



Ecole Nationale  
Supérieure  
d'Ingénieurs  
de Tunis



---

## ***Eco Shell Marathon***

---

### ***Bilan Des Forces Et Des Puissances***

---

Elaboré par :  
Aymen Ben Jemaa

ANNEE UNIVERSITAIRE

2023/2024

## Table des Matières

1. Calcul d'accélération.....	3
2. Calculs des forces .....	3
2.1 Force d'inertie.....	3
2.2 Force de roulement .....	4
2.3 Force aérodynamique.....	5
2.4 Force de gravité .....	7
2.5 Bilan Des Forces.....	7
3. Calculs des puissances .....	8
4. Estimation du couple .....	9
5. Les devis .....	10

## Table des Figures

Figure 1 : schéma explicatif.....	3
Figure 2 : force d'inertie.....	4
Figure 3 : force de roulement.....	4
Figure 4 : Coefficient de roulement .....	4
Figure 5 : section frontale de notre véhicule.....	5
Figure 6 : Détermination de force de trainé .....	5
Figure 7 : force aérodynamique .....	6
Figure 8 : simulation aérodynamique de notre véhicule et l'interprétation de ces résultats est au niveau de rapport de la coque.....	6
Figure 9 : force de gravité.....	7
Figure 10 : Répartition des puissances par rapport au puissance total .....	8
Figure 11: schéma système de transmission .....	9

## 1. Calcul d'accélération

La vitesse maximale imposée par le cahier des charges  $V_{\max} = 30 \text{ km/h}$

$$V_{\max} = 8.33 \text{ m s}^{-1}$$

On suppose que notre voiture fait son départ à l'origine du temps ( $t=0$ ) et avec une vitesse nulle. Après une durée de 15 secondes, notre voiture atteint sa vitesse maximale  $V_{\max} = 8.33 \text{ m s}^{-1}$



Figure 1 : schéma explicatif

$$\tau = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{8.3-0}{15-0} = 0.55 \text{ m/s}^2$$

$\tau$  : accélération

## 2. Calcul des forces

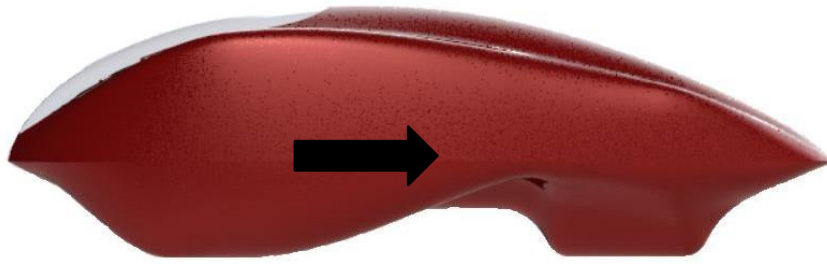
### 2.1 Force d'inertie

La voiture possède 3 Roues. Donc il faut diviser la masse totale sur les 3 roues. Mais pour plus de sécurité au niveau du calcul nous allons utiliser la masse total (voir Figure 2)

$$\text{Soit } M_{\text{totale}} = M_1 + M_2 = M_{\text{véhicule}} + M_{\text{pilote}}$$

$$\text{Soit } M_1 = 50 \text{ kg et } M_2 = 60 \text{ kg}$$

$$F_1 = M_{\text{totale}} * \tau = 110 * 0.55 = 61 \text{ N}$$



Force d'inertie

Figure 2 : force d'inertie

## 2.2 Force de roulement

La résistance au roulement du pneu est liée essentiellement à la déformation du pneu.

La résistance au roulement est l'une des forces qui s'opposent à l'avancement du véhicule.



Force de roulement

Figure 3 : force de roulement

$$F_2 = \delta * M_{\text{totale}} * g = 0.015 * 9.8 * 110 = 16,19 \text{ N}$$

$\delta$  : coefficient de roulement à déterminer à partir du tableaux 1

$C_{rr}$	Description
0,000 3 à 0,000 4 <sup>1</sup>	Roue de chemin de fer en acier sur rail en acier (résistance au roulement pure)
0,001 à 0,001 5 <sup>2</sup>	Roulement à billes en acier durci sur acier
0,001 0 à 0,002 4 <sup>3,4</sup>	Roue de chemin de fer en acier sur rail en acier. Wagon de passager environ 0.0020 <sup>5</sup>
0,001 9 à 0,006 5 <sup>6</sup>	Roues en fonte de véhicules miniers sur rails en acier
0,002 2 à 0,005 <sup>7</sup>	Pneus de bicyclette de production pour 8,3 bars et 50 km/h
0,002 5 <sup>8</sup>	Pneus spéciaux éco-marathon
0,005	Rails sales de tramway (standard) avec et sans virages
0,004 5 à 0,008 <sup>9</sup>	Pneus de grands camions
0,005 5 <sup>8</sup>	Pneus BMX de bicyclettes typiques pour voitures solaires
0,006 2 à 0,015 <sup>10</sup>	Mesure de pneus de voiture
0,010 à 0,015 <sup>11</sup>	Pneus de voitures ordinaires sur béton
0,038 5 à 0,073 <sup>12</sup>	Diligence (xx <sup>e</sup> siècle) sur une route sale. Neige molle sur la route dans le pire cas
0,3 <sup>11</sup>	Pneus de voitures ordinaires sur sable

Le coefficient  $C_{rr}$  désigne le coefficient de résistance au roulement (anglais : *rolling resistance coefficient*). La force de résistance constante s'élève à

$$F_R = C_{rr} \cdot m \cdot g$$

où  $m$  est la masse du véhicule et  $g$  correspond à la gravité terrestre.

Tableau 1 : Coefficient de roulement

## 2.3 Force aérodynamique

La force aérodynamique ou trainée est donnée par :

$$F_3 = \frac{1}{2} \rho * S * C * V^2$$

$\rho$  : Densité de l'air

$S$  : Section frontale de notre véhicule

$C$  : force de trainée à déterminer à partir la Figure 6 (pour une meilleure forme aérodynamique  $c=0.04$ . Mais pour plus de sécurité en prend  $C=0.075$ )

$V$  : Vitesse relative



Figure 4 : section frontale de notre véhicule

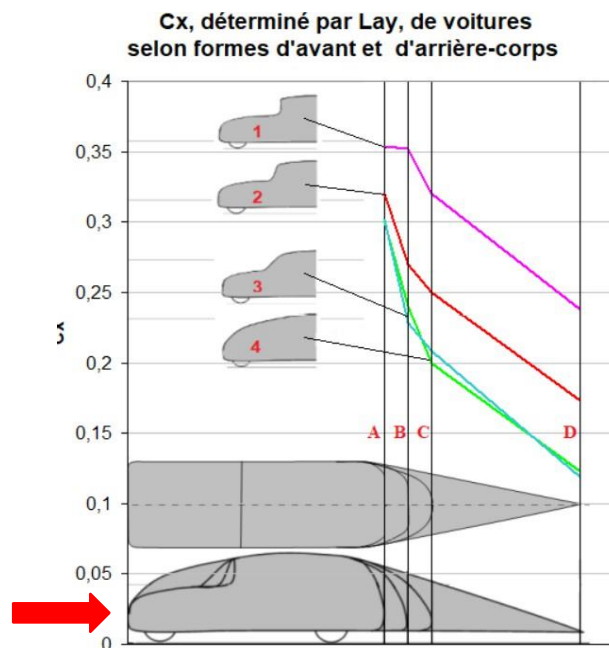


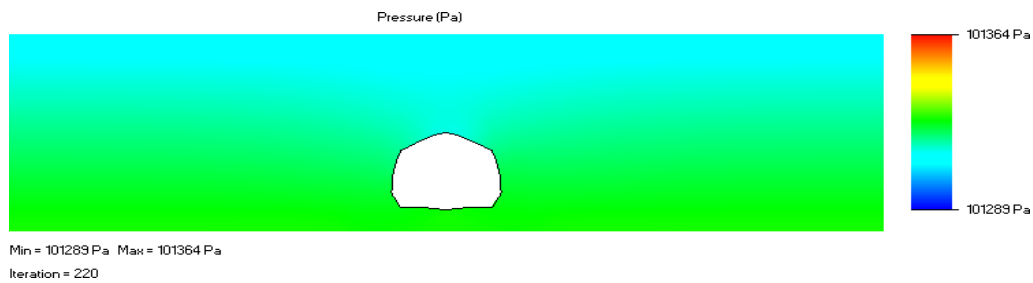
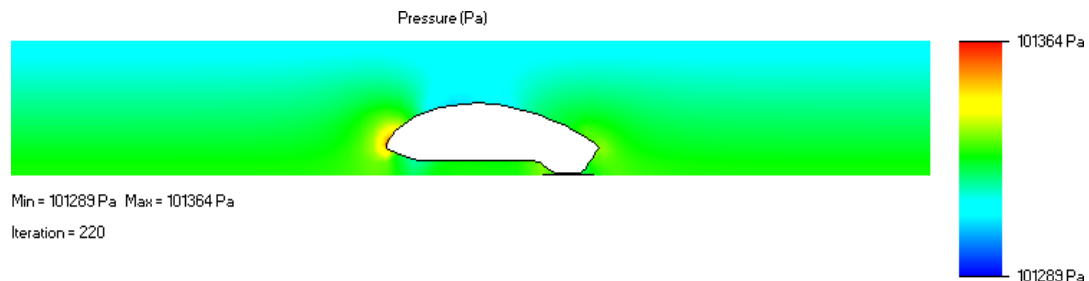
Figure 5 : Détermination de force de trainée

$$F_3 = 0.5 * 1.225 * 0.3 * 0.075 * 8.3^2 = 0.95 \text{ N}$$



Force aérodynamique

Figure 6 : force aérodynamique



GG Av Heat Flux 1	0 W/m^2	Achieved (IT = 55)	0 W/m^2	0 W/m^2
GG Av Shear Stress (X) 1	0.00112177 Pa	Achieved (IT = 176)	3.99278e-05 Pa	0.00106272 Pa
GG Av Shear Stress (Y) 1	0.00181032 Pa	Achieved (IT = 87)	0.000128407 Pa	0.00175786 Pa
GG Av Shear Stress (Z) 1	-0.0690971 Pa	Achieved (IT = 87)	0.00211939 Pa	-0.0693851 Pa
GG Av Shear Stress 1	0.0735571 Pa	Achieved (IT = 211)	0.00214516 Pa	0.0738555 Pa
GG Av Turbulent Viscosity 1	0.00157276 J/kg	Achieved (IT = 98)	4.70168e-05 J/kg	0.00156683 J/kg
GG Av Turbulent Viscosity 1	0.000104708 Pa*s	Achieved (IT = 88)	2.03188e-06 Pa*s	0.000104744 Pa*s
GG Av Velocity (X) 1	0.00612168 m/s	Achieved (IT = 65)	0.000179474 m/s	0.00596691 m/s
GG Av Velocity (Y) 1	0.00095074 m/s	Achieved (IT = 56)	0.000189326 m/s	0.000966974 m/s
GG Av Velocity (Z) 1	-8.29662 m/s	Achieved (IT = 176)	0.000846646 m/s	-8.29687 m/s
GG Force (X) 1	-1.10268 N	Achieved (IT = 87)	0.0294905 N	-1.0669 N
GG Force (Y) 1	15.5301 N	Achieved (IT = 87)	0.214411 N	15.5585 N
GG Force (Z) 1	-3.25799 N	Achieved (IT = 60%)	0.222556 N	-3.25553 N
GG Friction Force (X) 1	0.00635233 N	Achieved (IT = 176)	0.000226101 N	0.00601792 N
GG Friction Force (Y) 1	0.0102514 N	Achieved (IT = 87)	0.00072714 N	0.00995434 N
GG Friction Force (Z) 1	-0.39128 N	Achieved (IT = 87)	0.0120016 N	-0.392911 N
GG Friction Force 1	0.391466 N	Achieved (IT = 87)	0.0119965 N	0.393085 N
GG Normal Force (X) 1	-1.10904 N	Achieved (IT = 65)	0.0296349 N	-1.07292 N
GG Normal Force (Y) 1	15.5199 N	Achieved (IT = 55)	0.214175 N	15.5486 N
GG Normal Force (Z) 1	-2.86671 N	Achieved (IT = 55)	0.223425 N	-2.86262 N
GG Normal Force 1	15.8213 N	Achieved (IT = 83)	0.271278 N	15.8465 N
GG Torque (X) 1	-6.98196 N*m	Achieved (IT = 85)	0.0620971 N*m	-7.01669 N*m
GG Torque (Y) 1	-0.214486 N*m	Achieved (IT = 174)	0.0177757 N*m	-0.211432 N*m
GG Torque (Z) 1	0.273379 N*m		0.00411264 N*m	0.28388 N*m

Figure 7 : simulation aérodynamique de notre véhicule et interprétation de ces résultats au niveau du rapport de la coque

## 2.4 Force de gravité

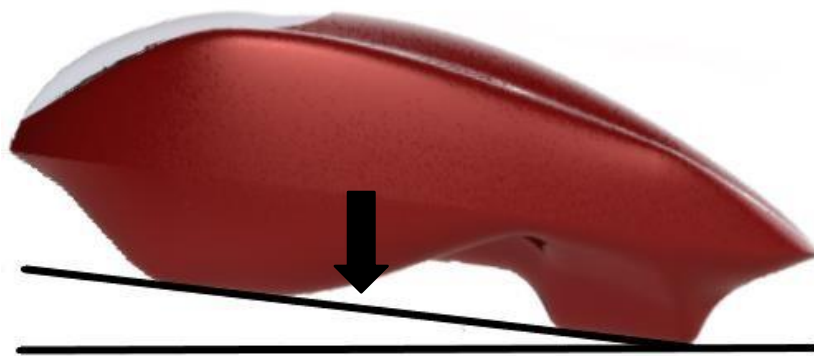
Les forces de gravité,  $F_g$ , n'entrent en jeu que si la route parcourue présente des pentes. Les forces de gravité sont d'autant plus grandes que la pente est forte et que la masse du véhicule est importante.

$$F_4 = M_{\text{totale}} g \sin \alpha = 110 \cdot 9.81 \cdot \sin(2) = 38 \text{ N}$$

$M_{\text{totale}}$  : masse totale en Kg

$g$  : l'accélération de la pesanteur ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$\alpha$  : l'angle de la pente en degré



■ Force de gravité

Figure 8 : force de gravité

## 2.5 Bilan Des Forces

	Forces	Valeurs(N)
$F_1$	Force de la masse de la verticale	61
$F_2$	Force de roulement	23.52
$F_3$	Force aérodynamique	0.95
$F_4$	Force de gravité	38

### 3. Calculs des puissances

$$P_1 = F_1 \cdot V = 61 \cdot 8.3 = 507 \text{ w}$$

$$P_2 = F_2 \cdot V = 16,19 \cdot 8.3 = 134 \text{ w}$$

$$P_3 = F_3 \cdot V = 0.95 \cdot 8.3 = 8 \text{ w}$$

$$P_4 = F_4 \cdot V = 38 \cdot 8.3 = 316 \text{ w}$$

$$P = \sum p_i = P_1 + P_2 + P_3 = 506.3 + 195.21 + 7.885 + 315.4 = 964 \text{ w}$$

Conclusion : la puissance maximale estimée est de 964 w.

Puisque notre système de transmission est pignons et chaîne donc le rendement ( $90\% < \eta < 95\%$ )

Pour  $\eta = 90\%$

$$\eta = \frac{P_s}{P_m} \rightarrow P_m = \frac{P_s}{\eta} = \frac{964}{0.9} = 1073 \text{ w}$$

Donc un moteur de 1200 w est suffisant

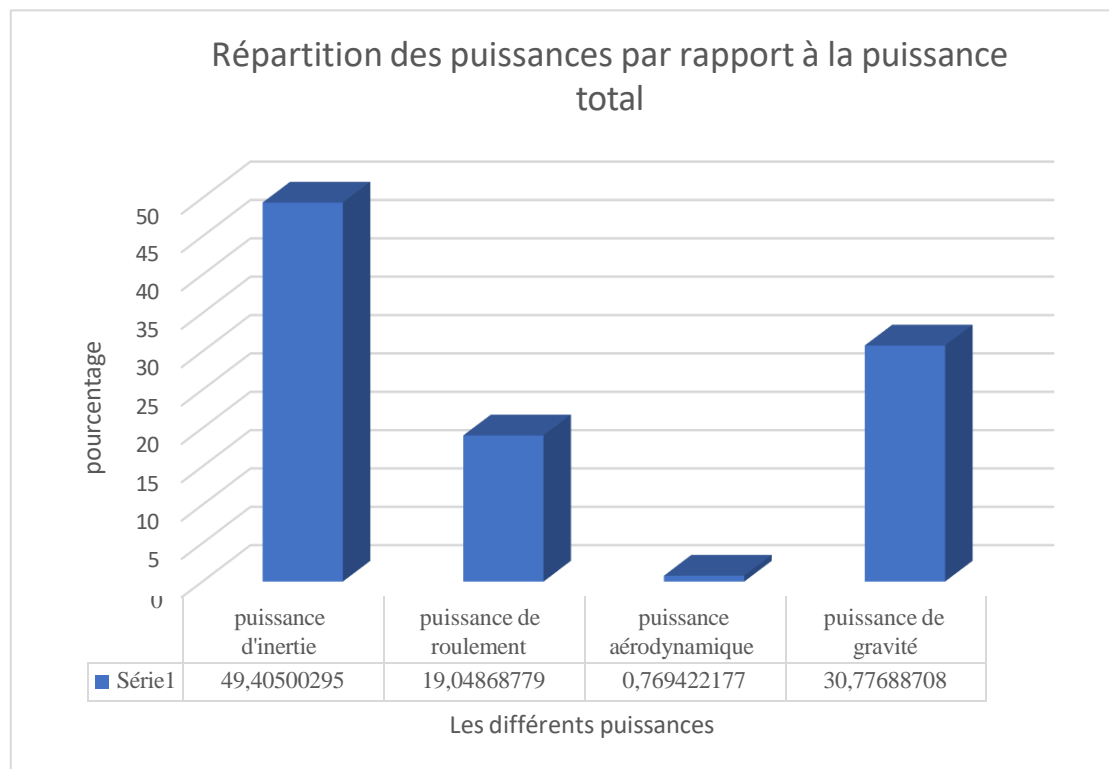


Figure 9 : Répartition des puissances par rapport au puissance total



#### 4. Estimation du couple

$N_s = 289 \text{ tr/min}$  (après réducteur)

$N_m = 867 \text{ tr/min}$  (moteur)

$$W_s = \frac{8300}{254} = 32.67 \text{ rad/s}$$

$$CR_{\max} = \frac{P}{W_s} = \frac{1025}{32.67} = 31.37 \text{ N.m}$$

Au démarrage on élimine la force de gravité

$$CR_{\max} = \frac{710}{32.67} = 21.73 \text{ N.m}$$

$$C_m = \frac{CR_{\max} * r}{0.9 * 3} = \frac{21.73}{2.7} = 8 \text{ N.m}$$

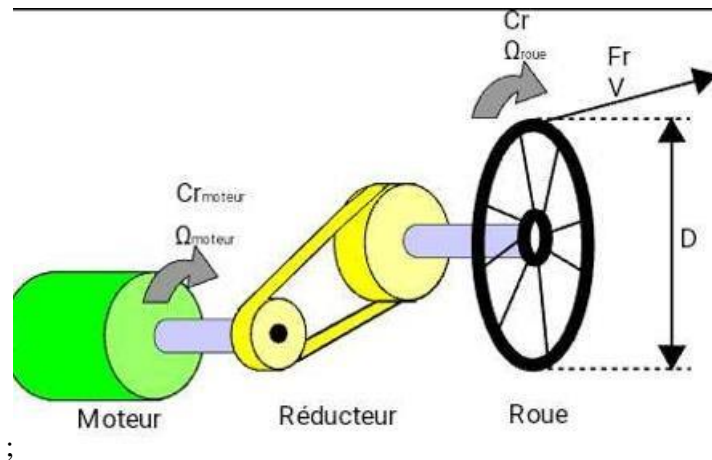


Figure 10: schéma système de transmission