

## L' AÉRODYNAMIQUE

L'aérodynamique est la branche de la physique qui étudie l'influence de l'air sur le mouvement des véhicules.

En effet, bien qu'incolore, inodore et d'une densité relativement faible (environ 800 fois inférieure à celle de l'eau), l'atmosphère terrestre se comporte comme un milieu visqueux qui freine les déplacements des véhicules, c'est ce qu'on appelle la résistance de l'air.

### Réduire la résistance de l'air...

Réduire la résistance de l'air est une préoccupation constante. Les cyclistes, les skieurs, les patineurs adoptent instinctivement la position dite de "l'œuf" pour économiser de l'énergie ou pour gagner de la vitesse...

C'est à cause de la résistance de l'air que les avions ont intérêt à voler très haut. En effet, à 20 000 mètres d'altitude, la densité de l'atmosphère est 10 fois inférieure à ce qu'elle est à la surface du globe, ce qui permettait au Concorde d'y atteindre les 2000 km.h<sup>-1</sup>. En restant au niveau de la mer, il n'aurait pas pu dépasser 600 km.h<sup>-1</sup>.

Les satellites qui évoluent dans l'espace, c'est à dire dans le vide, s'affranchissent à la fois de la résistance au roulement et de la résistance de l'air. Ainsi leur mouvement devient perpétuel ! Le rêve !...

### Mesurer la résistance de l'air...

Il est impossible de mesurer directement la résistance de l'air sur la carrosserie d'une voiture en mouvement, c'est pourquoi les expériences aérodynamiques nécessitent le recours à des installations sophistiquées qu'on appelle "tunnels aérodynamiques" ou plus couramment "souffleries".

Bien que très sophistiquées, ces installations sont toutes conçues sur le même principe : un vent artificiel brassé par un énorme ventilateur souffle sur une voiture immobile. Il suffit alors de mesurer la force qui s'exerce sur la carrosserie.

### Une loi immuable...

Les diverses mesures effectuées en soufflerie ont permis de dégager une loi immuable : la résistance de l'air augmente toujours comme le *carré de la vitesse*, elle

prime très vite sur la résistance au roulement et devient le principal obstacle au déplacement des véhicules terrestres et à la vitesse...

### **La forme parfaite...**

Les diverses expériences rendues nécessaires pour la mise au point des fuselages d'avions ont montré qu'il existe une forme aérodynamique parfaite dite "ovoïde" ou "pisciforme" car proche de celle des oiseaux ou des poissons !

En effet la pénétration dans l'air et celle dans l'eau présentent de nombreuses analogies même si le déplacement dans l'eau demande environ 800 fois plus d'énergie. Au fil de leur évolution, les oiseaux et les poissons l'ont bien compris, ils se sont adaptés aux exigences de leur milieu !

Néanmoins, pour être parfaite, cette forme aérodynamique idéale doit être de coupe circulaire et obéir à certaines proportions particulières, notamment en ce qui concerne le rapport entre la section et la longueur. Bref une forme qui ne peut convenir à des véhicules routiers...

### **Les carrosseries modernes...**

De toutes manières, les carrosseries des voitures modernes sont dessinées avec comme premier souci celui de l'esthétique car il faut d'abord plaire à l'acheteur.

Cela ne veut pas dire qu'il n'y a eu aucun progrès en matière d'aérodynamique, au contraire même car tout le monde sait bien qu'à vitesse stabilisée, c'est la forme de la carrosserie qui détermine la consommation de carburant.

Tout l'art des "*designers*" consiste donc à concilier à la fois les exigences de la mode et celles de l'aérodynamique.

### **La pénétration dans l'air...**

La pénétration dans l'air dépend de deux paramètres : la surface frontale (également appelée *maître-couple*) et le coefficient de traînée ( $C_x$ ).

La surface frontale étant fixée par le cahier des charge selon le gabarit du véhicule et l'usage auquel il est destiné, il n'y a guère de marge de manœuvre.

Le coefficient de traînée est donc le paramètre essentiel, il dépend de l'ensemble des éléments qui composent la carrosserie et pas seulement de la forme de l'avant. En effet, le dessus (vitres affleurantes), le dessous (carénage sous le moteur), les flancs et

l'arrière de la voiture (forme de la poupe) jouent un rôle capital dans l'écoulement de l'air. L'amélioration de leur profil dans le but de réduire les turbulences est un souci constant.

Jugeons des progrès accomplis : le Cx moyen qui était de 0,45 dans les années cinquante est descendu à moins de 0,30 aujourd'hui !

### **Les précautions d'usage...**

Les progrès réalisés en matière d'aérodynamique et les vitesses pratiquées limitent les possibilités du conducteur et des passagers dans les voitures modernes : pas de galerie de toit, pas de remorque et obligation de circuler avec les vitres fermées, du moins dès que la vitesse s'élève, afin d'éviter les moindres turbulences qui grèvent la consommation de carburant !

### **Le vent latéral...**

L'aérodynamique s'intéresse aussi aux effets des vents latéraux. La sensibilité au vent latéral dépend de la forme et de la surface latérale de prise au vent mais surtout de la masse du véhicule.

Ainsi un camion de 40 tonnes ayant une surface latérale de 60 m<sup>2</sup> se révélera quatre fois moins sensible au vent latéral qu'une camionnette de 1800 kilogrammes ayant une surface latérale de 12 m<sup>2</sup>. Mais attention : si le camion est vide, ce rapport n'est plus le même !

### **Comment exprimer la résistance de l'air ?**

Cette résistance s'exprime grâce à la relation :

$$\mathbf{R = A \cdot V^2}$$

Dans le Système International d'unités dont l'usage est, rappelons-le, obligatoire partout dans le monde quels que soient les domaines concernés (industrie, commerce, enseignement), la résistance de l'air **R** s'exprime en *newton* (symbole N) en hommage aux travaux d'Isaac Newton. La vitesse **V** du véhicule s'exprime en *mètre par seconde* (symbole m.s<sup>-1</sup>) et la constante aérodynamique **A** propre à chaque modèle de véhicule<sup>(\*)</sup> s'exprime en *kilogramme par mètre* (symbole kg.m<sup>-1</sup>).

La vérification de la cohérence des unités s'écrit ainsi :

$$\mathbf{résistance = kg.m^{-1} \cdot (m.s^{-1})^2 = kg.m.s^{-2} = newton.}$$

## Comment exprimer l'énergie consommée ?

L'énergie consommée par la résistance de l'air s'exprime grâce à la relation :

$$E = R \cdot D$$

Dans le Système International d'unités, l'énergie **E** s'exprime en *joule* (symbole J) en hommage aux travaux de James Joule. La résistance de l'air **R** s'exprime en *newton* (symbole N) et **D** est la distance parcourue, exprimée en *mètre* (symbole m).

La vérification de la cohérence des unités s'écrit ainsi :

$$\text{énergie} = \text{kg.m.s}^{-2} \cdot \text{m} = \text{kg.m}^2.\text{s}^{-2} = \text{joule.}$$

## Le rôle de la vitesse...

En combinant les deux relations précédentes, on constate qu'à cause de la résistance de l'air, l'énergie nécessaire pour entretenir une vitesse stabilisée augmente comme le *carré* de la vitesse :

$$E = A \cdot D \cdot V^2$$

On en déduit que la différence d'énergie ( $\Delta E$ ) entre deux valeurs de vitesse (**Va** et **Vb**) est égale à la *différence des carrés de la vitesse*, ainsi que le montre la relation suivante :

$$\Delta E = (A \cdot D \cdot Vb^2) - (A \cdot D \cdot Va^2) = A \cdot D (Vb^2 - Va^2)$$

Le produit **A . D** étant indépendant de la vitesse, la relation simplifiée s'écrit :

$$\Delta E = Vb^2 - Va^2$$

Concrètement, cela signifie qu'une petite différence de vitesse se traduit en réalité par une grosse différence d'énergie.

Par conséquent l'un des moyens les plus simples de réduire la consommation de carburant et la pollution de l'environnement est bien de circuler moins vite. Moins vite oui, mais de combien ?

## Les économies d'énergie...

Le tableau suivant regroupe l'ensemble des valeurs calculées à partir de 30 km.h<sup>-1</sup> pour les vitesses habituellement pratiquées en France.

<b>130</b>	126,5	124	120	115	110	102,5	94	83	69	50	0
<b>110</b>	106	102,5	98	92	85	75,5	63	46	0	48	69
<b>90</b>	85	81	75	67	57	41	0	44	63	79	94
<b>70</b>	63	57	49	36	0	39	57	71	85	97,5	110
<b>50</b>	40	30	0	33	49	62	75	87	98	109	120
<b>30</b>	0	26	40	52	63	74	85	95	106	116	126,5
km.h <sup>-1</sup>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>	<b>130</b>

association adilca [www.ifrance.com/adilca](http://www.ifrance.com/adilca)

Comment lire ce tableau ? Il suffit de mettre en correspondance les vitesses apparaissant en caractères gras sur les lignes de gauche et du bas. La valeur indiquée est la vitesse exprimant la différence d'énergie entre les deux valeurs choisies.

Exemple 1 : entre **80** km.h<sup>-1</sup> et **90** km.h<sup>-1</sup>, la différence est de 41 km.h<sup>-1</sup>. Cela signifie que pour maintenir une vitesse de 90 km.h<sup>-1</sup> au lieu de 80 km.h<sup>-1</sup>, il faut disposer d'une énergie équivalente à celle qui permettrait de maintenir une vitesse de 41 km.h<sup>-1</sup>.

Inversement, un véhicule qui circule à 80 km.h<sup>-1</sup> au lieu de 90 km.h<sup>-1</sup> économise l'énergie qui lui permettrait de circuler à 41 km.h<sup>-1</sup> !

Exemple 2 : entre **110** km.h<sup>-1</sup> et **130** km.h<sup>-1</sup>, la différence est de 69 km.h<sup>-1</sup>. Cela signifie que pour maintenir une vitesse de 130 km.h<sup>-1</sup> au lieu de 110 km.h<sup>-1</sup>, il faut disposer d'une énergie équivalente à celle qui permettrait de maintenir une vitesse de 69 km.h<sup>-1</sup>.

Inversement, un véhicule qui circule à 110 km.h<sup>-1</sup> au lieu de 130 km.h<sup>-1</sup> économise l'énergie qui lui permettrait de circuler à 69 km.h<sup>-1</sup> !

Bref ! Les lois de l'aérodynamique sont immuables et quels que soient les véhicules considérés, les économies d'énergie et de pollution liées aux réductions de vitesse sont considérables...

(\*) Cette grandeur vaut approximativement 0,5 kg.m<sup>-1</sup> pour une voiture et 5 kg.m<sup>-1</sup> pour un camion.

association ADILCA

[www.ifrance.com/adilca](http://www.ifrance.com/adilca)

\* \* \*