

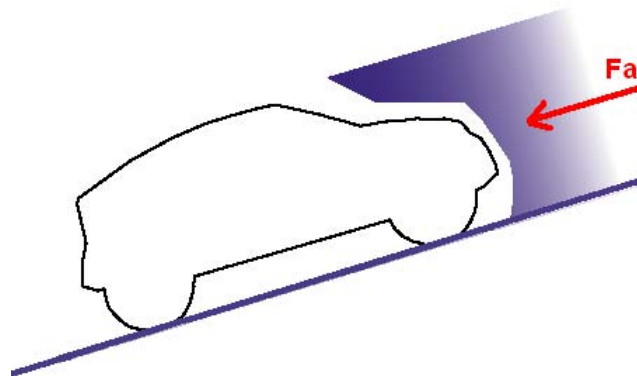
1. Introduction sur la loi de route :

Lorsque un véhicule routier se déplace, il subit les efforts de l'environnement dans lequel il évolue. Les principaux efforts subits par ce véhicule sont : la masse totale du véhicule à accélérer, la résistance qu'applique le sol sur chaque roue, la pression aérodynamique sur le véhicule générée par la vitesse et la dénivellation du sol. En clair, un véhicule lourd et volumineux aura plus de difficultés à évoluer sur un sol rugueux en côte qu'un véhicule léger et profilé évoluant sur un sol lisse et plat. Pour corser le tout, ces résistances ne sont pas constantes mais sont fonctions de la vitesse du véhicule, et ce de manière non linéaire.

L'intérêt d'un banc d'essai est de pouvoir simuler ces efforts selon cette loi de route: le véhicule est alors soumis aux mêmes forces que s'il évoluait sur la route. Ces efforts peuvent se calculer grâce à des lois mathématiques qui prennent en compte les caractéristiques propres à chaque véhicule ainsi que les conditions de roulage.

2. Formules de calcul de la loi de route :

2.1 Calcul de la résistance aérodynamique



L'effort résultant de la pression aérodynamique sur le véhicule générée par la vitesse s'appelle la force de traînée aérodynamique. La puissance consommée par le véhicule pour vaincre cet effort se calcule grâce à la relation suivante :

$$Pa = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot S \cdot Cx \cdot V^3$$

Cette puissance est fonction de :

- Le coefficient de pénétration dans l'air noté Cx. Mesuré expérimentalement en soufflerie, il représente la capacité de pénétration dans l'air d'un véhicule.
- La surface frontale du véhicule S (en m²). Pour imaginer, si on prenait une photo de face du véhicule à l'échelle 1, il s'agirait de la surface occupée par celui-ci sur cette photo. Pour une voiture, cette surface peut être approximée par : $S = 0,9 \times \text{voie} \times \text{hauteur}$

- La masse volumique de l'air ρ_{air} (en kg/m^3). Il s'agit de la masse d'un mètre cube d'air. Cette valeur varie en fonction de l'altitude, de la température et de l'hygrométrie. Au niveau de la mer, à une température de 0°C , une pression de 1013Hpa et une hygrométrie de 0% cette valeur est de $1,293 \text{ kg/m}^3$.
- La vitesse d'avancement du véhicule V (en m/s). Cette vitesse intervenant au cube, la traînée aérodynamique aura tendance à croître rapidement lorsque la vitesse augmente.

Note : Le Cx et la surface frontale S sont souvent représenté par leur produit, noté tout simplement S.Cx. Cette grandeur est appelée la surface apparente aérodynamique. Le tableau 1 regroupe un ordre de grandeur de cette valeur pour divers types de véhicules. C'est cette valeur qui est utilisée par le logiciel pour le calcul de la loi de route.








Véhicule	Surface frontale S (en m ²)	C _x	SC _x (en m ²)
Moto - tourisme 	0.7	0.90	0.63
Moto - compétition 	0.48	0.67	0.32
Karting 	0.35	0.80	0.28
"Bonne" voiture 	1.8	0.30	0.54
"Mauvaise" voiture	1.8	0.50	0.9
Petit véhicule commercial 	5	0.50	2.5
Petit camion 	7	0.73	5.11
Semi-remorque 	9	0.90	8.1
F1	1.6	0.90	1.44
Sports proto	1.7	0.50	0.85
Avion léger	5	0.12	0.6

Tableau 1: paramètres aérodynamiques de divers types de véhicules

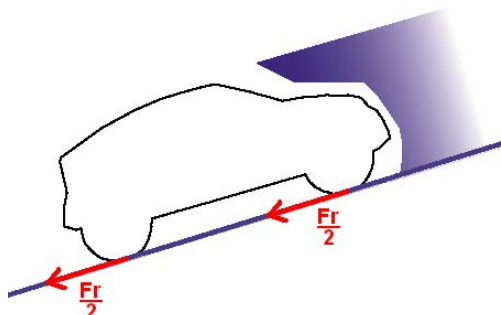
Exemple : Une voiture ayant un C_x=0,30 et une surface frontale de 1,8m² roule à une vitesse de 90km/h. On a :

$$Pa = \frac{1}{2} \times 1,205 \times 0,3 \times 1,8 \times \left(\frac{90}{3,6}\right)^3 = 5000W$$

$$\text{Soit } Pa = 5kW \text{ ou encore } Pa = 6,9ch$$

La puissance consommée par ce véhicule à 90 Km/h pour vaincre l'effort aérodynamique est donc de 6,9ch.

2.2 Calcul de la résistance à la roue



Sous le poids d'un véhicule, un pneu se déforme au contact de la route créant ainsi une surface de contact. C'est cette surface qui donne l'adhérence nécessaire au véhicule pour se déplacer. Malheureusement, ce phénomène de déformation du pneu et de contact avec la route est consommateur d'énergie : on appelle cet effort la force de résistance à la roue. La puissance consommée par le véhicule pour vaincre cette force de résistance à la roue s'exprime par la relation suivante :

$$P_R = m \cdot g \cdot K_R \cdot V$$

Cette puissance est fonction de :

- La masse du véhicule **m** (en kg)
- L'accélération de la pesanteur **g** (en m/s²). Il s'agit de ce que l'on appelle vulgairement « la force de pesanteur ». Sa valeur est de 9,81 m/s².
- Le coefficient de résistance au roulement **K_R** : il dépend de divers paramètres comme le revêtement de la route, le type et les dimensions du pneu, la température de la bande de roulement et la pression de gonflage des pneumatiques. Le tableau 2 regroupe un ordre de grandeur de ce coefficient pour divers types de revêtements.
- La vitesse du véhicule **V** (en m/s).

Revêtement routier	Coefficient de résistance au roulement K _R
Pavés	0,015
Asphalte, béton	0,015
Macadam roulé	0,020
Macadam ou goudron	0,025
Chemin de terre	0,050
Roue sur rail	0,001 à 0,002

Tableau 2: coefficient de résistance au roulement en fonction du revêtement routier

Continuons l'exemple précédent :

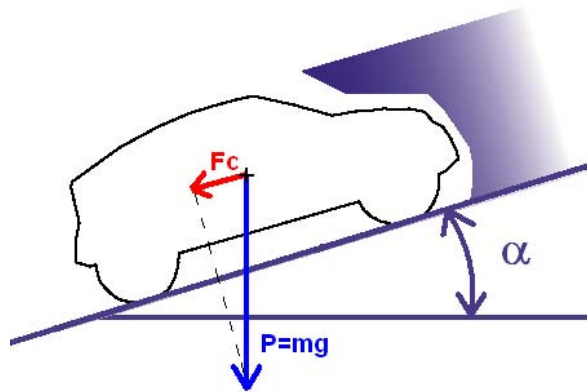
Cette même voiture pèse 1200kg et évolue sur une route goudronnée ($K_r=0,025$). On a alors :

$$P_R = 1200 \times 9,81 \times 0,025 \times \left(\frac{90}{3,6}\right) = 7400W$$

Soit $P_R = 7,4kW$ ou encore $P_R = 10ch$

La puissance consommée par ce véhicule pour vaincre l'effort de résistance aux roues à 90 Km/h est donc de 10ch.

2.3 Calcul de la résistance en côte



Lorsqu'un véhicule monte une côte, il subit un effort résistant lié à la pente de la route. La puissance consommée par le véhicule pour vaincre cet effort de résistance dû à la côte se calcule de la manière suivante :

$$P_c = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \cdot V$$

Cette puissance est fonction de :

- La masse du véhicule **m** (en kg).
- L'accélération de la pesanteur **g** (en m/s²).
- L'angle de la pente **α** (en degrés). Sur nos routes, les côtes sont communément exprimées en % (une côte de 10% correspond à une prise d'altitude de 10m pour une avancée horizontale de 100m) : pour calculer l'angle de la pente **α** il faut utiliser la formule :

$$\alpha = \text{Arctan}\left(\frac{\text{côte}}{100}\right)$$

Pour une côte de 5%, on aura : $\alpha = \text{Arctan}\left(\frac{5}{100}\right) = 2,86^\circ$

Appliquons cette formule à notre exemple :

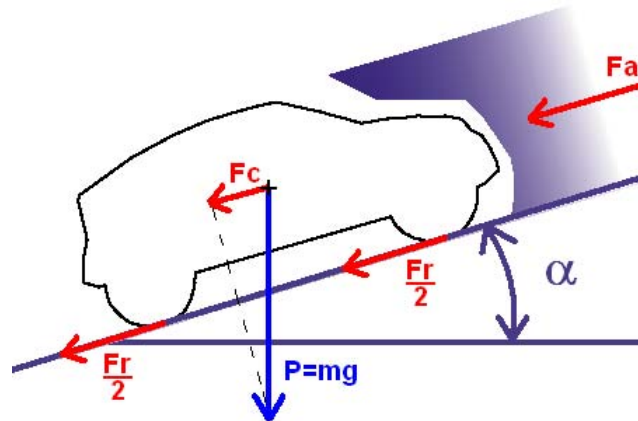
Cette voiture roule dans une côte à 5% ($\alpha=2,86^\circ$). Ainsi nous obtenons :

$$P_R = 1200 \times 9,81 \times \sin(2,86) \times \left(\frac{90}{3,6}\right)$$

$$P_R = 14,7kW \text{ soit } P_R = 19,9ch$$

La puissance consommée par ce véhicule pour gravir cette côte à 90 Km/h est donc de 19,9ch.

2.4 Calcul de la résistance totale



En conditions réelles, un véhicule est donc soumis à tout ces phénomènes en même temps dans des proportions diverses et variables. La puissance totale consommée par le véhicule, à vitesse constante, pour vaincre les efforts qui lui sont appliqués par l'environnement extérieur dans lequel elle évolue est donc la somme des 3 phénomènes précédents :

$$P_{totale} = P_a + P_r + P_c$$

$$P_{totale}(V) = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot S C_x \cdot V^3 + m \cdot g \cdot K_r \cdot V + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \cdot V$$

Reprenons notre exemple :

Pour une voiture de masse $m=1200kg$ ayant un $C_x=0,30$ et une surface frontale de $1,8m^2$, roulant dans une côte à 5% ($\alpha=2,86^\circ$) sur une route goudronnée ($K_r=0,025$) à une vitesse de 90km/h on obtient :

$$P_{totale} = 5000 + 7400 + 14700 = 27100W$$

$$\text{Soit } P_{totale} = 27,1kW \text{ ou encore } P_{totale} = 36,8ch$$

Le véhicule consommera donc une puissance totale de 36,8ch pour évoluer dans ces conditions, à vitesse constante.

3. Grandeurs calculées à partir de la loi de route

3.1 La puissance disponible

Connaissant la puissance consommée par le véhicule pour évoluer dans des conditions données, à vitesse constante, on peut introduire la notion de puissance disponible. Cette puissance disponible est la puissance qu'il reste à ce véhicule pour accélérer : elle est définie comme la différence entre la puissance moteur et la puissance consommée à vitesse constante. Lors d'un essai sur banc, il s'agit donc de la différence entre la puissance moteur et la puissance absorbée par le banc :

$$P_{dispo}(V) = P_{moteur}(V) - P_{absorbée}(V) = P_{moteur}(V) - \left(\frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot S C_x \cdot V^3 + m \cdot g \cdot K_r \cdot V + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \cdot V \right)$$

Cette puissance est fonction de :

- Des paramètres propres au véhicule et aux conditions de route vus précédemment (Cx, Kr...).
- De la vitesse d'avancement du véhicule.
- De la courbe de puissance moteur.
- Du rapport de boîte de vitesse engagé. En effet, une même vitesse d'avancement du véhicule pouvant être atteinte sur plusieurs rapports différents, le régime moteur et donc la puissance moteur seront différents.

Pour notre exemple :

- Cas 1: le véhicule atteint cette vitesse de 90km/h en 5^{ème} à 2400tr/min et il dispose à ce régime d'une puissance de 50kW (68ch). La puissance consommée pour avancer dans ces conditions étant de 27kW (37ch), il lui reste donc une puissance disponible de 23kW (31ch).
- Cas 2 : le véhicule atteint cette vitesse de 90km/h en 4^{ème} à 3200 tr/min et il dispose à ce régime d'une puissance de 66kW (90ch). La puissance consommée pour avancer dans ces conditions étant de 27kW (37ch), il lui reste donc une puissance disponible de 39kW (53ch).

Les logiciels de Rotronics permettent de calculer cette puissance disponible sur chaque rapport en fonction de la vitesse du véhicule.

3.2 L'accélération disponible

A partir de la puissance disponible, il est possible de calculer l'accélération disponible. Cette grandeur représente la capacité d'accélération restant disponible pour le véhicule sur la route à

une vitesse, un rapport de boîte et des conditions données. Cette accélération disponible γ_{dispo} s'exprime par la relation suivante :

$$\gamma_{dispo}(V) = \frac{P_{dispo}(V)}{m \cdot V}$$

Cette accélération dépend de :

- La puissance disponible P_{dispo} (en W) et donc du rapport de boîte engagé.
- La masse du véhicule m (en kg).
- La vitesse linéaire du véhicule (en m/s).

Pour notre exemple :

- Cas 1 : Véhicule à 90km/h en 5^{ème}, puissance disponible de 23kW (31ch).

$$\gamma_{dispo}(V) = \frac{23000}{1200 * \left(\frac{90}{3,6}\right)}$$

$$\gamma_{dispo}(V) = 0,767 \text{ m/s}^2$$

Le véhicule peut donc accélérer de 0,767m/s par seconde, soit une augmentation de la vitesse de 2,76km/h en une seconde.

- Cas 2 : Véhicule à 90km/h en 4^{ème}, puissance disponible de 39kW (53ch).

$$\gamma_{dispo}(V) = \frac{39000}{1200 * \left(\frac{90}{3,6}\right)}$$

$$\gamma_{dispo}(V) = 1,3 \text{ m/s}^2$$

Le véhicule peut donc accélérer de 1,3m/s par seconde, soit une augmentation de la vitesse de 4,68km/h en une seconde.

Les logiciels de Rotronics permettent de calculer cette accélération disponible sur chaque rapport en fonction de la vitesse du véhicule.