

fréquence). La fréquence de rotation des roues étant toujours inférieure à celle du moteur (même en cinquième), le couple exercé sur l'axe des roues à puissance donnée est supérieur au couple produit par le moteur. Ainsi, le système de transmission démultiplie le couple du moteur, et le couple exercé sur l'axe des roues motrices se calcule en le multipliant (entre 80 et 200 newtons mètre selon les voitures) par la démultiplication (le «rapport de boîte»). Par exemple, le couple exercé sur l'axe des roues vaut environ 1 100 newtons mètre pour une petite voiture roulant en première.

Au démarrage, pour des roues de 60 centimètres de diamètre, la réaction horizontale exercée par la route sur les roues du train avant est équivalente à 370 kilogrammes. Si la force de réaction exercée sur le pneu est supérieure au seuil de glissement imposée par les frottements, la voiture patine. Pour éviter ce patinage qui engendre peu de mouvement et beaucoup de chaleur, il est judicieux de choisir le régime moteur tel que la force exercée sur les roues motrices soit juste inférieure au seuil de glissement. Cela correspond à une accélération maximale de 0,5 fois l'accélération de la pesanteur, indépendante de la masse du véhicule. Conseil : n'accélérez pas trop vite au démarrage.

ACCÉLÉRATION ET FREINAGE

Lors de l'accélération, les passagers du véhicule sont plaqués sur leur siège. Les roues motrices subissent alors de la part du sol une réaction horizontale dirigée vers l'avant. Cette force a tendance à faire tourner la voiture autour de son centre de gravité, l'avant se soulevant. Il se passe la même chose quand on débarrasse une table en tirant sur la nappe : les objets posés à sa surface se renversent d'autant plus facilement qu'ils sont hauts et que l'on tire fort.

Ainsi, l'accélération crée un couple de rotation qui est contrebalancée par une augmentation de la réaction verticale du sol sur le train arrière du véhicule. Comme la résultante des réactions

verticales doit toujours être égale au poids du véhicule, la réaction qui s'exerce sur le train avant diminue. Tout se passe comme si la voiture devenait subitement plus lourde à l'arrière et plus légère à l'avant. Pour une accélération de 0,5 fois l'accélération de la pesanteur, ce phénomène de transfert de charge peut dépasser 100 kilogrammes.

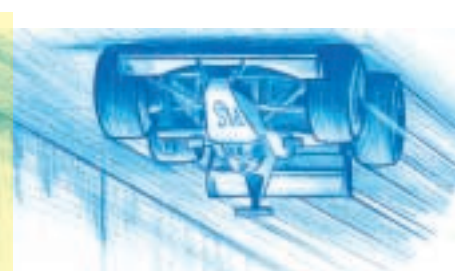
Lors du freinage, le transfert de charge est inversé : c'est l'avant qui est surchargé par rapport à l'arrière. De même, une voiture qui vire subit une force centrifuge dont le couple surcharge les roues extérieures et allège les roues intérieures.

Au final, en démarrant, une voiture allège son train avant et surcharge son train arrière. Si les roues arrière sont motrices, cette surcharge augmente leur seuil de glissement ce qui permet de leur faire subir un couple élevé et de poursuivre l'accélération. Si, à l'inverse, les roues avant sont motrices, l'allègement de l'avant limite le couple que l'on peut exercer sur les roues sans les faire glisser. On comprend ainsi le danger d'une mauvaise répartition de la charge d'une voiture. Un coffre trop plein charge excessivement le train arrière au détriment du train avant, d'où un plus grand risque de glissement du train avant.

LES APPUIS AÉRODYNAMIQUES

Comment améliorer la tenue de route ? En utilisant les mêmes principes physiques que ceux qui régissent le vol des avions. Dans un fluide qui s'écoule autour d'un objet, la pression est d'autant plus grande que la vitesse est faible. L'objet subit donc une force qui le pousse vers les zones de fluide rapide. Une aile d'avion est dessinée de sorte que l'air circule plus rapidement au-dessus qu'en dessous, d'où une force, la portance, dirigée vers le haut et qui maintient l'avion en l'air.

Pour une voiture de course, la géométrie inverse cette caractéristique : l'air qui circule sous la voiture est le plus rapide. La force engendrée, proportionnelle au



carré de la vitesse, plaque la voiture au sol et augmente ainsi la force de réaction verticale du sol sur les pneus. La tenue de route est meilleure, car le seuil de glissement est supérieur. L'adjonction d'ailerons améliore encore les performances du dispositif : elle autorise des accélérations et des freinages inconcevables avec des voitures de tourisme. Pour une *Formule 1*, cette force est supérieure au poids de la voiture dès que sa vitesse dépasse 200 kilomètres par heure : une telle voiture pourrait rouler à l'envers sur le plafond d'un tunnel !

Toutefois, afin de maintenir sa vitesse, il faut vaincre les frottements aérodynamiques, ou force de traînée, qui ralentissent le véhicule. Or, cette force est elle aussi proportionnelle au carré de la vitesse. La puissance à dépenser pour maintenir une vitesse constante, égale au produit de la force de traînée par la vitesse, est proportionnelle au cube de la vitesse. Il est donc très coûteux en énergie de rouler rapidement, ce qui explique la puissante motorisation des *F1* : huit fois plus puissantes que les voitures de tourisme, elles ne vont que deux fois plus vite.

La force de traînée est aussi proportionnelle à un coefficient, le C_x , qui dépend de la géométrie du véhicule. Les voitures de tourisme ont un C_x qui varie de 0,3 à 0,5 alors que les *F1* ont un C_x «de cathédrale», voisin de 1, notamment par la présence des ailerons. Ainsi, le simple fait de lâcher l'accélérateur sur une *F1* donne une décélération aérodynamique de 0,7 fois l'accélération de la pesanteur, aussi brusque qu'un freinage d'urgence sur une voiture de tourisme. On comprend mieux l'inconvénient d'un chargement sur le toit de son véhicule : il augmente considérablement les frottements aérodynamiques et, par suite, la consommation d'essence du véhicule.

Roland LEHOUCQ est astrophysicien au Service d'astrophysique du CEA.

Merci à David FIGLARSKI, moniteur à l'école *Sécurité Conduire Juste J.-P. Beltoise* et à l'école *Pilotage Passion*.

B. BECKMAN, *The physics of racing*, <http://members.home.net/rck/phor/>

