



1

**Adhérence du couple
pneumatique/chaussée**

Rôle du pneumatique dans le phénomène d'adhérence

Joël FOUCARD

Manufacture française des pneumatiques MICHELIN

RÉSUMÉ

Le pneumatique est un produit de haute technologie qui doit répondre à des exigences fortes et diverses en terme de performance. Les fonctions, la constitution et les contraintes du cahier des charges de conception d'un pneumatique sont d'abord présentés.

Les principes de génération des efforts au contact pneumatique/chaussée dans le sens transversal et longitudinal, ainsi qu'en sollicitation mixte, sont détaillés. Les mécanismes physiques mis en œuvre dans la zone de contact entre les éléments de sculpture du pneumatique et les irrégularités géométriques de la chaussée sont décrits. La condition d'utilisation du potentiel d'adhérence maximal en freinage grâce aux systèmes antibloquants est présentée.

Enfin, l'effet d'éléments de conception sur les principales propriétés d'usage (adhérence sur sol sec, sol mouillé à différents niveaux de texture et sol inondé, bruit, comportement routier, usure et consommation) est traité. Les oppositions qui se manifestent aujourd'hui sur les choix de conception rendent nécessaire une pondération des performances en accord avec chaque segment véhiculaire visé. Elles sont aussi l'objet d'intenses travaux de recherche qui préparent le pneumatique de demain.

DOMAINE : Route.

ABSTRACT

ROLE OF TIRES IN THE SKID RESISTANCE PHENOMENON

Vehicle tires are a product of advanced technology that must meet stringent and varied requirements in terms of performance. The functions, composition and constraints included in the design specifications for tire fabrication will be presented first.

In this article, the principles behind the generation of tire/pavement contact stresses in both transversal and longitudinal directions, as well as in a mixed-loading mode will be highlighted. The physical mechanisms introduced throughout the contact zone between tire contour elements and geometrical irregularities of the pavement will be described. The conditions under which the maximum skid resistance potential is utilized during braking, thanks to antilock brake systems, is also discussed.

Moreover, the effects of design elements on the primary use properties (skid resistance on dry ground, on wet ground with various levels of texture, and on flooded ground, noise, road-related behavior, wear and consumption) will all be addressed. The alternatives now available in the choice of design options have made it necessary to weigh performance with respect to each targeted vehicle market segment. This approach is being researched in depth as part of the effort to design the tire of the future.

FIELD: Roads.

11

INTRODUCTION

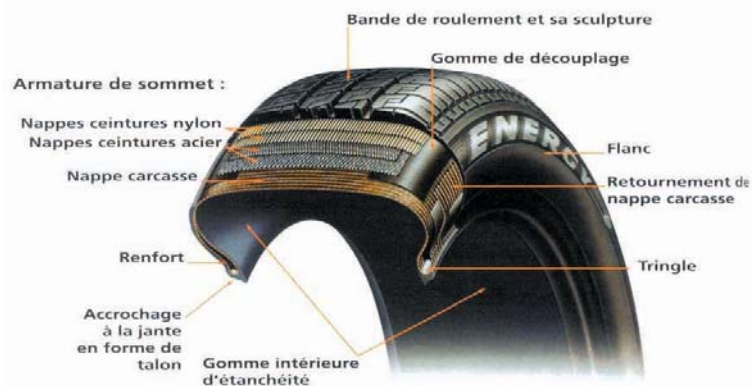
Les fonctions et la structure du pneumatique

Porter la charge du véhicule [**Endurance**], transmettre les efforts moteurs et freineurs [**Adhérence**], guider latéralement le véhicule [**Comportement routier**] sont les fonctions de base du pneumatique.

Ces trois fonctions sont à compléter par les aptitudes du pneumatique à filtrer les irrégularités du sol [**Bruit et confort**], rouler avec peu d'effort et peu d'échauffement jusqu'à des vitesses élevées [**Consommation de carburant et rejet de CO₂ associé**] et conserver durablement ses qualités [**Usure**].

La structure radiale du pneumatique est constituée d'une carcasse textile très souple verticalement afin de permettre un contact optimal – à pression uniforme – du pneumatique sur le sol, et d'une ceinture métallique très raide longitudinalement et transversalement, qui permet d'engendrer des efforts longitudinaux et transversaux aussi élevés que possible pour les fonctions de transmission et de guidage. La zone basse, constituée d'une tringle et d'un talon, permet d'assurer le montage de l'enveloppe sur la jante, et l'étanchéité est assurée par une gomme intérieure très imperméable à l'air. Les raideurs d'ensemble ainsi assurées par l'architecture et la pression interne permettent de définir la fonction de transfert adéquate entre le profil de la chaussée et le centre-roue (Fig. 1).

□ **Figure 1**
Description du pneumatique.



Le cahier des charges multi-performances

Le manufacturier de pneumatiques cible la conception de son produit dans le respect des points fondamentaux suivants :

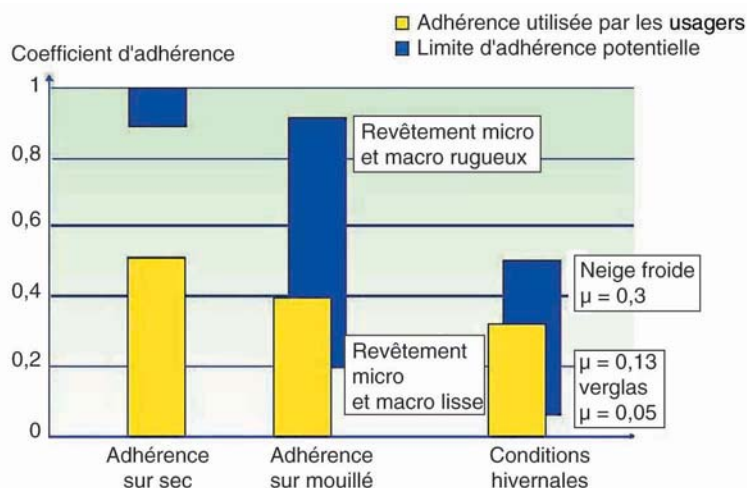
- obtenir le niveau de performance maximal à l'intérieur de compromis variables selon le segment de véhicules concerné (économique, confort, sport, super-sport, etc.) et le segment d'usage prévu (été, hiver, polyvalent, glace, hors la route, etc.) ;
- garantir la sécurité d'utilisation en endurance, adhérence et comportement routier dans les circonstances les plus sévères (charge, vitesse, température, etc.) ;
- accorder une importance particulière à la longévité (durée de vie par rapport à l'usure), la résistance au roulement (consommation d'énergie non renouvelable et émission de CO₂) et la contribution au bruit du véhicule en usage urbain et péri-urbain.

Le client constructeur automobile recherche la meilleure mise en valeur possible de son véhicule et, à cet effet, définit des exigences particulières sur les performances : confort, bruit intérieur du véhicule, comportement routier. Les normes et règlements existants privilégient la sécurité. Ils définissent des tests de réception endurance pour la plupart réalisés sur machine. Le législateur a vu s'ouvrir récemment à d'autres domaines des normes et des réglementations qui sont en cours de préparation ou en projet, pour le bruit extérieur, la distance de freinage sur sol mouillé et la résistance au roulement.

L'adhérence

Le contact gomme/chaussée doit assurer l'adhérence nécessaire à la motricité, le freinage et la tenue latérale du véhicule dans des conditions très diverses de vitesse, température de sol, conditions météorologiques. La figure 2 compare l'adhérence mobilisable par l'interaction pneumatique/chaus-

□ **Figure 2**
Adhérence mobilisable et adhérence utilisée par les usagers.



sée et l'adhérence utilisée par les usagers en conditions courantes. Sur route sèche, une marge d'adhérence importante est disponible pour faire face à une manœuvre d'urgence. Il en va autrement sur route mouillée ou sur route hivernale en raison principalement d'une très grande variabilité de l'adhérence mobilisable dans ces conditions. La variabilité de l'adhérence mobilisable sur sol mouillé dépasse de loin les écarts possibles entre produits pneumatiques sur un même sol. Nous nous attacherons par la suite à décrire les interactions entre pneumatique et chaussée dans le mécanisme d'adhérence.

LES ACTEURS DE L'ADHÉRENCE

Génération des efforts de contact pneumatique/chaussée

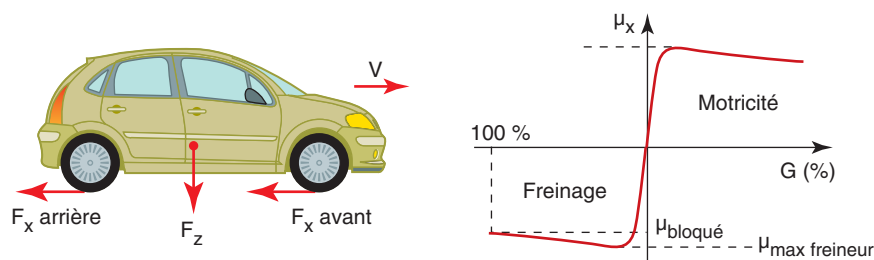
Dans le sens longitudinal

Pour chaque pneumatique du véhicule, soit F_Z la charge verticale, F_X l'effort tangentiel dans la direction longitudinale, et $G\%$ le glissement relatif défini sur la figure 3. Le coefficient d'adhérence μ_x à l'échelle du pneu est égal à $F_X/F_Z = f(G\%)$ et varie comme représenté sur la figure 3. La valeur maximale de $\mu_x(G\%)$, ainsi que le glissement correspondant, dépendent fortement de l'état de la chaussée (sec, mouillé, inondé, glace, neige), de sa texture et de la température. Il dépend aussi de la vitesse.

À chaque niveau de glissement $G\%$, l'effort F_X global est la somme des efforts tangentiels locaux dans l'aire de contact. Leur distribution est le résultat de la cinématique de passage de la bande de roulement dans l'aire de contact : la gomme entre en contact avec le sol et se comprime, se met progressivement en cisaillement, puis se met à glisser si le potentiel de frottement (μ_{local}) est atteint. La figure 4 donne une représentation simplifiée de ces mécanismes.

Dans le sens transversal

Pour chaque pneumatique du véhicule, soit F_Z la charge verticale, F_Y l'effort tangentiel dans la direction transversale, et α l'angle de dérive du pneumatique par rapport à la trajectoire, défini sur la figure 5. Le coefficient d'adhérence μ_Y à l'échelle du pneu est égal à $F_Y/F_Z = f(\alpha)$ et varie comme représenté sur la figure 5. La valeur maximale de $\mu_Y(\alpha)$ dépend fortement de l'état de la chaussée (sec, mouillé, inondé, glace, neige) de sa texture et de la température. Il dépend aussi de la vitesse.

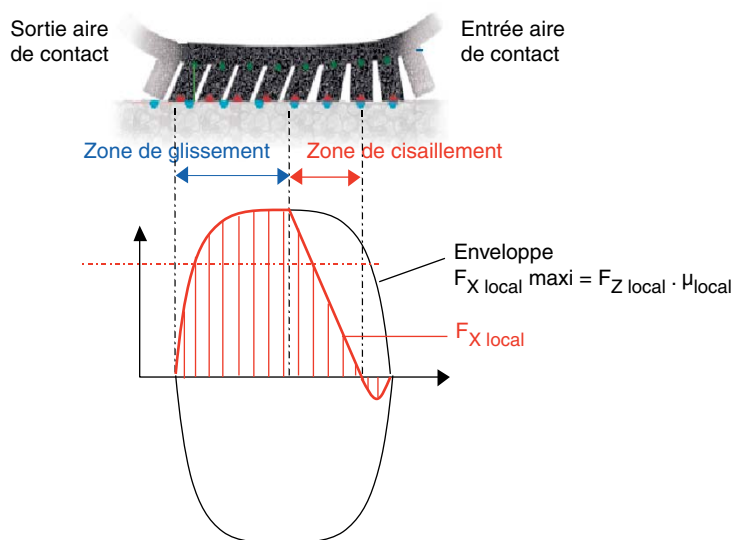


$$G (\%) = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} (\times 100) \quad \begin{array}{l} \omega : \text{vitesse rotation roue} \\ \omega_0 : \text{vitesse rotation sans couple moteur / freineur} \end{array}$$

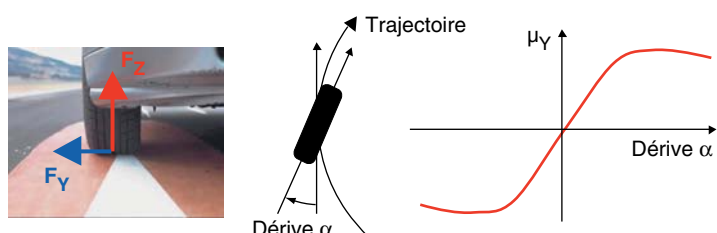
□ **Figure 3**

Courbes de performance longitudinale.

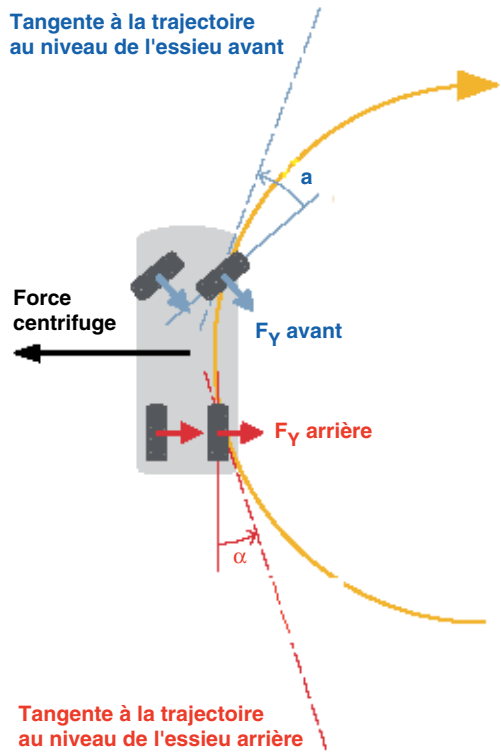
* Noté aussi κ (ISO).



□ **Figure 4**
Cisaillement/glissement dans l'aire de contact en condition de freinage.



□ **Figure 5**
Sollicitation transversale et trajectoire.



□ **Figure 6**
Adhérence en sollicitation transversale.

Pour une bonne analyse de la fonction guidage et de ses conséquences sur le comportement routier, il faut comprendre que l'écart plan de roue/trajectoire véhicule concerne aussi bien l'essieu arrière que l'essieu avant, comme l'illustre la figure 6. Cette mise en dérive sur les essieux avant et arrière permet de générer les efforts latéraux qui s'opposent à la force centrifuge et assurent l'équilibre du véhicule.

À chaque valeur de dérive α , l'effort F_Y global est la somme des efforts tangentiels locaux dans l'aire de contact. Leur distribution est le résultat de la cinématique de passage de la bande de roulement dans l'aire de contact. L'armature métallique qui supporte la bande de roulement est peu déformable et n'est pas tangente à la trajectoire. Il s'ensuit une mise en cisaillement progressive de la bande de roulement depuis l'entrée dans l'aire de contact jusqu'à une abscisse où le potentiel de frottement local est éventuellement atteint. Dans ce cas, il y a alors glissement de la gomme sur le sol depuis cette abscisse jusqu'à la sortie de l'aire de contact. La figure 7 donne une représentation simplifiée de ces mécanismes.

En mode mixte

On a mis en évidence ci-dessus des valeurs maximales d'efforts longitudinaux et transversaux pilotés respectivement par le glissement longitudinal résultant d'une action sur la pédale de frein ou la pédale d'accélération et par les angles de dérive des roues résultant d'une action sur le volant. Dans les cas d'actions simultanées sur ces commandes, le potentiel maximal d'adhérence est le résultat d'une combinaison quadratique (Fig. 8).

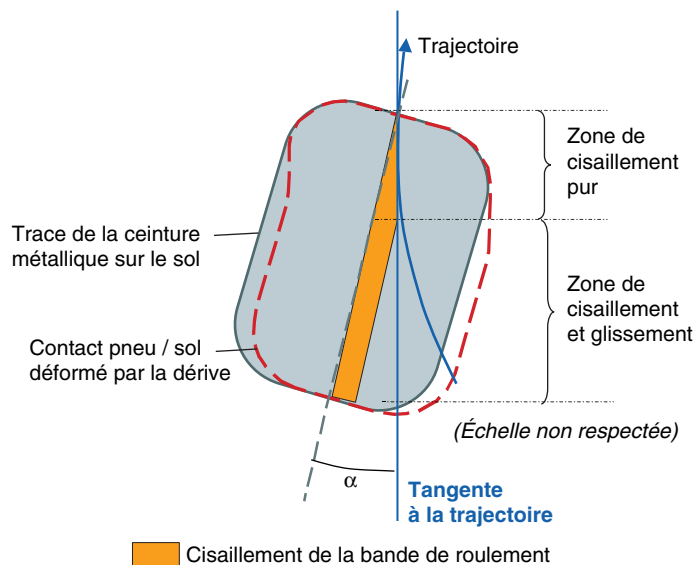


Figure 7
Cisaillement/glissement dans l'aire de contact en condition de dérive.

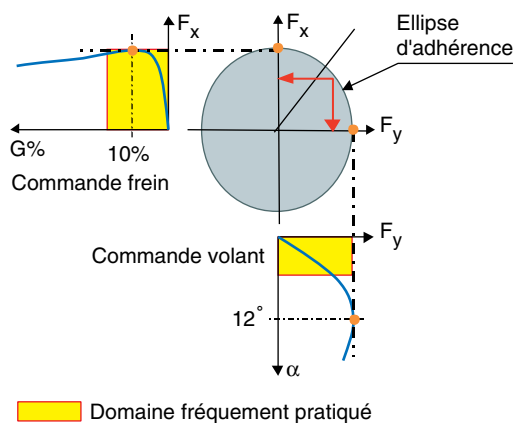


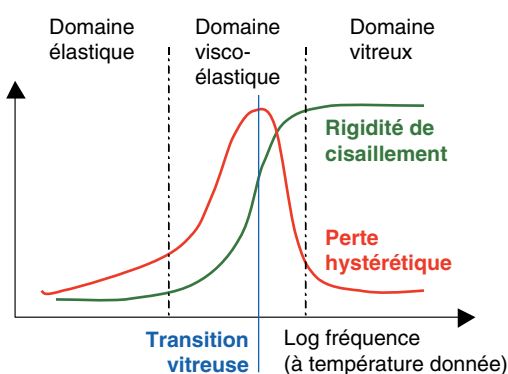
Figure 8
Couplage en sollicitation mixte.

Compte tenu des domaines de commandes usuellement pratiquées, les efforts requis par le guidage du véhicule (efforts transversaux) laisseront disponible un potentiel significatif pour le freinage ou la motricité (efforts longitudinaux). En revanche, un freinage prononcé laissera peu de potentiel à une demande d'effort transversal.

LA BANDE DE ROULEMENT : UNE STRUCTURE VISCOÉLASTIQUE

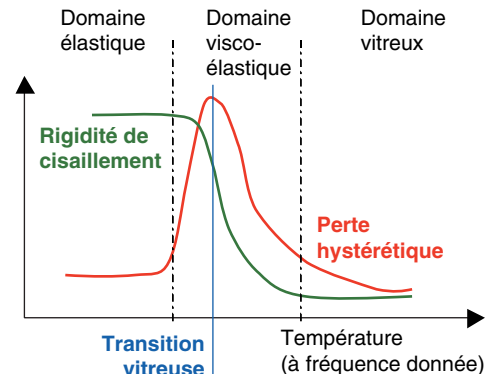
La gomme est un matériau viscoélastique. L'origine de cette propriété vient du désenchevêtrement des chaînes élastomériques et des couplages entre charges (noir de carbone, silice, etc.) et élastomères lors de la déformation de la gomme. Ces propriétés viscoélastiques sont plus ou moins fortes selon la formulation du mélange (types de polymères, charges renforçantes, etc.) et sa vulcanisation (quantité de ponts de soufre, etc.). Elles ont deux conséquences : le déphasage entre contraintes et déformations (hystérèse) et la dissipation (Fig. 9a).

Par ailleurs, on observe une équivalence entre les effets d'une augmentation de la température et ceux d'une diminution de la fréquence (loi William Landel Ferry) (Fig. 9b). Au-dessous d'une température appelée température de transition vitreuse, le module de la gomme augmente brutalement. De même, au-delà d'une certaine fréquence, le module augmente brutalement. La baisse de la température comme l'augmentation de la fréquence se traduisent par une mobilité réduite des chaînes élastomériques.



□ **Figure 9a**

Module de rigidité et déphasage entre contrainte et déformation selon la fréquence d'excitation à une température donnée.



□ **Figure 9b**

Module de rigidité et déphasage entre contrainte et déformation selon la température à une fréquence d'excitation donnée (illustration de l'équivalence température/fréquence).

La chaussée : un exciteur multi échelle

La topologie de la chaussée est un résultat de son mode d'élaboration (provenance des agrégats, arrangement relatif des agrégats les uns par rapport aux autres, liant) et de son usage (polissage par usure, pollutions diverses). Pour la compréhension des mécanismes d'adhérence, la description de la chaussée est nécessaire sur des échelles allant du détail de sculpture de la bande de roulement (cm) à la limite d'homogénéité de la gomme (10 nm). Soit un ensemble pneumatique de développement égal à 2 m roulant à 100 km/h, et $G\%$ le glissement relatif par rapport à la chaussée ($G\% = 0$: roue libre, pas de glissement ; $G\% = 100$: roue bloquée, glissement total). Les fréquences d'excitation de la gomme sont indiquées sur la figure 10.

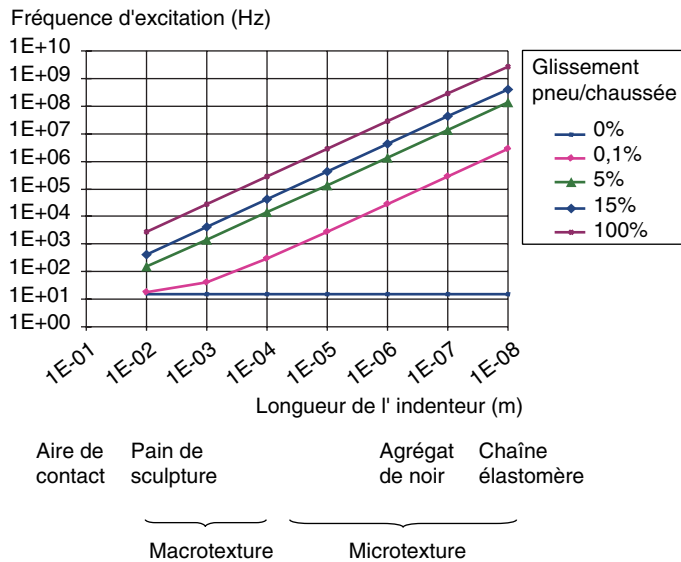


Figure 10

Fréquence d'excitation de la gomme en fonction des longueurs d'indenteurs. On constate que dès les valeurs de glissement les plus minimes, des excitations se manifestent sur une large plage de fréquence. La gomme y répond par une dissipation d'énergie.

LES MÉCANISMES DE L'ADHÉRENCE

L'indentation sur une surface sèche

Une dissipation d'énergie est créée lors du glissement de la gomme sur un « indenteur », et cela à toutes les échelles de la texture du sol, comme représenté sur la figure 11. Cela est vrai pour les plus gros indenteurs de largeur 1 cm (et de hauteur environ 1 mm), qui sollicitent la gomme en profondeur à basse fréquence (environ 10^3 Hz pour un glissement de 10 %). Cela est encore le cas pour de petits indenteurs de largeur $1 \mu\text{m}$ (et de hauteur environ $0,1 \mu\text{m}$) qui sollicitent la gomme en surface à haute fréquence (environ 10^7 Hz pour un glissement de 10 %). L'énergie dissipée lors d'un glissement de la gomme sur le sol est donc le résultat d'un spectre de dissipation viscoélastique du matériau répondant à un spectre d'excitation du sol.

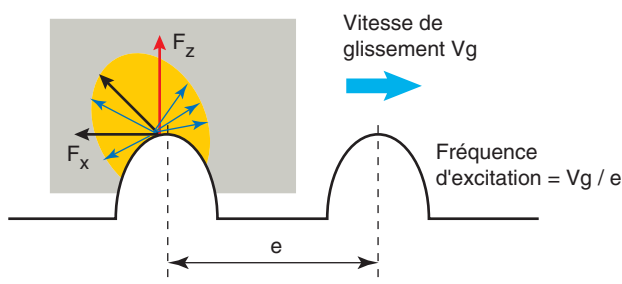


Figure 11

Fréquence d'excitation sur les indenteurs en fonction de la vitesse de glissement. Le chargement est vertical, mais une composante tangentielle de la réaction de la chaussée apparaît en raison des mécanismes viscoélastiques de la gomme. C'est cette asymétrie qui crée l'effort de freinage.

L'adhésion sur une surface sèche

Les forces d'interactions moléculaires sont à l'origine d'efforts tangentiels de contact et d'une augmentation de la surface de contact par une attraction très locale de la gomme. Ces mécanismes interviennent sur les échelles de texture du sol les plus petites : longueurs d'indenteurs comprises entre $1 \mu\text{m}$ et 10 nm et fréquences d'excitation entre 10^7 et 10^9 Hz.

La contribution de ces forces d'adhésion à la capacité globale d'adhérence du pneumatique est plus ou moins forte selon la gamme de produit, le point de fonctionnement thermique, la propreté et l'énergie de surface du sol.

L'élastohydrodynamique sur une surface mouillée

Phénomène d'aquaplanage

Ce phénomène résulte d'efforts hydrodynamiques. En présence de fortes épaisseurs d'eau, il y a mise en pression de l'eau par le pneu et réalisation d'un drainage par les sillons des sculptures et de la chaussée. Au-delà d'une certaine vitesse, le poids du véhicule transmis au contact pneumatique/sol est insuffisant pour faire face à la poussée hydrodynamique en amont du contact ; le pneumatique, soulevé par l'eau est alors en aquaplanage (Fig. 12) et ne peut plus engendrer d'effort de freinage significatif. À dimensions du pneumatique données et pression de gonflage donnée, la vitesse d'aquaplanage sera augmentée en entaillant la bande de roulement du pneumatique longitudinalement et transversalement par des sillons d'évacuation. La drainabilité de la chaussée et le respect des dévers sont des facteurs essentiels de réduction de l'aquaplanage puisqu'ils limitent les risques d'apparition de fortes hauteurs d'eau.

Phénomène de viscoplanage

Ce phénomène résulte de cisaillements visqueux. Lors du passage d'un véhicule à 100 km/h, un point du sol voit passer l'aire de contact du pneumatique en 0,004 seconde. Dans le cas très académique d'une surface parfaitement lisse, et à l'intérieur de ce laps de temps, la viscosité de l'eau met en œuvre des efforts de cisaillement qui empêchent le film d'eau de descendre au-dessous de 2 à 3 µm. L'équation d'amincissement du film d'eau (Fig. 13) montre effectivement une décroissance asymptotique vers zéro de son épaisseur.

Le palliatif consiste à rompre le film d'eau par les microrugosités de la chaussée (longueur d'onde de 10 à 200 µm ; hauteur de 1 à 20 µm ; Fig. 14) et les lamelles présentes dans la bande de roulement du pneumatique qui permettent à la fois une surpression aux arêtes et la constitution d'un réservoir à proximité immédiate de l'eau à évacuer (Fig. 15). Le pneumatique sera alors par endroits au contact du revêtement de chaussée, et sur les sites encore mouillés l'épaisseur de film pourra descendre à de très faibles valeurs. La figure 15 illustre par ailleurs le fait que l'eau piégée dans les lamelles est expulsée vers le creux de sculptures.

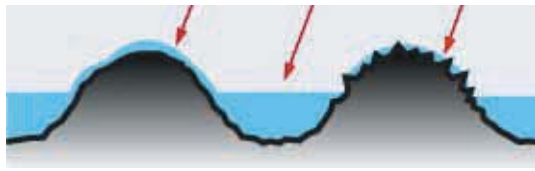
□ **Figure 12**
Situation d'aquaplanage.



□ **Figure 13**
Hauteur d'eau finale en fonction de la hauteur d'eau initiale et de la durée d'écrasement.

$$t = K \times \frac{\eta}{p} \times \frac{S}{h_f^2} \times \left[1 - \left(\frac{h_f}{h_i} \right)^2 \right]$$

h_f : hauteur finale
 h_i : hauteur initiale
 S : surface
 p : pression
 η : viscosité du fluide



□ **Figure 14**
Rupture du film d'eau par les microrugosités



□ **Figure 15**
Contribution des lamelles

Il existe également un régime de **lubrification mixte**. À mesure que les « pics » du domaine de la microtexture percent le film d'eau, un « démoillage » d'ensemble des surfaces s'effectue. Sa rapidité (et donc son efficacité compte tenu de la vitesse de transit dans l'aire de contact) dépend des propriétés de la gomme et des caractéristiques géométriques du sol, mais aussi des énergies de surface en contact et de la viscosité du lubrifiant.

Sur les indenteurs encore couverts d'eau, les mécanismes d'indentation peuvent se manifester tant que l'épaisseur du film d'eau est négligeable par rapport à la hauteur de l'indenteur.

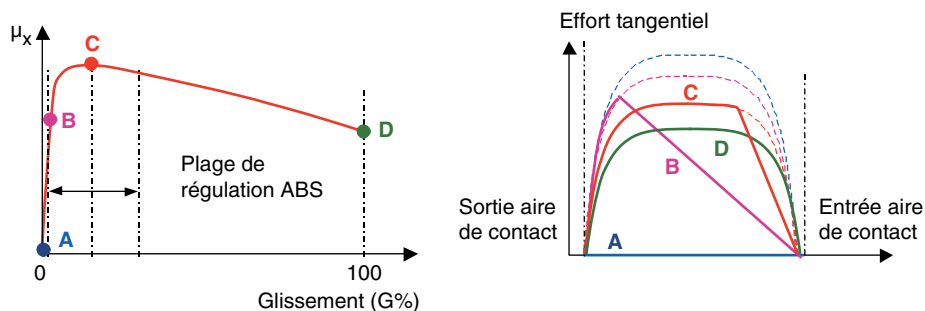
Sur les « îlots » découverts, toutes les échelles d'indentation se manifestent, y compris celles qui peuvent mettre en œuvre les mécanismes d'adhésion.

Utilisation du potentiel d'adhérence maximal en freinage

Sur sol sec

L'introduction d'un système électronique d'aide au freinage (ABS : Antilock Braking System) est justifié par l'existence d'un maximum dans la courbe $\mu = f(G \%)$. En utilisant les notions développées plus haut et en négligeant les déformations de mise à plat, on peut représenter les efforts tangentiels dans l'aire de contact pour 4 points caractéristiques de la courbe $\mu(G \%)$ (Fig. 16).

Le schéma de gauche de la figure 16 précise les quatre points A, B, C et D sur la courbe $\mu(G)$, et le schéma de droite présente la distribution correspondante des efforts tangentiels dans l'aire de contact.



□ **Figure 16**
Courbe μ_x en fonction du taux de glissement et efforts tangentiels développés.

Entre les points A et B de la courbe $\mu(G\%)$, l'effort exercé par la chaussée sur le pneumatique en conséquence de la différence de vitesse roue/chaussée conduit à une mise en cisaillement de la gomme entre l'entrée et la sortie de l'aire de contact jusqu'à un moment où le glissement gomme/sol se produit. En C, environ 85 % de l'aire de contact est en glissement, et la longueur de glissement reste modérée, de l'ordre de 10 mm pour un véhicule roulant à 100 km/h et un taux de glissement de 10 %. Le trajet de la gomme en dehors de l'aire de contact est suffisant pour opérer un refroidissement efficace entre deux passages consécutifs au contact du sol. Le point D correspond à un freinage roue bloquée. La totalité de la surface de contact est en glissement et la longueur glissée est la longueur totale de freinage, soit plusieurs dizaines de mètres. L'énergie dissipée dans le contact fait alors monter la température de surface à des niveaux très élevés qui pénalisent la capacité d'adhérence. C'est la raison pour laquelle la courbe $\mu(G)$ présente un maximum.

Le système ABS visera donc à faire fonctionner le pneumatique autour du point C, pour engendrer des glissements dans une portion importante de l'aire de contact permettant de solliciter l'hystérèse de la gomme sans pour autant atteindre des niveaux thermiques pénalisants. Le domaine de glissement classiquement programmé dans les systèmes ABS est de 7 à 12 %.

Sur sol mouillé

Comme sur sol sec, la courbe $\mu(G\%)$ sur sol mouillé présente un maximum puis une décroissance. La valeur du glissement $G\%$ correspondant au maximum de μ varie très sensiblement en fonction de la texture du sol : de 7 à 12 % pour un revêtement à fortes macrotexture et microtexture, jusqu'à 30 ou 50 % pour un revêtement à faibles macrotexture et microtexture. Parmi les multiples mécanismes qui expliquent la forme de cette courbe, on peut citer l'augmentation des efforts de portance hydrodynamiques avec la réduction de la vitesse de rotation de la roue, l'évolution du spectre d'excitation de la gomme et le démouillage dans la partie cisailée.

LA CONCEPTION PRODUIT

20

La gomme de la bande de roulement est bien sûr un acteur essentiel de l'adhérence : son hystérèse et son module de rigidité, fonction des fréquences d'excitation, pilotent l'énergie dissipée pendant un freinage. Il est clair, d'après ce qui précède, que la conception optimale de la gomme dépend de la géométrie du sol, de sa température et de sa condition sec/mouillé.

La sculpture de la bande de roulement est l'autre acteur essentiel : ses sillons longitudinaux, transversaux ou obliques selon les solutions, permettent l'évacuation de l'eau pour lutter contre l'aquaplanage, et ses lamelles repoussent le risque de viscoplanage en favorisant la rupture du film d'eau. Par ailleurs, la déformation de la sculpture imposant les points de fonctionnement de la gomme en contraintes, déformations et température, ces deux éléments clés du produit ne peuvent être conçus indépendamment l'un de l'autre. La conception du couple gomme-sculpture est un processus global.

L'architecture du pneumatique est optimisée pour obtenir les cartes de pressions verticales homogènes propices à l'adhérence et à l'usure. Dans le respect de cette contrainte, une forme arrondie de l'aire de contact permet de diminuer les risques d'aquaplanage par un effet d'étrave propice à l'évacuation latérale de l'eau.

La figure 17 présente, sous la forme d'un tableau, à l'ordre 1, quelques-uns des antagonismes interperformances bien connus actuellement dans le cas d'un pneumatique destiné à la polyvalence été-hiver. On perçoit le rôle significatif de la gomme dans l'équilibre adhérence sur sol mouillé/durée de vie sur usure, et le rôle significatif de la sculpture dans les équilibres aquaplanage/durée de vie sur usure et adhérence sol sec/adhérence sol mouillé à basse adhérence. Les efforts de recherche du manufacturier visent bien sûr à innover et à mettre au point les produits nouveaux qui briseront ces conflits de conception.

Il n'y a pas de façon unique de concevoir un pneumatique. Les grands choix sont liés aux caractéristiques du segment véhicule à équiper (poids, puissance, vitesse, dimensions des pneumatiques) dans le respect des contraintes de sécurité sur toutes les routes du monde où l'utilisation de ce pneumatique est prévue. La connaissance des chaussées, de la météorologie, des conditions accidentogènes dans les pays clés est évidemment aussi un élément fondamental dans les choix de conception.

	Adhérence					Bruit		Usure	Consommation	
	Sec	Mouillé sol macro-rugueux		Hydroplanage	Neige	Glace	Intérieur			Extérieur
		$\mu > 0,7$	$\mu < 0,5$							
Augmenter le taux d'entaillage de la sculpture	Effet négatif			Effet positif	Effet positif	Effet négatif	Effet négatif	Effet négatif		
Augmenter le nombre de motifs de la sculpture	Effet négatif	Effet négatif	Effet positif		Effet positif					
Augmenter le taux de lamellisation de la sculpture	Effet négatif		Effet positif			Effet positif				
Augmenter la température de transition vitreuse du mélange à l'intérieur de la plage usuelle		Effet positif	Effet positif		Effet négatif	Effet négatif		Effet négatif	Effet négatif	

□ **Figure 17**
Effets des éléments de conception sur les propriétés d'usage des pneumatiques.

LA CHAUSSEE

Les caractéristiques clés de la chaussée pour l'adhérence, vues plus haut, sont :

- la macrotecture, principalement pour repousser les phénomènes d'aquaplanage et de viscoplanage ;
- la microtexture, principalement pour percer le film d'eau, participer au mécanisme d'indentation et permettre le mécanisme d'adhésion. La microtexture est évolutive : cela a peu d'impact sur le freinage en condition sèche, mais peut altérer le freinage en condition mouillée de façon très importante.

On trouvera des tronçons de chaussée usés sur des zones de fort appui ou de fort freinage : courbes et circuit urbain.

La texture peut aussi être momentanément masquée par des pollutions jusqu'à des niveaux élevés de texture. La conséquence en est une altération importante du potentiel d'adhérence, voire une élévation du risque de viscoplanage. Parmi les effets connus, on peut citer : les premières pluies après une longue période de sécheresse, les dépôts de gazole sur les ronds-points et les bretelles d'auto-route, les dépôts de gomme aux feux rouges, etc.

Tout revêtement routier neuf présente un coefficient de frottement sur sol mouillé de l'ordre de 0,8 à 1, et voit celui-ci progressivement baisser jusqu'à 0,5 à 0,7 avec l'usure liée au trafic routier. Tout revêtement est également susceptible d'être soumis à des pollutions diverses plus ou moins locales. Sur les sols les plus usés, l'apparition du mécanisme de viscoplanage, lié à la pollution, conduit à des niveaux de coefficient de frottement pouvant atteindre 0,3.

CONCLUSION

La contribution à la sécurité automobile est une préoccupation permanente du manufacturier de pneumatiques. La grande variété de surface de chaussée présente sur le réseau routier est la cause principale de la disparité observée des potentiels d'adhérence sur sol mouillé. Dans un tel contexte, développer des pneumatiques permettant d'améliorer l'adhérence longitudinale et transversale dans les conditions de sol les plus défavorables revêt une importance capitale pour faire progresser la sécurité routière.

Le développement durable est un autre axe de progrès fort. La gestion raisonnable des énergies renouvelables, la lutte contre l'effet de serre et le bien-être des riverains exigent des progrès forts dans les domaines de la durée de vie, la part d'émission de CO₂ du véhicule liée à la résistance au roulement du pneumatique et la part du bruit de roulement lié au pneumatique.

Le progrès simultané sur ces deux axes représente un vrai défi technique que les recherches sur les matériaux, les sculptures et les architectures permettront au manufacturier de relever.