

LE PNEUMATIQUE ET LA ROUTE, UN COUPLE SECLAIRE.

Christophe Laprais,
Directeur Qualité du Centre de Technologies et des Normes et Règlements du
Groupe Michelin
Christophe.Laprais@fr.michelin.com

RESUME

L'histoire montre les avancées conjointes réalisées par le pneumatique, le véhicule et la route au fil du temps au bénéfice des automobilistes dont les besoins n'ont cessé d'évoluer.

Dans une première période, c'est la recherche du confort et de la vitesse qui ont prédominé. Progressivement, s'y est ajouté le besoin d'autonomie, c'est-à-dire le souhait des automobilistes de ne plus dépendre d'un mécanicien ou d'un réparateur.

De nombreuses innovations ont ainsi offert la possibilité de démonter facilement le pneu, de réduire les risques de crevaisons ou de pertes de pression ou de limiter les cahots. Les progrès en matière de robustesse et de longévité des pneus ont permis ensuite d'accompagner la diffusion de l'automobile. Mais c'est surtout la carcasse radiale qui a par la suite apporté un élément radical de progrès.

Aujourd'hui, l'environnement qui constitue une demande très forte de la société vient s'ajouter aux demandes en matière de durabilité, de confort, de vitesse, de sécurité et d'endurance. C'est donc au travers d'un « développement durable » du pneu que se dessine l'avenir conjoint de la route et de l'automobile.

INTRODUCTION

Le pneumatique a fait irruption dans l'histoire des techniques à peu près en même temps qu'une des grandes inventions de la fin du XIXème siècle, à savoir l'automobile. Ce n'est pas tout à fait un hasard comme on le verra plus loin.

Cet exposé comportera un parallèle entre l'évolution de l'automobile et celle du pneumatique et montrera combien l'industrie du pneumatique en général et Michelin en particulier ont, non seulement été à l'écoute des automobilistes mais ont bien souvent anticipé leurs besoins. En effet, la vision de Michelin n'est pas celle du seul pneumatique et de sa liaison avec la route et le véhicule mais celle de la mobilité d'une façon plus générale.

TOUT COMMENCE DANS LA FORET VIERGE

Si l'automobile doit beaucoup à la convergence du transport hippomobile et de la mécanique, le pneu doit beaucoup à... Christophe Colomb. En effet, les Indes Occidentales que nous appelons maintenant l'Amérique nous ont non seulement apporté le tabac, le chocolat, la tomate ou la pomme de terre mais nous ont fait

également découvrir *l'hévéa brasiliensis* plus communément appelé « arbre à caoutchouc »¹.

C'est le naturaliste français Charles de la Condamine qui a fait connaître cet arbre et sa sève et c'est par un cheminement scientifique progressif que l'on est passé d'abord par la possibilité de dissoudre le caoutchouc dans la térébenthine ou l'éther puis par sa plastification pour aboutir au début du XIXème siècle aux techniques de l'imperméabilisation puis à la vulcanisation mise au point en 1839 par Charles Goodyear², techniques qui donnent à la gomme des propriétés élastiques. La vulcanisation résulte de l'action de la chaleur sur un mélange de soufre et de caoutchouc, et son nom rappelle d'ailleurs nos volcans d'Auvergne.

Tout était donc en place au milieu du XIXème siècle pour que les usages du caoutchouc se multiplient.

Vers 1835, Charles Dietz garnit les jantes de son tracteur à vapeur de bandes de liège puis de bandes de caoutchouc³. Le bandage de caoutchouc plein est né. Ce bandage présente deux qualités : sa simplicité et la robustesse obtenue grâce à la vulcanisation. Mais le bandage comporte également deux défauts qui s'avèreront inacceptables lorsque les véhicules présenteront des exigences de vitesse et de confort : son poids et sa faible flexibilité. A la fin du XIXe siècle, les automobilistes sont encore peu nombreux, ne vont ni très vite (35 km/h) ni très loin mais les bandages pleins très inconfortables s'avèrent ravageurs pour les mécaniques : tout se déboulonne et finit pas casser.

Mais comment obtenir la flexibilité de la part de ce matériau élastique qui entoure la roue ? La réponse a en fait été trouvée dès 1845 par l'ingénieur Robert W Thomson qui a inventé le premier pneumatique digne de ce nom⁴ en combinant l'élasticité du caoutchouc servant d'enveloppe externe et celle de l'air emprisonné dans plusieurs chambres à air en caoutchouc⁵.

¹ Dès l'origine, le caoutchouc a été considéré comme un matériau mythique, sacré, omniprésent dans les religions précolombiennes d'Amérique centrale. Les Olmèques d'abord, dont le nom signifie: « hommes du caoutchouc », puis les Mayas et les Aztèques reconnaissent en lui le « sang du monde ». Mêlé à celui des hommes, ces peuples du Soleil l'offrent en sacrifice à leur Dieu afin que celui-ci continue à leur dispenser sa chaleur et sa lumière, sources de vie. Ils l'utilisent pour préparer des mets spéciaux, guérir la toux, enduire les nouveau-nés pour les préserver du froid. Mais le caoutchouc était surtout utilisé pour la confection de balles, employées dans un jeu assez semblable au tennis actuel. Ce jeu était en fait une sorte de cérémonie religieuse, à la fois militaire et économique, servant à prédire l'avenir et à prendre des décisions importantes ou à régler des conflits politiques ou territoriaux. Source : Institut de Formation du caoutchouc, www.ifoca.com

² Charles Goodyear n'est pas à l'origine de la firme éponyme. The Goodyear Tire & Rubber Company a été fondée en 1898 par Franck Seiberling, qui a repris le nom de Goodyear en hommage à l'inventeur.

³ Historama n° 210 (avril 1969)

⁴ Le mot pneumatique a été créé par apocope de l'expression « bandage pneumatique ». Il tend de plus en plus à se raccourcir en « pneu ».

⁵ Dans son brevet, Robert William Thomson décrit ainsi son bandage : « L'invention consiste en l'application de supports élastiques autour des bandes des roues des voitures afin de diminuer la puissance nécessaire pour les tirer, et pour rendre leur mouvement plus doux et diminuer le bruit qu'elles font en roulant... Pour obtenir ce résultat, j'emploie de préférence un cordon creux composé d'une substance imperméable à l'eau et à l'air tel que du caoutchouc sulfurisé ou de la gutta-percha ; j'enfle ce cordon creux d'air de sorte que les roues présentent pendant leur révolution un coussinet d'air au sol ».

En 1888, le vétérinaire John Boyd Dunlop imagine à son tour une roue qui associe tissu, gomme, cuir et air⁶. S'il s'agit d'un pneumatique encore imparfait, dont la réparation est très longue, il permet cependant une application immédiate aux vélocipèdes. Il remporte donc un vif succès.

A titre d'illustration, voici les résultats d'essais sur route effectués en 1896 par Michelin avec un break à vapeur de Dion Bouton entre les villes de Clermont-Ferrand et Issoire en Auvergne afin de comparer le bandage plein et le pneumatique.

	Bandage plein	Pneumatique	Progrès
<i>Consommation de charbon</i>	39 kgs	27,5 kgs	- 30 %
<i>Consommation d'eau</i>	323 litres	232 litres	- 28 %
<i>Vitesse moyenne</i>	27,6 km/h	32,6 km/h	+ 18 %

VITESSE ET CONFORT

Qu'est-ce qui a donc fait que les trajectoires historiques du pneumatique et de l'automobile se sont rejointes ? La voiture automobile, par rapport à la voiture hippomobile apportait la vitesse et l'autonomie. Elle allait donner naissance à un essor important du transport individuel et au développement du tourisme. Il fallait donc que tous les éléments de ce nouveau mode de transport participent à apporter vitesse et confort. Et, on vient de le voir, le pneumatique qui allie les vertus du caoutchouc et de l'air, possédait ces qualités.

Le pneumatique présente l'avantage de « boire l'obstacle », la mécanique et les passagers sont épargnés du chaos de la route et la vitesse peut enfin augmenter. Au passage, notons que c'est par la latinisation de cette expression de « boire l'obstacle » qu'est né le personnage universellement connu et reconnu, le bibendum Michelin.

LA RECHERCHE DE L'AUTONOMIE

Les premiers véhicules automobiles nécessitaient la présence d'un mécanicien qui, non seulement conduisait le véhicule mais également assurait la réparation en cas de panne, cas malheureusement assez fréquent durant les premières années de cette invention.

L'automobile devait non seulement procurer l'avantage de se déplacer facilement mais offrir aussi un certain plaisir, celui de conduire. Or, comment se sentir libre de

⁶ World History of the Automobile, Erik Eckerman – Society of Automotive Engineers, 2001

conduire si des pannes à répétition viennent entraver la prise en main du volant ? Et comment gagner en vitesse et en liberté s'il faut embarquer à bord un mécanicien ? Le besoin se fera donc sentir très tôt de faciliter la réparation avant d'en venir à accroître la fiabilité des divers dispositifs.

Or c'est dès 1891, c'est-à-dire l'année où naît véritablement l'industrie automobile⁷, que les frères André et Edouard Michelin⁸ créent le pneu démontable. C'est le dernier chaînon manquant de la longue suite d'inventions menant au pneumatique moderne, celui que nous connaissons aujourd'hui. La découverte des frères Michelin a bien entendu fait l'objet de perfectionnements continus mais le nouveau pneu est nettement supérieur aux précédents et sa facilité d'utilisation sans commune mesure : il se démonte et se remonte en moins d'un quart d'heure. Cette invention s'applique tout d'abord à la bicyclette⁹ (en raison de son faible poids) puis les frères Michelin passent rapidement aux pneus pour fiacre. Dès 1895, ils relèvent le défi du pneu pour automobile et équipent pour la course Paris-Bordeaux-Paris un véhicule qu'ils ont eux-mêmes conçu et fabriqué : l'Eclair. Malgré de nombreuses difficultés durant la course, l'Eclair arrive dans le temps imposé et démontre publiquement l'intérêt de cette invention historique : le pneu pour automobile qui va permettre à l'automobile de progresser, dans tous les sens du terme.

En 1898, une voiture électrique, la « jamais contente » franchit pour la première fois dans l'histoire de l'automobile la barre des 100 km/h. Elle est équipée de pneus Michelin dont le diamètre restreint abaisse le centre de gravité du véhicule. Son pilote, le belge Camille Jenatton, était le fils de Constant Jenatton, fabricant de produits manufacturés à base de caoutchouc

Dès ses débuts, Michelin a fait appel à la compétition pour démontrer son savoir faire et promouvoir ses innovations. Pas de meilleur laboratoire d'essai que la compétition d'automobile où le public peut juger de visu les vertus de l'innovation ! Etre en contact permanent avec le client sera le leitmotiv et les courses automobiles serviront ainsi de vitrine et de laboratoire.

Vers 1900, le pneu automobile est loin d'avoir gagné la partie car il reste fragile. La durée de vie des premiers pneus est terriblement courte : 1 200 à 1 500 kilomètres vers 1898 pour atteindre 6 000 à 8 000 kilomètres vers 1910. Les principaux progrès effectués pour allonger cette durée de vie vont concerner l'épaisseur de la bande de roulement ou le montage de bandes de cuir ou de rivets d'acier.

⁷ C'est en effet en 1891 que sont produits pour la première fois des véhicules automobiles, non plus seulement pour leur inventeur mais pour des clients extérieurs, d'abord par Panhard, ensuite par Peugeot, en utilisant tous deux des moteurs sous licence Daimler.

⁸ Le monde du caoutchouc est petit : en 1823, un chimiste écossais, Charles Mac Intosh, réussit à fabriquer des vêtements imperméables en utilisant le caoutchouc. Sa nièce, Elizabeth Pugh-Barker, épouse Edouard Daubrée qui avait fondé en 1832, avec son cousin Aristide Barbier les établissements Barbier et Daubrée pour la construction de machines à usage agricole. Mme Daubrée eut l'idée de faire fabriquer pour ses enfants des balles en caoutchouc comme le faisait pour elle son oncle lorsqu'elle était petite fille. C'est ainsi que Barbier et Daubrée introduisirent le caoutchouc dans leurs fabrications. La fille de M. Barbier, Adèle, épousa Jules Michelin dont sont nés deux fils, André et Edouard.

⁹ L'invention se fait connaître lors de la course cycliste Paris-Brest-Paris de septembre 1891 au cours de laquelle le champion Charles Terront l'emporte sur le favori de la course équipé de pneus Dunlop.

VALEURS ET PERFORMANCES

On voit donc se dessiner à la charnière des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles les premières performances associées au pneumatique : confort, vitesse, réparabilité, longévité. Mais les automobilistes ont des besoins grandissants d'autonomie et de vitesse. Il s'agit pour eux de rouler plus loin, plus vite et sans pannes.

Le pneu va heureusement bénéficier de nouveaux perfectionnements à partir de 1910. On commence à remplacer les toiles tissées en coton enduites de gommés par des nappes de petits câbles parallèles torsadés. Ces nappes, plus souples et plus résistantes, sont croisées par rapport au plan vertical de la roue, donnant lieu aux structures dites croisées, bias, diagonales ou encore conventionnelles qui règneront sans partage jusqu'au début des années cinquante. Elles se présentent en quelque sorte comme un bandage médical autour d'un pied¹⁰.

L'incorporation de noir de carbone au mélange de gommés en remplacement de l'argile utilisée jusque là permet de doubler la résistance à l'usure. Cette innovation apparaît d'abord chez l'américain Goodrich en 1910 (et chez Michelin dès 1917). C'est depuis cette époque que les pneus sont - tous ou presque - noirs.

Dans les années vingt, période au cours de laquelle l'automobile commence à se répandre en dehors de classes les plus huppées de la société¹¹, la section des pneus s'élargit et la pression de gonflage passe de 4 - 6 kg/cm² à 2,5 kg par cm². Le confort est ainsi considérablement amélioré. Cette tendance se prolongera au cours des années trente.

Pendant la seconde guerre mondiale est mis au point le caoutchouc synthétique¹². L'importance stratégique et économique du caoutchouc est alors devenue évidente avec l'interruption de l'approvisionnement en provenance d'Extrême-Orient. En raison du manque aigu de caoutchouc naturel, plusieurs pays accélèrent le développement du caoutchouc synthétique dont on connaissait déjà les grands principes. Ses utilisations sont les mêmes que celles du caoutchouc naturel dont les qualités restent cependant inégales.

Les progrès en matière d'élastomères synthétiques permettent également de développer le butyle dont les propriétés d'étanchéité sont remarquables. Grâce au butyle et aux progrès en matière de fabrication de jantes véritablement étanches et géométriquement précises, la voie sera ouverte dans les années cinquante pour la

¹⁰ Hillier's Fundamentals of Motor Vehicle Technology, The Institute of the Motor Industry (IMI), Nelson Thornes, 5th edition, 2004.

¹¹ C'est à Henry Ford que l'on doit la démocratisation de l'automobile, avec la première voiture fabriquée en grande série, la Ford T lancée en 1908. Henry Ford voulait que les ouvriers qui fabriquent la voiture puissent aussi l'acheter et c'est ainsi qu'il a mis au point la production en grande série en 1914.

¹² Durant la première guerre mondiale, le caoutchouc se révèle comme un matériau de première nécessité pour la fabrication d'engins de guerre. Mais suite à un blocus maritime, il est de plus en plus dur de s'approvisionner. Les Allemands travaillent sur la fabrication d'un caoutchouc de synthèse. Ils découvrent ainsi la polymérisation et mettent au point le Polybutadiène qu'ils appelleront BUNA. DuPont de Nemours développe à son tour le Néoprène, obtenu par polymérisation du chloroprène. Puis, les Etats-Unis mettent au point, pendant la seconde guerre mondiale, la fabrication de caoutchouc dérivant du butadiène, appelés GRS (Gouvernement Rubber Styrene), connu, de nos jours, sous le nom de SBR, caoutchouc de synthèse largement utilisé dans l'industrie du pneumatique. (Institut de Formation du Caoutchouc, www.ifoca.com)

commercialisation de pneus sans chambre¹³. Les automobilistes et les constructeurs réaliseront qu'il s'agit d'un progrès considérable face aux crevaisons : le *tubeless* s'est rapidement imposé par ses multiples avantages : simplicité du montage, élimination des erreurs de montage (causes fréquentes de crevaisons), réduction des coûts et sécurité globale.

LA REVOLUTION DU RADIAL

Mais une contradiction subsiste entre un produit que l'on veut à la fois souple, pour le confort, et rigide, pour sa solidité. C'est Michelin qui trouve la solution avec le pneu radial en 1946¹⁴. Celui-ci consiste en l'incorporation de nappes de câbles disposées perpendiculairement aux tringles et supportant une ceinture stable et inextensible, constituée de câbles d'acier disposés sous la bande de roulement. La bande de roulement et les flancs travaillent indépendamment. Il en résulte que les déformations de la zone de contact avec le sol sont très réduites, d'où une diminution des frictions génératrices d'échauffement et d'usure.

Le radial, universellement adopté par la suite par les autres manufacturiers (voir le graphique), apporte de nombreux avantages : moindre échauffement du pneu, d'où un meilleur rendement et donc une réduction de consommation de carburant à performances égales ; une meilleure tenue de route par augmentation de l'adhérence ; une souplesse et un confort améliorés du fait d'une grande flexibilité verticale ; la réduction considérable de l'usure et l'amélioration de l'endurance¹⁵.

L'invention du pneu radial tombe à point nommé pour accompagner le développement de la motorisation de toute la société dans le contexte des trente glorieuses. La voiture devient un bien accessible à tous, la mobilité fait partie des bienfaits du monde moderne et chacun souhaite accéder à l'automobile.

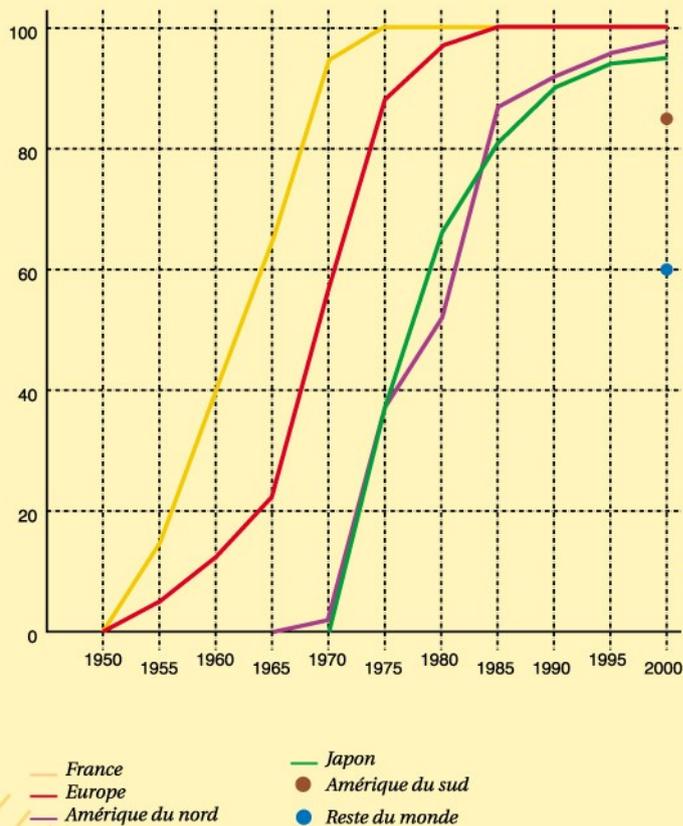
¹³ « Tubeless » en anglais. Le premier pneu tubeless a été conçu par Goodridge en 1947. Ref. : The Motor vehicle, T.K. Garrett

¹⁴ Brevet FR1001585 déposé le 04/06/1946 et délivré le 24/10/1951

¹⁵ The Motor vehicle, T.K. Garrett, Butterworth Heinemann, 13th Edition, 2001 p 1099-1100

LA RADIALISATION PLANÉTAIRE DE 1950 À 2000

Les atouts exceptionnels du Radial : une durée de vie triplée, une tenue de route inégalable, une faible résistance au roulement lui ont permis de conquérir les clients du monde entier en 3 décennies. Aujourd'hui, c'est le standard universel - quel sera le successeur de ce pneu dont les performances restent jusque-là inégalées ?



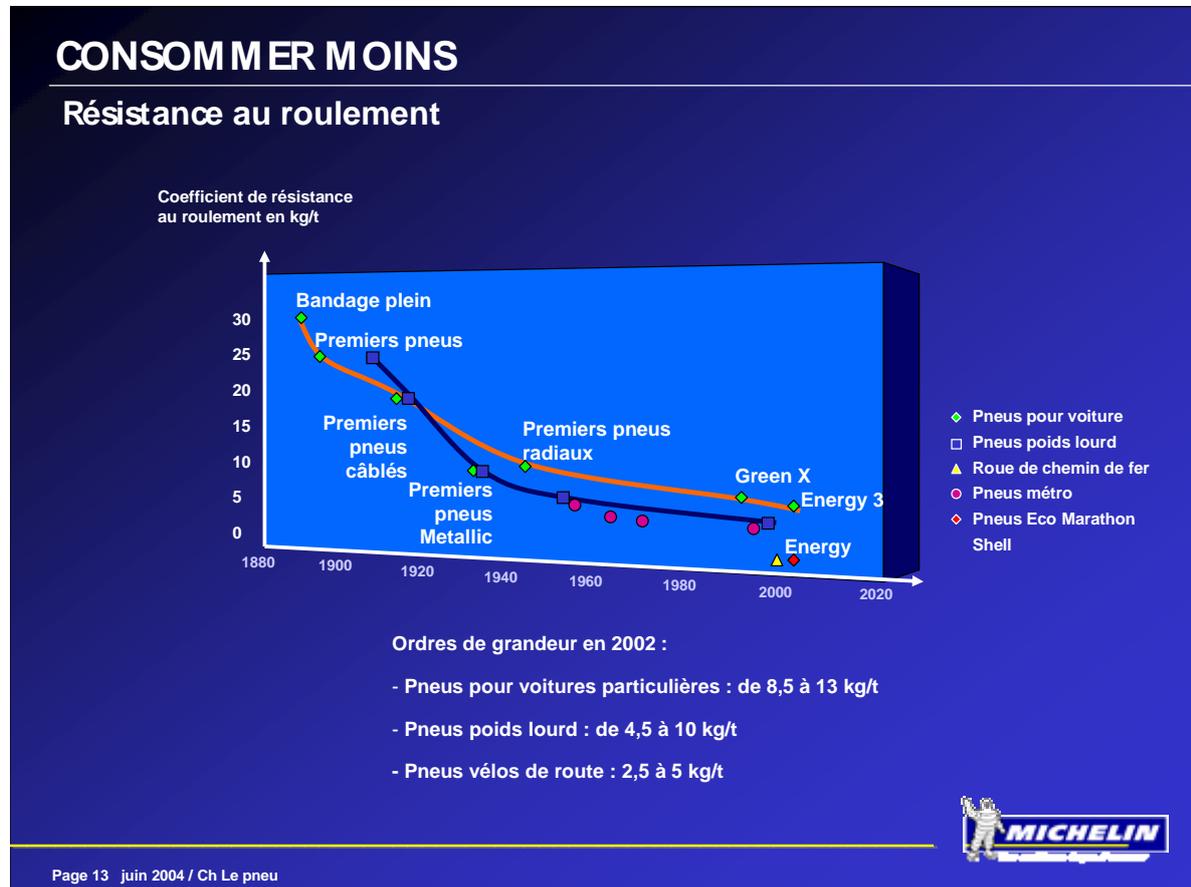
(Pneumatiques de tourisme en première monte et remplacement)

PERFORMANCE ET RESPONSABILITE

Mais chaque médaille a son revers. Avec le développement de la motorisation, des voix s'élèvent pour mettre en évidence les nuisances engendrées par l'automobile. Celle-ci, louée pendant les trente glorieuses devient progressivement critiquée en même temps que l'ensemble de la société de consommation. A la suite des chocs pétroliers, l'automobile est mise en cause pour sa dépendance énergétique mais pas seulement pour cette raison : elle pollue l'atmosphère, elle tue sur les routes et elle encombre les villes.

Dans ce contexte de critiques, Michelin crée, en 1994, le « pneu vert », un pneu utilisant un renforcement à base de silice qui permet de réduire efficacement la

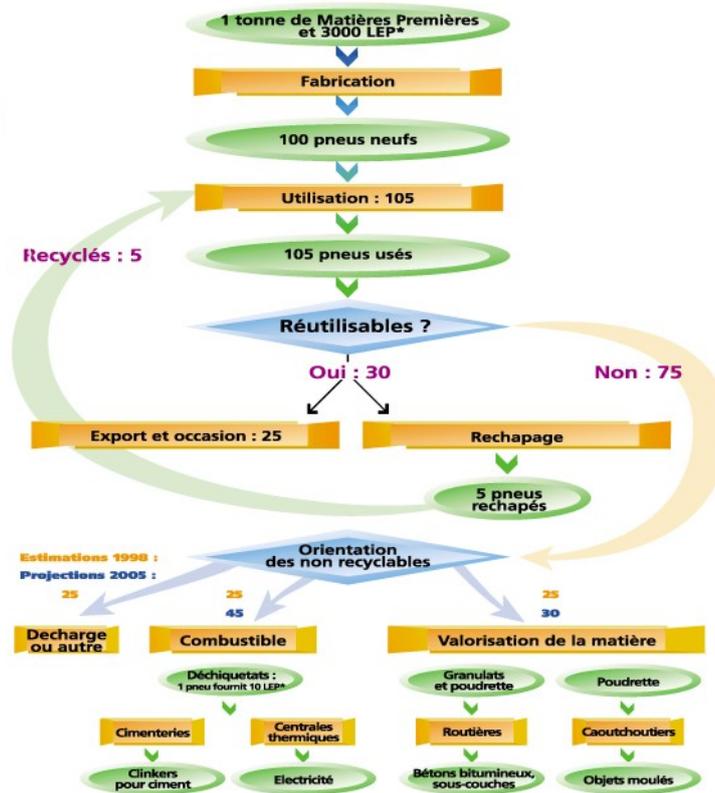
résistance au roulement et donc la consommation¹⁶ et, avec elle, les émissions de gaz polluants et de gaz à effet de serre. Si l'ensemble du parc automobile mondial était équipé de pneus verts, on économiserait 20 millions de TEP (tonnes équivalent pétrole) par an, soit l'équivalent de la consommation pétrolière de la France.



L'endurance des pneumatiques constitue une performance répondant également aux besoins sociétaux. Elle permet en effet d'utiliser moins de matières premières et donc de préserver les ressources naturelles. De plus, de nombreux pneus, de par la qualité de leur carcasse, sont rechapables. En y ajoutant le re-creusage de la bande de roulement, les pneus pour poids lourds peuvent ainsi vivre quatre vies successives avant épuisement, ce qui contribue également à l'usage raisonnable des matières premières. En fin de vie, les pneumatiques usagés sont récupérés et, pour la plupart d'entre eux, sont utilisés comme combustibles dans les cimenteries, participant ainsi aux économies de combustible, ou réutilisés sous forme de poudrette dont une partie sert à des applications routières (voir le graphique ci-après— source : Michelin).

¹⁶ Le pneu vert permet de réduire la consommation de carburant d'environ 5 %.

**CYCLE DE VIE
POUR 100 PNEUS
TOURISME PRODUITS
EN EUROPE**
(Estimation des flux en 1998
et projection sur 2005)



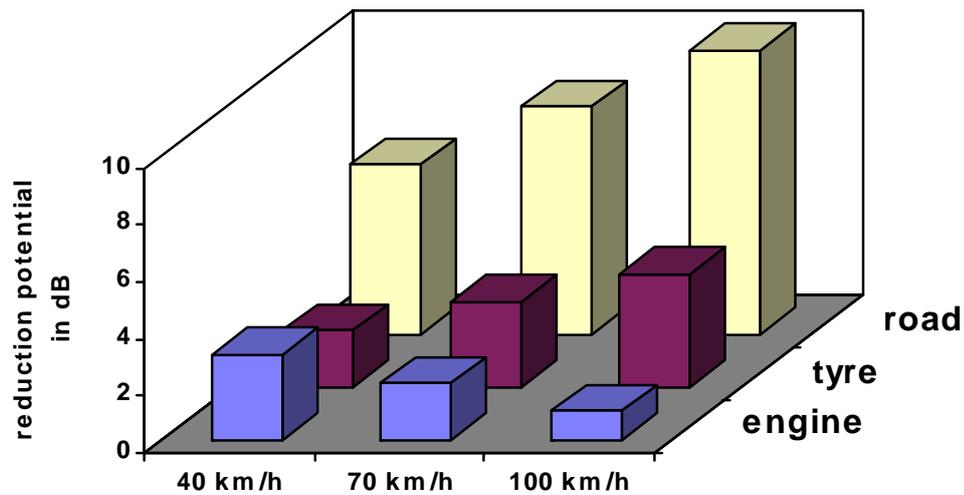
*LEP = litre d'équivalent pétrole.

En matière de bruit, les nuisances sonores sont le fait du véhicule automobile lui-même, des caractéristiques de la chaussée et de celles du pneumatique. Depuis 1980, le bruit émis par les pneumatiques d'une voiture a diminué de 5 dB soit une puissance acoustique émise divisée par trois¹⁷.

Le graphique ci-dessous, émanant du ministère néerlandais du logement, de l'aménagement du territoire et de l'environnement (VROM), montre que certains progrès sont envisageables. Michelin entend travailler en étroite collaboration avec les professionnels de la route pour progresser dans la voie du progrès acoustique, la sensibilité des riverains et des urbains à cette question allant en s'accroissant¹⁸.

¹⁷ Ces questions sont largement développées dans Tyre / Noise Reference Book, Ulf Sandberg & Jerry Ejsmont, 2002, 616 pages.

¹⁸ M. Manfred Haider, responsable du groupe de travail « bruit de la circulation » de l'AIPCR indiquait le 21 février au WP29 de l'UN ECE (Genève) que le choix du revêtement routier permettait des gains de 7 à 9 dB pour les pneus de voitures (3 à 6 dB hors surfaces poreuses) et 2 à 3 dB pour les pneus de poids lourds. Pour les pneus eux-mêmes, les gains possibles vont de 2 à 5 dB pour les voitures et de 2 à 3 dB pour les camions. Toujours selon M. Haider, l'effet de l'usure des pneus et des revêtements nécessite des recherches en matière de durabilité acoustique.



Potentiel de réduction du bruit de circulation (motorisation, pneu, revêtement de chaussée) (source : VROM-2006 - Pays-Bas)

En ce qui concerne la sécurité routière, le pneu radial a permis d'accroître considérablement les capacités de tenue de route et de freinage. Les pneumatiques continuent de participer à l'amélioration de la distance de freinage sur les sols mouillés et hivernaux. Route et pneumatique unissent leurs efforts pour réduire les risques d'hydroplanage (la texture du revêtement routier agissant aussi sur le drainage de l'eau). Le pneu est donc un produit technique complexe dont le rôle est fondamental pour la sécurité routière.

Aujourd'hui, l'environnement constitue une demande très forte de la société qui vient s'ajouter et non se substituer aux demandes en matière de durabilité, de confort, de vitesse, de sécurité et d'endurance. A l'heure où les interrogations sur l'avenir de la planète se font de plus en plus nombreuses, c'est au travers d'un « développement durable » du pneumatique que se dessine l'avenir conjoint de la route et de l'automobile.

Le pneumatique a donc, tout au long de sa courte histoire, été à l'écoute du marché et de la société sans négliger pour autant les percées technologiques « autonomes » permises par son affiliation à des disciplines non directement liées à l'automobile ou à la route comme la chimie du caoutchouc et l'architecture des matériaux. Mais c'est la foi dans la mobilité qui reste le moteur de son évolution car la mobilité reste un facteur de développement économique et de progrès social incomparable.