consommation de matériel électronique.

#### Le coefficient de trainée aérodynamique

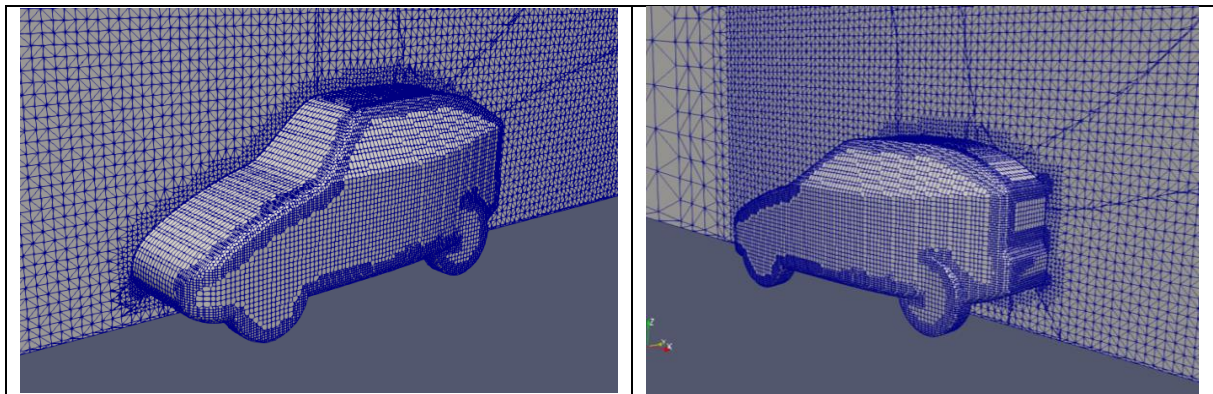
Le logiciel utilisé est Open Foam. Ce travail a été possible grâce à Mathieu Spécklin, enseignant chercheur en mécanique des fluides à Arts et Métiers ParisTech.

En plus des informations données dans le texte principal, on donne ici les conditions aux limites ainsi qu'un aperçu du maillage utilisé.

Concernant les conditions aux limites, une configuration assez classique est utilisée. Elle est montrée ci-dessous :



Le maillage contient 478k dont la plupart sont des hexaèdres. Le maillage est fait par la méthode cutcell avec snappyHexMesh. Deux vues du maillage sont données ci-dessous :



Pour la suite de ce travail une étude de convergence de maillage devra être effectuée.