



La bougie

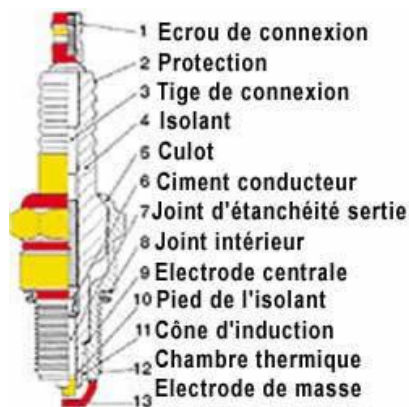
par P.Groussin

Jan 2003

En 1777, L'allumage d'un carburant par une étincelle fut préconisé par l'italien Volta, puis par Isaac de Rivaz pour le moteur à combustion interne en 1807. En 1885, le français Etienne Lenoir inventa une bougie d'allumage électrique très proche de celles que nous utilisons encore aujourd'hui.

Les dépôts

Dans un moteur à combustion interne, la puissance est produite par la combustion d'un mélange d'air et de carburant comprimé dans un cylindre. Le piston est repoussé par la pression qui se forme pendant la combustion.



Dans un moteur avec allumage par étincelle, la température engendrée par la compression n'est pas suffisante pour allumer le mélange, et une étincelle synchronisée, fournie par un système extérieur est nécessaire. C'est la bougie qui remplit cette fonction. La bougie doit conduire le courant à haute tension et le décharger sous forme d'étincelle pour enflammer le mélange air-essence.

Des dépôts de toutes sortes se constituent dans la chambre de combustion du moteur et sur les bougies.

Ces dépôts présentent des caractéristiques propres de résistance électrique et de température. Aux bas régimes, par exemple, des sels de plomb peuvent se déposer sur la pointe de l'isolant de la bougie. Si ces sels sont chauffés, par suite d'une accélération rapide, ils subiront une nette diminution de leur résistance électrique. Ils pourront ainsi former une pellicule de basse résistance autour de la pointe de l'isolant de la bougie en entravant l'accumulation de la haute tension et en provoquant des ratés d'allumage.

Parmi les additifs employés dans les carburants modernes, certains tendent à réduire au minimum l'encrassement et les composants antidétonants comme par exemple, le plomb tétraéthyle ou tétraméthyle. Cependant, ces produits tendent à mettre en évidence le problème des dépôts de plomb sur les bougies.

			
<p>Conditions normales Dépôts brun clair ou gris Fonctionnement correct du moteur et du système d'allumage, degré thermique convenable</p>	<p>Dépôts carbonés Allumage faible ou retardé Compression basse, Bougie trop froide Vérifier le réglage du carburateur (trop riche), l'état du starter, l'efficacité du filtre à air.</p>	<p>Surchauffe Isolant blanc et usure excessive des électrodes. Avance excessive, Mélange trop pauvre, Bougie trop "chaude"</p>	<p>Préallumage Surchauffe importante du moteur, Allumage inductif Bougies mal serrées Mauvaise fermeture de soupape Bougie trop "chaude" Risque de percement des pistons</p>
			
<p>Encrassement Problème d'huile guide de soupapes, segments ou cylindres endommagés. Utiliser temporairement une bougie plus chaude Usure générale du moteur.</p>	<p>Dépôts d'additifs Dépôts épais mais fragiles dus aux carburants modernes Pas de solution, Remplacer tout de même ces bougies.</p>	<p>Détonation Isolant cassé. Carburant à trop faible indice d'octane Mauvaise avance, Induction entre les câbles de bougies Bougies trop serrées</p>	<p>Choc Isolant cassé, fêlures raisons mécaniques, Manque de précaution dans le réglage des électrodes</p>

L'isolant

L'isolant a deux fonctions :

- 1) Assurer l'acheminement de la haute tension le long de l'électrode centrale en évitant sa dispersion (pour obtenir ceci, l'isolant doit empêcher la dispersion du courant électrique - au-delà de 30 000 V - à des températures comprises entre -46 °C et + 930 °C)
- 2) Être un bon conducteur de chaleur de manière à dissiper la chaleur produite par la combustion, laquelle pourrait endommager l'électrode et avoir un coefficient de dilatation permettant une dilatation uniforme des éléments de la bougie.

Enfin, en dehors de ses qualités d'isolation électrique et thermique, l'isolant doit présenter une résistance mécanique importante, capable de supporter les pressions de la chambre d'explosion (env.60 atm). Il doit posséder une résistance élevée aux effets des divers additifs du carburant et être capable de supporter, sans risque de fêlure ou de rupture, d'importantes variations de température. Les isolants des meilleures marques résistent aux plus sévères écarts thermiques (de - 75 °C, en glace sèche, à la chaleur rouge en quelques secondes) sans perdre de leur dureté (environ 9 de l'échelle de Mohs - la dureté du diamant est 20).

Les matériaux les plus souvent employés pour la fabrication des isolants et qui, en général, satisfont les conditions requises sont : la sillimanite d'alumine pure ou en alliage, la stéatite et la mullite (composé d'alumine et de sillimanite).

L'isolant est fabriqué grâce aux procédés d'injection ou d'extrusion, poli et passé au four à cuire, où ses dimensions diminuent d'environ 20%.

De nombreux fabricants de bougies fournissent des isolants avec des nervures qui, en augmentant le parcours que devrait effectuer l'étincelle entre l'embout de la bougie et la masse, évitent un éventuel court-circuit dû à l'humidité.

Le culot de la bougie est en acier au soufre (à teneur moyenne de carbone) et au manganèse. Ces aciers sont fournis aux fabriques sous forme de barres octogonales qui sont, par la suite, coupées et polies d'après le dessin.

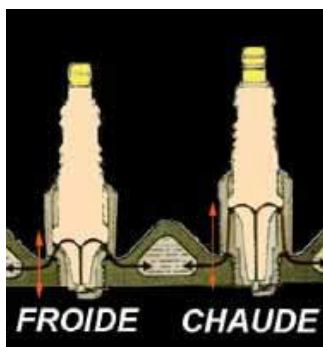
Depuis peu, les plus grands fabricants de bougies emploient la technique de l'extrusion sous presses de formage à froid. Ces machines effectuent le profilage complet du culot, à l'exception du filetage extérieur. L'électrode de masse est ensuite soudée et les culots sont passés à la taraudeuse pour le filetage. Ils subissent ensuite une finition qui peut être le polissage, le cadmiage ou le zincage. afin d'obtenir une protection ultérieure contre la rouille pendant le stockage et l'utilisation.

Le degré thermique de la bougie

Le degré thermique d'une bougie caractérise sa capacité à transmettre la chaleur depuis le bec de l'isolant jusqu'au système de refroidissement. La quantité de chaleur transmise dépend principalement de la distance que doit parcourir la chaleur pour rejoindre la culasse du moteur et, par conséquent, le système de refroidissement.

Pour obtenir des performances optimales, les températures de bec d'isolant ne doivent pas dépasser environ 850°C à une vitesse élevée continue, ou tomber en dessous de 350°C à 50 km/h dans des conditions courantes de circulation.

La gamme concerne la classification des bougies selon leurs caractéristiques de transfert de chaleur de l'extrémité de l'isolant au système de refroidissement du moteur.



La bougie froide est dotée d'un bec d'isolant relativement court et transfère rapidement la chaleur au système de refroidissement du moteur.

Elles sont utilisées pour corriger le brûlage de l'électrode ou l'allumage prématuré résultant des grandes vitesses soutenues, des déclivités longues, des charges lourdes ou d'autres conditions amenant des températures anormalement subies dans la chambre de combustion.

Ces bougies sont spécifiques pour les moteurs à compression et à vitesses élevées

La bougie chaude, au contraire, possède un bec d'isolant beaucoup plus long qui transmet la chaleur à l'extérieur beaucoup plus lentement. Elles sont utilisées pour corriger l'encrassement par l'essence et l'huile, résultant de la marche à vide prolongée, des charges légères, d'amorçage et arrêt ou d'autres conditions causant une température basse anormale dans la chambre de combustion

Elle atteint ainsi une température plus élevée et par conséquent, brûle mieux les dépôts de combustion qui pourraient autrement encrasser la bougie lors d'un fonctionnement prolongé au ralenti. Ces bougies sont spécifiques aux moteurs à faible rendement.

Chaque fabricant de bougies propose sur le marché une gamme de bougies de divers degrés thermiques susceptibles de répondre aux conditions de fonctionnement des moteurs.

Pendant de nombreuses années, pour déterminer le degré thermique d'une bougie, on mesurait le temps nécessaire à une bougie montée sur un moteur déterminé pour atteindre la température de préallumage (allumage de la charge de carburant avant l'allumage normal par étincelle).

Actuellement, le degré thermique d'une bougie, ou plus exactement son point de préallumage, est déterminé par un procédé établi par la S-A-E- (Society of Automotive Engineers).

Un moteur spécial monocylindre à quatre temps de 288.6 cm³ de cylindrée, avec avance et rapport de compression constants, est mis en marche à 2 700 tr/mn. Le degré thermique est déterminé par la pression moyenne relevée au point au-dessous duquel la bougie atteint le préallumage.

Dans les bougies multi-électrodes, les électrodes de masse ne produisent pas leur étincelle simultanément. Chaque étincelle rejoint la masse par l'électrode la plus facile à atteindre.

Par conséquent, si l'une d'elle s'use ou s'encrasse, l'étincelle choisit automatiquement l'électrode suivante la plus accessible jusqu'à ce que toutes les électrodes de masse aient achevé leur durée de vie.

Elles ont, il est vrai, une durée de vie deux à trois fois supérieure à une bougie à électrode unique mais elles n'ont pas d'aussi bonnes performances.

Le choix de la bougie par rapport au type de carburant employé

Un allumage bien réglé et une combustion complète dans chaque cylindre sont les facteurs les plus importants pour faire fonctionner un moteur de façon optimale et économique. L'étincelle entre les électrodes de chaque bougie doit être produite à tous les régimes dans de bonnes conditions afin d'assurer un bon allumage du mélange air/essence.

Il est essentiel que les bougies soient du type requis pour le moteur et soient de la gamme thermique appropriée.

Les données sur l'application des bougies fournies par les fabricants se réfèrent généralement aux moteurs marchant à l'essence.

Toutefois, de nombreux moteurs peuvent être adaptés ou modifiés pour fonctionner au kérosène, au gaz de pétrole liquéfié, au gaz naturel (méthane) ou avec une combinaison de ces carburants.

La modification consiste souvent à changer seulement le carburant ou à introduire des appareillages spéciaux destinés, dans le cas de gaz comprimés, à assurer la fonction de réducteurs de pression.

En tout cas, il est nécessaire de faire varier le degré thermique de la bougie et la distance entre les électrodes. On peut consulter les constructeurs pour des informations sur la conversion des moteurs, mais la relation entre les différents types de carburant peut, en général, être schématisée.

Réglage de l'écartement

L'écartement est la distance nécessaire pour l'amorçage de l'étincelle entre l'électrode de masse et l'électrode centrale.

Les écartements varient en général de 0.6 à 1.1 mm.

En fait, l'écartement est défini par les exigences du constructeur du moteur et par les fréquences d'entretien souhaitées. Les petits écartements imposent de moins fortes tensions au système d'allumage, mais l'étincelle peut s'avérer trop petite pour bien enflammer le mélange, et donc provoquer des ratés à l'allumage.

Les grands écartements donnent un meilleur contact avec le mélange, mais peuvent ne laisser en réserve que trop peu de capacité de tension. Un écartement excessif peut obliger l'étincelle à courir le long de l'isolant, et peut provoquer la perforation de ce dernier.

L'allumage

La température de fonctionnement et la durée de la bougie peuvent être sérieusement compromises par un calage incorrect de l'avance à l'allumage. Il est, par conséquent, essentiel que soit l'avance fixe, soit l'avance maximale et les dispositifs d'avance centrifuge et d'avance à dépression, demeurent dans les tolérances prévues par le constructeur.

Le calage de l'allumage est le facteur qui influence essentiellement la température de fonctionnement de la bougie et sa durée. Il ne faut donc pas oublier que la courbe d'avance du delco doit être maintenue dans des limites établies par le fabricant.

Augmenter l'avance est une méthode qui est souvent employée pour majorer la puissance motrice. Dans des conditions données, un petit accroissement de puissance est cependant suivi d'une augmentation considérable de la température dans la chambre de combustion, accompagnée d'une surchauffe des bougies et d'un risque de préallumage.

En général, le préallumage se manifeste lorsque des dépôts de la combustion, concentrés dans la chambre sur les soupapes ou sur une bougie surchauffée, atteignent une température capable d'enflammer le mélange air-carburant avant que ne jaillisse l'étincelle.

Un allumage par point chaud est absolument incontrôlable et est capable de provoquer de graves dommages mécaniques. Le dégât qui se manifeste le plus fréquemment est la perforation de la calotte de piston. Il se présente sous la forme d'un trou presque circulaire, avec des bords arrondis et des gouttes caractéristiques de métal fondu sur la tête du piston.

Les défauts d'allumage

En admettant que la compression dans le moteur soit correcte, et que l'essence et l'air se mélangent correctement, la combustion du mélange peut s'opérer d'une des manières suivantes :

- 1) Allumage normal. Ce phénomène a lieu quand une étincelle suffisamment puissante jaillit au bon moment entre les électrodes. Pour garantir un allumage normal, il faut que les bougies soient en bon état et que le système d'allumage ait un rendement adéquat. L'allumage normal assure une puissance maximale, une consommation économique et produit un minimum de gaz polluants.
- 2) Fuite de courant. Ce phénomène a lieu quand l'étincelle saute d'un dépôt à l'autre, et allume le mélange en un endroit le long du bec de l'isolateur. Il n'est pas question ici d'un raté d'allumage, mais plutôt d'un retard. Il en résulte une perte de puissance et d'économie, cela sans que le conducteur ne s'en rende compte.
- 3) Allumage en surface. Ce phénomène a lieu quand un endroit de la chambre de combustion devient suffisamment chaud pour provoquer l'inflammation du mélange. Ceci a généralement lieu avant le jaillissement de l'étincelle et se dénomme "pré-allumage" ou "allumage anticipé". La cause peut être un point chaud, une bougie ou une soupape surchauffée. Le conducteur ne s'en rend pas compte, tandis que le moteur perd de sa puissance et de son rendement. Le "pré-allumage" peut détériorer le moteur.

Les défauts de carburation

Une carburation trop pauvre provoque une augmentation de la température des bougies, par contre, une carburation trop riche entraîne un effet contraire.

Dans ce cas, l'abaissement de la température de fonctionnement amène la formation et l'accroissement de dépôts de carbone noirs et fuligineux sur la pointe de l'isolant.

Par ailleurs, aux bas régimes du moteur, la température peut s'abaisser au point d'empêcher le fonctionnement du moteur et, par conséquent, l'élimination des dépôts qui se forment. Ces divers facteurs peuvent provoquer des ratés d'allumage.

Notons que même avec des bougies correctement montées et avec le degré thermique préconisé un mélange trop riche peut, néanmoins provoquer quelques inconvénients de fonctionnement. Une carburation mal réglée ou un usage excessif du starter ne sont pas les seules causes.

En effet, il faut également prendre en considération un filtre à air encrassé, un starter qui fonctionne mal et surtout, la façon de conduire. Avec les moteurs modernes, il est conseillé de conduire sans maintenir des régimes trop faibles. Lorsqu'une ou plusieurs bougies ont tendance à s'encrasser en raison d'un mélange trop riche, il convient d'effectuer de temps à autre une brève « reprise » à haut régime.

Il est pratiquement impossible d'évaluer avec précision les allumages manqués ou les pertes de puissance dans un véhicule, étant donné que ces faits sont en rapport soit avec le type de la voiture, soit avec le conducteur et sa manière de conduire.

On peut toutefois constater que si les ratés d'allumage ou les pertes de puissance ont atteint un niveau tel qu'ils sont perceptibles par le chauffeur c'est que la voiture a déjà circulé pendant une certaine période avec une puissance réduite.

**Tableau comparatif des degrés thermiques des principales marques :
Bougies longues (filet 19 mm) chaud <----->froid**

ELECTRODE	AC	BOSCH	CHAMPION	LODGE	MARELLI	MARCHAL	NGK
NORMALE		W125T2	N 8	CLNH	CW 4L	36 HS	B5 ES
	45 XL	W160T2	N 6	HBLN	CW5L		B 6ES
	44 XL	W175T2	N 5		CW7L	35 HS	
	42 XL	W225T2	N 4		CW7L		B 7ES
	41 8XL	W260T2	N 3	2 HLN	CW9L	34HS	B8ES
PROEminente		W160T30	N 16Y		CW4LP		BP 4E
		W145T30	N 14Y	BLNY		GT 35 H	BPA5ES
		W175T30	N 12Y	CLNY	CW5LP		
		W160T30	N 11Y		CW6LP		BP 6ES
		W175T30	N 10Y		CW67LP	GT34H	
		W200T30	N 9Y	HLNY	CW7LP		
			N 8Y				BP7ES
		W215T30	N 7Y		CW78LP		
	412XLS	W230T30	N 6Y	2HLNY	CW8LP		BP8ES

**Tableau comparatif des degrés thermiques des principales marques :
Bougies courtes (filet 12 mm) chaud <----->froid**

ELECTRODE	AC	BOSCH	CHAMPION	LODGE	MARELLI	MARCHAL	NGK
NORMALE		W45T1	L 90	CN	CW 3N	37	
		W145T1	L 88A	HBN		36	B 4H
	45 F	W175AT1	L 86	HN	CW 5N	35/36	B7 HS
		W225T1	L 85		CW 6N	35	
	42FF	W240T1	L 81	2HN	CW 7N	34S	
PROEminente	41F	W260T1	L 78	3HN	CW8N		B8HS
		W145T35	L 95Y	CNY	CW5NP		BP 4H
		W175T35	L 92Y		GT 35		BP 6HS
	43 FS	W200T35	L 87Y	HNY	CW6NP	35/1	
	42 FS		L 82Y	2 HNY	GT 34		BP 7 HS
			L 81Y		CW8NP		

Entretien

Les bougies d'allumage doivent être changées environ tous les 20 000 kilomètres.

Important : achetez exactement les bougies qui sont préconisées par le constructeur, des bougies non conformes peuvent détruire votre moteur.

Démontage

Ne jamais tirer sur les fils de bougies : il faut enlever les fils en tirant sur les capuchons.

Tenez toujours la clef à bougie dans l'axe pour éviter de casser la porcelaine

Nettoyer les salissures qui apparaissent afin qu'elles ne tombent pas dans le cylindre par la suite

(Dossier réalisé avec le concours de motorlegend.com et de histomobile.com)

Note:

Tableau d'équivalence actuelle pour certains modèles entre 1955 et 1970 par rapport aux bougies préconisées dans les manuels Mercedes-Benz

Bosch (d'origine)	Bosch	NGK	Champion
W 225 T 27	7591/W5DC	2512/BP7ES	813/N7YC
W175 T 27	7500/W7DC	7911/BP6ES	300/N9YC
W 225 RT 27	7592/WR5DC	4044/BPR7ES	415/RN7YC
W175 RT 27	7501WR7DC	7922/BPR6ES	330/RN9YC
W 175 T 7 N	7597/W7BC	4611/BP6HS	312/L87YC
B 175 RT 22	WB7B		
W 175 T 751	7597/W7BC	4611/BP6HS	312/L87YC
W 175 RT 7 N	4232/WR7BC	1176/BPR6HS	814/RL82YC
W 175 RT 7	4232/WR7BC	1176/BPR6HS	814/RL82YC
W 175 T 7	7597/W7BC	4611/BP6HS	312/L87YC
W 225 T 7	7531/W5BC	5211/BP7HS	328/L82YC
W 225 T 23	7591/W5DC	2512/BPES	813/N7YC
W 225 RT 23	7592/WR5DC	4044/BPR7ES	415/RN7YC
W 200 T 27	7594/W6DC	7911/BP6ES	300/N9YC
W 200 RT 27	7595/WR6DC	7922/BPR6ES	330/RN9YC