

À propos des bougies de préchauffage

Technique
Information
No 04



Sommaire

<i>Le moteur Diesel</i>	3
Fonctionnement	3
Démarrage à froid	3
Système d'injection	4
<i>Bougies-crayons de préchauffage à autorégulation</i>	5
Caractéristiques demandées à une bougie de préchauffage moderne	5
Conception et fonctionnement	6
Bougie BERU ayant une fonction de post-chauffage (GN)	7/8
<i>Système de démarrage instantané ISS</i>	9
Concept du système	9
Unité de commande électronique	9
<i>BERU – Le plus grand innovateur en matière de bougies de préchauffage à capteur de pression, PSG</i>	10
<i>Bougie de préchauffage céramique CPG01</i>	10
<i>Qualité BERU</i>	11
<i>Le bas de gamme... renoncez-y !</i>	12
<i>Origines des défaillances des bougies de préchauffage</i>	13
<i>Conseils pour l'atelier</i>	14
Testeur de bougies de préchauffage :	
Contrôle sans démontage de la bougie	14
Démarrage rapide et fiable d'un moteur Diesel	14
Couples	15
Alésoir BERU : pour un filetage rapide et sûr de la culasse	15

Le moteur Diesel

Fonctionnement

Les moteurs Diesel sont des moteurs à allumage par compression, ce qui signifie qu'il n'y a pas besoin d'étincelle d'allumage pour enflammer le carburant injecté. Le cycle de combustion se déclenche en trois étapes :

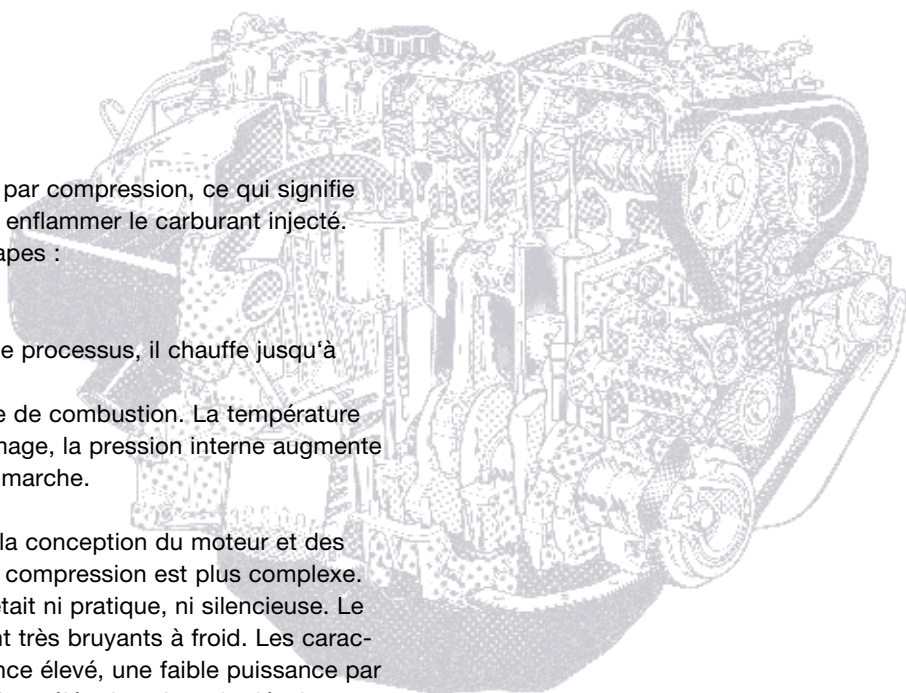
1. Premièrement, l'air pur est aspiré à l'intérieur.
2. Il est comprimé de 30 à 55 bars. Au cours de ce processus, il chauffe jusqu'à 700 à 900 °C.
3. Le carburant Diesel est injecté dans la chambre de combustion. La température élevée de l'air comprimé déclenche l'auto-allumage, la pression interne augmente alors considérablement et le moteur se met en marche.

Comparés aux moteurs à allumage par étincelle, la conception du moteur et des systèmes d'injection des moteurs à allumage par compression est plus complexe. La conduite avec les premiers moteurs Diesel n'était ni pratique, ni silencieuse. Le processus de combustion étant difficile, ils étaient très bruyants à froid. Les caractéristiques types étaient un rapport poids-puissance élevé, une faible puissance par cylindrée, ainsi qu'un comportement médiocre à l'accélération. Avec le développement continu de la technologie d'injection et des bougies de préchauffage, ces inconvénients ont pu être éliminés. Aujourd'hui, le moteur Diesel est considéré comme une source de puissance équivalente, voire meilleure.

Démarrage à froid

Le terme « démarrage à froid » décrit toutes les tentatives de démarrage qui se produisent avant que le moteur et les éléments impliqués n'atteignent la température de fonctionnement. Plus la température est basse, moins les conditions sont favorables à une combustion complète, rapide et respectueuse de l'environnement. Certaines mesures offrent une assistance pendant le démarrage à froid. Un démarrage trop long, voire impossible, pourra donc être évité. Les démarrages peu performants sont ainsi compensés tout en amorçant l'allumage au bon moment et en garantissant une combustion stable.

La bougie de préchauffage est un composant qui intervient pendant le démarrage à froid. Le carburant injecté bénéficie ainsi de conditions d'allumage idéales grâce à l'énergie thermique générée électriquement et transmise dans la chambre de combustion. L'assistance au démarrage à froid est indispensable pour les moteurs dotés d'une chambre de combustion en deux parties afin de garantir le démarrage même quand la plage de températures se situe souvent entre de 10 à 30 °C. La qualité du démarrage se détériorant considérablement par température négative, la bougie de préchauffage est aussi utilisée pour les démarrages à froid des moteurs Diesel à injection directe.



Le moteur Diesel

Systemes d'injection

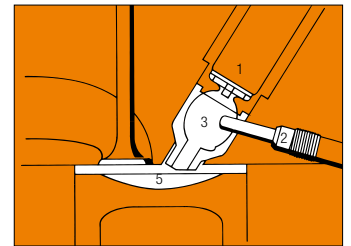
Selon le type et la disposition de la chambre de combustion, il existe une différence entre les trois systèmes d'injection dans les moteurs Diesel suivants :

1. Système à chambre de précombustion
2. Processus à chambre de turbulence
3. Injection directe

Les bougies de préchauffage sont indispensables sur tous les systèmes. Elles garantissent l'évaporation du carburant injecté et l'inflammabilité du mélange carburant-air sur la surface chaude de la bougie.

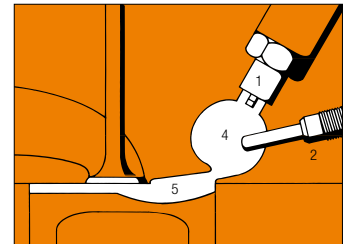
SYSTEME À CHAMBRE DE PRÉCOMBUSTION

Dans ce système, la chambre de combustion est divisée en deux : une chambre de précombustion et la chambre principale. Elles sont reliées entre elles par plusieurs alésages (canaux d'injection). Pendant la course de compression, une partie de l'air comprimé est poussé dans la chambre de précombustion. Peu avant d'atteindre le point mort haut (PMH), le carburant est injecté via un injecteur directement dans la chambre de précombustion du cylindre concerné. C'est ici que se produit la combustion partielle du carburant injecté. Les fortes températures générées garantissent une montée rapide de la pression. L'ensemble du contenu de la chambre de précombustion est alors soufflé par les canaux d'injection dans la chambre de combustion principale, où se produit la combustion.



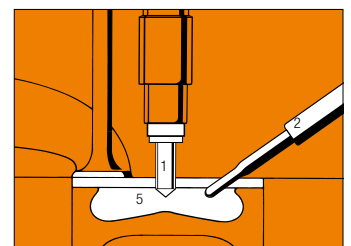
PROCESSUS À CHAMBRE DE TURBULENCE

La chambre de turbulence conique se trouve dans la culasse, séparée de la chambre de combustion principale. La chambre de combustion principale et la chambre de turbulence sont reliées par un canal d'injection d'un diamètre important. Pendant la course de compression, le canal d'injection dans la chambre de turbulence provoque une forte rotation de l'air d'admission. Le carburant Diesel est injecté dans ce tourbillon d'air. La combustion démarre dans la chambre de turbulence, puis est répartie dans la chambre de combustion principale.



INJECTION DIRECTE

Dans l'injection Diesel directe (répartition carburant-air), le carburant est injecté à température élevée via l'injecteur à buses multiples dans l'air d'admission hautement comprimé pour l'injection. Pendant ce processus, la forme spéciale de la tête du piston favorise la formation du mélange. Au démarrage, l'air d'admission froid est très rapidement chauffé en raison de la forte pression de compression. L'élément chauffant pénètre dans la chambre de combustion principale. En principe, la bougie de préchauffage des moteurs à injection directe a la même fonction que dans les moteurs à chambre. Elle intervient sur l'allumage pendant le démarrage. L'élément chauffant d'une bougie de préchauffage moderne atteint une température supérieure à 1000 °C en seulement quelques secondes.



Pour les démarrages à froid, la situation est généralement la suivante : l'air froid introduit produit de faibles températures à la fin de la phase de compression. En conduisant, la température de l'air comprimé correspond parfaitement à l'auto-allumage. Cependant, elle n'est pas suffisante pour le démarrage, surtout quand les températures extérieures sont basses. Mais ce sont plutôt les bas régimes au démarrage qui posent de sérieux problèmes. La durée de l'admission étant importante, la perte de température et de pression est nettement supérieure qu'au ralenti, par exemple.

Le point suivant est toujours applicable pendant un démarrage à froid : l'air d'admission froid entraîne des températures basses en fin de compression. Cependant, les bas régimes du moteur au démarrage ont un effet nettement plus grave. La durée de l'admission étant importante, la perte de température et de pression est nettement supérieure qu'au ralenti, par exemple.

- 1 | -Injecteur
- 2 | -Bougie de préchauffage
- 3 | -Chambre de précombustion
- 4 | -Chambre de turbulence
- 5 | -Chambre de combustion

Bougies-crayons de préchauffage à autorégulation

Caractéristiques exigées à une bougie de préchauffage moderne

TEMPS DE PRÉCHAUFFAGE RÉDUIT

Les bougies de préchauffage doivent transmettre le plus rapidement possible une température élevée pour l'aide à l'allumage. Elles doivent maintenir cette température indépendamment des conditions ambiantes, ou simplement ajuster la température en fonction de ces dernières.

FAIBLE ENCOMBREMENT

Jusqu'à présent, les moteurs Diesel des voitures de tourisme dotés d'une chambre de précombustion ou des versions d'injecteur direct et d'injecteur à chambre de turbulence à 2 soupapes avaient suffisamment d'espace pour les injecteurs et les bougies de préchauffage.

Cependant, sur les moteurs Diesel modernes équipés d'un système d'injection Common Rail ou des systèmes d'injection injecteur -pompe et à 4 soupapes, l'espace disponible est très limité. Cela signifie que l'espace requis pour la bougie de préchauffage doit être réduit au minimum, celle-ci doit donc être très fine et très étroite. Aujourd'hui, les bougies de préchauffage BERU ont déjà un tube à incandescence dont le diamètre est inférieur à 3 mm.

ADAPTATION PRÉCISE DANS LA CHAMBRE DE COMBUSTION

Idéalement, la tige incandescente doit se trouver précisément au bord du tourbillon du mélange. Cependant, elle doit pouvoir pénétrer profondément dans la chambre de combustion ou dans la chambre de précombustion. C'est seulement ainsi qu'elle peut transmettre la chaleur avec précision. Elle ne doit cependant pas aller trop loin dans la chambre de combustion. Cela aurait pour effet de perturber la préparation du carburant injecté et donc la formation d'un mélange air-carburant inflammable. Le résultat en serait une augmentation des émissions de gaz d'échappement.

VOLUME DE PRÉCHAUFFAGE SUFFISANT

Outre la bougie de préchauffage, le système d'injection joue un rôle particulièrement important dans le démarrage à froid du moteur. Seul un système optimisé en matière de point d'injection, de volume et de composition du mélange pour le démarrage à froid permet d'obtenir un démarrage à froid de qualité avec une position et un indice thermique précis. Même après le démarrage du moteur, la bougie de préchauffage ne doit pas être « refroidie par soufflage » en raison de la forte circulation de l'air dans la chambre de combustion. Des vitesses d'air très élevées sont tout particulièrement présentes sur le sommet de la bougie de préchauffage dans les moteurs avec chambre de turbulence ou chambre de précombustion. Dans cet environnement, la bougie fonctionne seulement si elle dispose de suffisamment de réserves, c'est-à-dire lorsqu'un volume incandescent suffisant est disponible pour réchauffer immédiatement la zone refroidie par soufflage.

Les bougies de préchauffage conçues par BERU répondent totalement à ces exigences. Les ingénieurs BERU travaillent en étroite collaboration avec l'industrie automobile pendant la phase de mise au point du moteur. Résultat : démarrage rapide plus écologique des moteurs en 2 à 5 secondes (avec le système Instant Start System ISS, 2 secondes max.), démarrage fiable jusqu'à -30 °C, fonctionnement plus régulier du moteur, réduction des émissions de particules de carbone allant jusqu'à 40 % en phase de réchauffage pour les bougies adaptées au post-chauffage (pour plus de détails, voir page 7).



Bougies-crayons de préchauffage à autorégulation

Structure et fonctionnement

La bougie de préchauffage BERU est essentiellement composée d'un corps de bougie, d'un crayon avec filament chauffant et filament régulateur, ainsi que de la vis de connexion. La tige incandescente résistante à la corrosion est enfoncée à la presse dans son boîtier pour garantir l'étanchéité au gaz. L'étanchéité de la bougie est également assurée par un joint ou une pièce en plastique sur la pièce de raccordement. L'énergie électrique de la bougie de préchauffage est fournie par la batterie. La commande est effectuée par un boîtier de commande du temps de préchauffage.

FILAMENTS CHAUFFANT ET RÉGULATEUR

Le principe de base d'une bougie de préchauffage moderne consiste à avoir un filament chauffant et un filament régulateur dans un élément de résistance commun. Le filament chauffant est conçu à base d'un matériau résistant aux températures élevées, dont la résistance électrique est indépendante de la température. Il forme la zone de chauffe avec la partie avant de la tige incandescente. Le filament régulateur est fixé sur la vis de connexion conductrice. Sa résistance présente un coefficient de température élevé.

L'ensemble du filament est placé dans une poudre céramique comprimée, isolante et à conductivité thermique très élevée. La poudre est fortement comprimée selon une technique de compression mécanique de sorte que le filament semble scellé dans du ciment. Elle est ainsi tellement stable que les fils fins des filaments chauffant et régulateur résistent durablement à toutes les vibrations. Bien que les différentes spires ne sont séparées que par quelques dixièmes de millimètres, aucun court-circuit ne peut se produire, ni aucun court-circuit avec le tube à incandescence qui endommagerait définitivement la bougie.

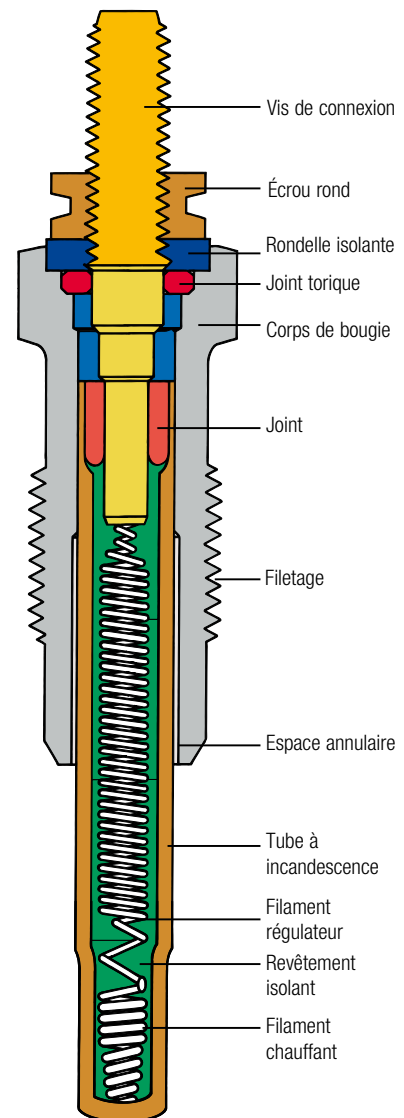
Les différences de matériaux, de longueurs, de diamètres et d'épaisseurs de fils des filaments régulateur et chauffant font que la durée et les températures de préchauffage peuvent varier pour s'adapter aux exigences spécifiques du moteur.

FONCTIONNEMENT

Au cours du préchauffage, un courant élevé circule au début dans la vis de connexion et le filament régulateur jusqu'au filament chauffant. Ce dernier se réchauffe ainsi rapidement et la zone de chauffe devient incandescente. L'incandescence s'étend ensuite rapidement. Au bout de 2 à 5 secondes, le crayon est rouge pratiquement jusqu'au corps de la bougie. Ceci élève la température du filament régulateur déjà réchauffé par le courant. Sa résistance électrique augmente alors et le courant diminue pour éviter de détériorer la tige incandescente. Ceci évite ainsi toute surchauffe de la bougie de préchauffage.

Si le moteur ne démarre pas, le boîtier de commande du temps de préchauffage coupe l'alimentation de la bougie de préchauffage.

Pour les bougies de préchauffage BERU, l'alliage utilisé permet de mieux résister à la température. Au lieu d'attendre que la température de consigne soit atteinte, la conception du filament régulateur permet ainsi de laisser passer dès le début un courant plus fort jusqu'au filament chauffant. La température visée est ainsi atteinte plus rapidement et maintenue dans la plage admissible via une plus forte régulation.



Structure d'une bougie-crayon de préchauffage à autorégulation et chauffage rapide.

Bougies-crayons de préchauffage à autorégulation

Bougies-crayons de préchauffage adaptées au post-chauffage (GN)

Les véhicules plus anciens sont généralement équipés de bougies de préchauffage qui chauffent seulement avant et pendant la période de démarrage. Elles sont identifiables grâce à l'abréviation GV. Les bougies de préchauffage GN sont généralement de série sur les moteurs Diesel modernes des voitures de tourisme. Elles sont équipées du système de préchauffage innovant à 3 phases, ce qui signifie qu'elles chauffent

- avant le démarrage,
- pendant la phase de démarrage,
- après le démarrage et
- pendant le fonctionnement du moteur (en mode inertiel).

FUNCTIONNEMENT

Le préchauffage à commande électronique commence en mettant le contact et dure jusqu'au démarrage, soit entre 2 et 5 secondes si les températures extérieures sont normales. La durée du post-chauffage est de 3 minutes après le démarrage du moteur ce qui permet de minimiser les émissions polluantes et le bruit.

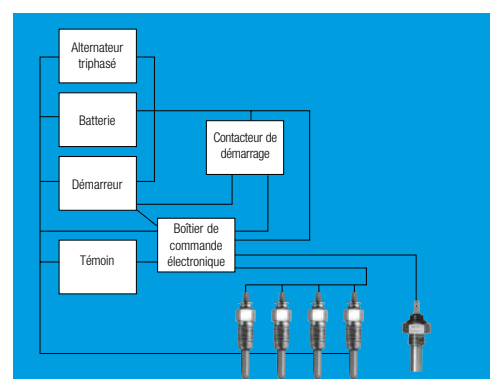
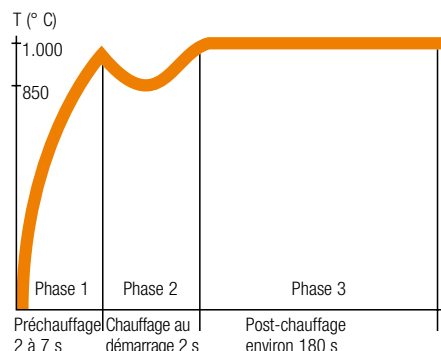
L'état de fonctionnement du moteur est enregistré, par exemple, en mesurant la température du liquide de refroidissement. La phase de post-chauffage dure jusqu'à ce que la température du liquide de refroidissement atteigne 70 °C. Elle sera autrement arrêtée après une période définie dans un tableau de fonctionnement. Si la température du liquide de refroidissement était déjà supérieure à la température présente avant le démarrage, le post-chauffage est inutile.

PROTECTION CONTRE LA SURCHAUFFE

Les bougies-crayons de préchauffage à autorégulation sont protégées contre la surchauffe grâce à la limitation du courant fourni par la batterie due à l'augmentation de température. Cependant, quand le moteur tourne, la tension augmente et les bougies de préchauffage non conçues pour la nouvelle technologie grillent. De plus, les bougies alimentées sont exposées après le démarrage à des températures de combustion élevées et sont ainsi réchauffées de l'intérieur et de l'extérieur. Les bougies de préchauffage BERU adaptées au post-chauffage sont fonctionnelles si la tension de l'alternateur est maximale. Leur température augmente rapidement, mais elle est limitée par le nouveau filament régulateur à la température de saturation qui est inférieure à celle des bougies n'ayant pas la fonction de post-chauffage.

Important : Dans un système de préchauffage conçu pour les bougies de préchauffage GN, seules les bougies de préchauffage GN peuvent être utilisées. Les bougies GV pourraient être très rapidement endommagées.

Préchauffage en 3 phases.



Principe de câblage d'une unité de préchauffage adaptée au post-chauffage avec quatre bougies de préchauffage rapide montées en parallèle et un capteur de température.

Bougies-crayons de préchauffage à autorégulation

DÉMARRAGE RAPIDE EN 2 SECONDES

Avec les bougies de préchauffage BERU GN adaptées au post-chauffage, il est possible de réduire le temps de préchauffage jusqu'à 2 à 5 secondes. Pour y parvenir, les constructeurs ont réduit le diamètre de la pointe avant du crayon. Ainsi, le crayon commence à chauffer très rapidement dans cette zone. À une température de 0 °C, cette période dure 2 secondes avant le démarrage. Quand les températures sont inférieures, le système s'adapte aux exigences en réglant la durée du préchauffage. Elle augmente en conséquence : à -5 °C la durée approximative est de 5 secondes et à -10 °C d'environ 7 secondes.

RÉDUCTION DE LA FUMÉE BLANCHE/BLEUE

Jusqu'à ce que la température d'allumage idéale soit atteinte, une fumée blanche ou bleue sort de l'échappement. Ces types de fumée sont le résultat d'une combustion incomplète du carburant suite à une température d'allumage trop faible. Grâce au post-chauffage, le Diesel brûle totalement et sans bruit pendant la phase de préchauffage. L'opacité des fumées est ainsi réduite de plus de 40 %.

SUPPRESSION DES COGNEMENTS PENDANT LE DÉMARRAGE À FROID

Les cognements pendant le démarrage à froid d'un moteur Diesel sont dus au retard d'allumage lorsque le moteur est froid. Le carburant s'enflamme difficilement et le moteur cogne. La bougie de préchauffage GN amène plus rapidement le moteur à la température de service par le biais du préchauffage et du post-chauffage. Le moteur démarre ainsi en douceur, son fonctionnement est plus régulier et les cognements évités. Le carburant brûle ainsi de manière plus uniforme et complète. Il est donc possible de dégager plus d'énergie et la température de la chambre de combustion augmente plus rapidement.



Dépôts de carbone sur le papier du filtre trois minutes après le démarrage à froid. Avec le post-chauffage (à droite), les dépôts de carbone sont inférieurs d'environ 40 % par rapport au processus sans préchauffage.

Caractéristiques techniques des bougies de préchauffage GN

- Bougie de préchauffage extra-fine pour un démarrage rapide
- Durée de préchauffage courte : entre 2 et 7 secondes
- Démarrage fiable (même à -30 °C)
- Respect de l'environnement : émissions polluantes réduites de 40 % dans la phase de préchauffage
- Absence de cognements
- Fonctionnement plus silencieux du moteur
- Démarrage en douceur du moteur
- Pour les véhicules avec des tensions de service jusqu'à 14,5 V

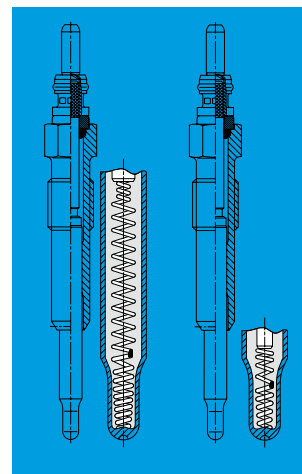
Système de démarrage instantané ISS BERU

Un démarrage immédiat, identique à celui des moteurs à essence, présentait un grand défi pour les moteurs Diesel. La solution proposée par les ingénieurs BERU : le système de démarrage instantané ISS.

Concept du système

Le système ISS BERU se compose d'un boîtier de commande électronique et de bougies de préchauffage optimisées avec une durée de préchauffage réduite au maximum de 2 secondes, contre 5 secondes pour une bougie de préchauffage standard (SR). Elles ont besoin de moins d'énergie aussi bien dans la phase de préchauffage que dans la phase de saturation.

Les semi-conducteurs de puissance du boîtier de commande font office de commutateurs des bougies de préchauffage et remplacent le relais électromécanique utilisé autrefois. Par rapport aux bougies de préchauffage à autorégulation classiques, les enroulements des spires sont considérablement plus courts et la zone de préchauffage est limitée à environ un tiers pour les bougies de préchauffage optimisées ISS. Pour les moteurs à injection directe, ceci correspond à la partie du crayon qui dépasse dans la chambre de combustion.



Structure interne d'une bougie de préchauffage standard à autorégulation SR (à gauche) et d'une bougie de préchauffage optimisée ISS (à droite).

Commandes électroniques

Quand le moteur tourne, la bougie de préchauffage est refroidie par les variations de régime à l'admission et la circulation d'air dans la phase de compression. La température de la bougie de préchauffage diminue lorsque le régime augmente pour une tension de bougie de préchauffage et un débit d'injection constants. Lorsque le débit d'injection augmente et que la tension de la bougie de préchauffage est constante, la température augmente alors. Ces effets peuvent être compensés par le boîtier de commande électronique. La tension optimale pour le point de fonctionnement correspondant se situe toujours au niveau des bougies de préchauffage. La température de la bougie de préchauffage peut ainsi être réglée en fonction du niveau de fonctionnement. De plus, la bougie de préchauffage est utilisée en combinaison avec le boîtier de commande électronique pour réchauffer extrêmement rapidement la bougie de préchauffage. Ceci se produit en appliquant toute la tension présente aux bornes de la bougie de préchauffage pendant une période prédéfinie, puis en appliquant de manière synchronisée la tension effective nécessaire. La période de préchauffage normale est ainsi réduite à 2 secondes max., même quand les températures sont basses. Le rendement du système est tellement élevé que l'énergie consommée est à peine supérieure à celle des bougies de préchauffage. Comme pour le système ISS, chaque bougie de préchauffage est commandée par un semi-conducteur de puissance séparé, il est possible de surveiller individuellement le courant dans chaque circuit de bougie de préchauffage. Des diagnostics individuels peuvent ainsi être réalisés sur chaque bougie.



Système de préchauffage à commande électronique ISS : boîtier de commande et bougies de préchauffage.



Le système de démarrage instantané BERU offre un démarrage immédiat aux moteurs à allumage par compression, tout comme les moteurs à allumage commandé.

Caractéristiques techniques de l'ISS

- Démarrage fiable même à -30 °C
- Chauffage extrêmement rapide : 1000 °C en 1 à 2 secondes
- Puissance nécessaire réduite (important, notamment pour les moteurs avec 6 cylindres ou plus)
- Haute fiabilité fonctionnelle
- Température réglable pour préchauffage, chauffage intermédiaire et post-chauffage
- Nombreuses fonctions de diagnostic
- Ralenti immédiatement stable et entraînement parfait de la charge
- Réduction des émissions polluantes
- Spécialement conçu pour les moteurs Diesel à injection directe
- Diagnostic embarqué

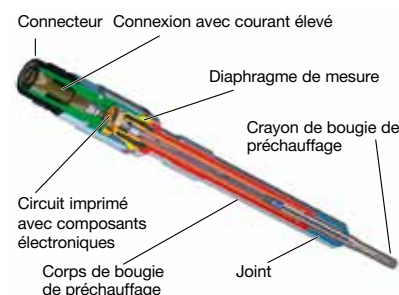
BERU – Le plus grand innovateur en matière de bougies de préchauffage à capteur de pression, PSG

BOUGIE DE PRÉCHAUFFAGE INTELLIGENTE AVEC CAPTEUR DE PRESSION

Les nouvelles lois européennes et américaines en matière de réduction des gaz d'échappement vont contribuer à réduire les émissions autorisées de gaz d'échappement pour les moteurs Diesel. Les valeurs limites concernant les émissions d'azote et les particules des moteurs Diesel seront de 90 % inférieures au niveau actuel. Les solutions traditionnelles ne suffiront pas pour atteindre ces valeurs en matière d'émissions. Les ingénieurs BERU ont intégré un capteur de pression piézorésistif dans la bougie. Ceci est un aspect réellement positif en ce qui concerne les températures extrêmement élevées, les vibrations et les taux de compression dans la culasse de la structure mécanique de la bougie de préchauffage. Le crayon n'est plus introduit à l'aide d'une presse dans le corps de la bougie de préchauffage, mais positionné de manière élastique comme un élément mobile qui transmet la pression à une membrane située à l'arrière de la bougie de préchauffage. Le capteur de pression proprement dit est donc éloigné de la chambre de combustion à un emplacement où les conditions ambiantes sont plus favorables. La charge thermique du dispositif d'étanchéité peut être maîtrisée grâce au crayon du système de démarrage rapide ISS des moteurs Diesel BERU, dont seule la pointe chauffe.

La PSG intelligente (bougie de préchauffage avec capteur de pression) a déjà été testée par plusieurs constructeurs automobiles européens et devrait être prochainement utilisée dans les derniers moteurs Diesel.

Pour plus d'informations sur la PSG de BERU, lisez la brochure PSG



The intelligent PSG
(pressure sensor glow plug).

Bougie de préchauffage céramique CPG01

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES INTERNES ÉLEVÉES

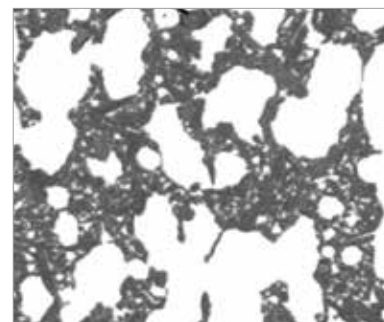
La composition des matériaux est essentielle pour garantir les performances des bougies de préchauffage céramiques BERU, comme la céramique au nitrure de silicium haute résistance contenant du disiliciure de molybdène conducteur électrique dans une structure interpénétrée. Cette céramique peut supporter jusqu'à 200 bars et des températures allant jusqu'à 1300 °C, tout cela dans les atmosphères gazeuses régnant dans la chambre de combustion (air ambiant, gazole, oxygène, eau).

PERFORMANCES SUR LA POINTE

En plus du réchauffement rapide, la conception du crayon placé à l'extérieur, bien entendu brevetée, permet aussi d'optimiser la régulation. En outre, la capacité de chauffage de la bougie se concentre sur la pointe de l'élément céramique, ce qui demande moins d'énergie pour obtenir la température requise au démarrage du moteur et, par conséquent, moins de carburant par rapport aux bougies classiques. En plus d'une fiabilité largement supérieure, la résistance dans le système de régulation permet également de garantir que la bougie de préchauffage céramique BERU offre en permanence le meilleur équilibre. Elle contribue aussi à une réduction de la consommation et des émissions.

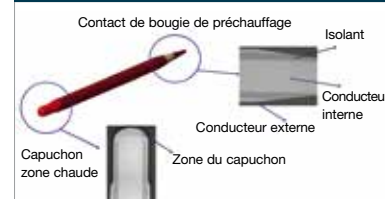
UN PROCESSUS EXCLUSIF

Les bougies de préchauffage céramiques BERU sont fabriquées dans des usines de production en série brevetées. L'élément chauffant céramique est produit grâce à un procédé de moulage par extrusion et injection. Viennent ensuite les processus d'élimination des contraintes, de frittage et de durcissement afin d'obtenir les tolérances étroites requises avant de pouvoir être adapté dans les corps métalliques. Cela demande plusieurs étapes de fraisage. Les matériaux étant très durs et résistants, le fraisage doit être effectué avec des outils avec pointe en diamant. Le contact du crayon céramique est obtenu au cours de procédures spéciales à haute température sur la totalité de la surface. L'extrême résistance obtenue permet de résister aux oscillations et aux changements de température. En combinant la conception innovante avec un matériel de grande résistance et les processus de production modernes, les bougies de préchauffage BERU ont des caractéristiques exceptionnelles.



Microstructure céramique des bougies de préchauffage BERU renforcée par les petites tiges en nitrure de silicium et les grains blancs de disiliciure de molybdène, formant la structure tridimensionnelle électriquement conductrice.

Structure du crayon céramique sur la bougie de préchauffage BERU



L'élément de chauffage massif est constitué de céramique conductrice de l'électricité. La résistivité de celle-ci étant plus élevée en surface que celle des matériaux conducteurs d'alimentation et de masse, la tige incandescente ne chauffe qu'au niveau de la pointe (capuchon) et atteint ainsi plus rapidement des températures élevées. La connexion de la bougie de préchauffage se compose d'un conducteur interne et d'un conducteur externe séparés par un isolateur.

Bougies de préchauffage BERU : sécurité cinq fois plus efficace pour une qualité optimale

1. CONÇUES EN ÉTROITE COLLABORATION AVEC LES CONSTRUCTEURS AUTOMOBILES

En tant que spécialiste du démarrage à froid des moteurs et partenaire de développement de l'industrie automobile, BERU participe dès le début à la conception des bougies de préchauffage, mais aussi au développement de nouveaux moteurs. Ainsi, il a été possible de définir exactement la position de montage de la bougie de préchauffage dans le moteur, et les ingénieurs BERU sont informés avec précision sur la valeur particulière des paramètres donnés et sur la puissance que doivent présenter les futures bougies de préchauffage.

2. FABRIQUÉES SELON LES NORMES ISO

Les bougies de préchauffage BERU ont été conçues conformément aux normes ISO 7578 et ISO 6550. Celles-ci régissent les dimensions et les tolérances autorisées en matière de géométrie, d'angle d'étanchéité, de taille de clé, de diamètre du crayon, etc.

3. MISE AU POINT CONFORME AUX CAHIERS DES CHARGES DE L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

Les bougies de préchauffage BERU sont conformes aux cahiers des charges de l'industrie automobile qui varient selon les constructeurs. Il est question par exemple, d'un fonctionnement continu compris entre 10 000 et 25 000 cycles.

De plus, les bougies de préchauffage BERU ont été testées en conditions réelles dans la chambre froide. Leur résistance en matière d'influences environnementales, de produits de contact, d'additifs et de nettoyants pour moteur a également été testée.

4. SOUMISES À DES TESTS SPÉCIAUX DE BERU

Les bougies de préchauffage BERU ont été soumises à des essais de fonctionnement spéciaux, adaptés aux exigences pratiques du quotidien et de l'atelier, comme par exemple, la simulation des forces de tirage des connecteurs ou des essais rapides de surcharge. Les contrôleurs sont inflexibles concernant ces essais rapides de surcharge : au bout de 3000 cycles, chaque échantillon doit encore être fonctionnel.

5. FABRIQUÉES SELON LES MÉTHODES DE PRODUCTION LES PLUS MODERNES

La fabrication de bougies de préchauffage modernes longues et minces pour les moteurs Diesel à injection directe représente des exigences particulières. Le diamètre du tube à incandescence doit être exactement adapté à la chambre de combustion selon une longueur de dimension précise. Le tube à incandescence doit dépasser dans la chambre de combustion selon une longueur précise. Ainsi, la turbulence n'entraîne aucune émission de gaz nocif supplémentaire. Les caractéristiques thermiques de la bougie de préchauffage doivent également être adaptées à la forme de la chambre de combustion, et la consommation de courant des bougies de préchauffage doit être adaptée au circuit électrique du véhicule. Ces bougies de préchauffage extra-fines, comme celles proposées par BERU, peuvent uniquement être fabriquées en respectant la qualité requise sur les installations de production les plus modernes.

Le bas de gamme... renoncez-y !

ENROULEMENTS À 2 FILAMENTS, MAIS TECHNOLOGIE À 1 FILAMENT UNIQUEMENT

Seule une bougie de préchauffage à 2 filaments offre la durée de chauffage réduite et la résistance thermique requises par les constructeurs automobiles. Comme le second filament n'est pas immédiatement visible de l'extérieur, la plupart des constructeurs font l'impasse sur le filament régulateur. Sans limite de courant de préchauffage, la batterie est excessivement sollicitée au démarrage, et comme le préchauffage n'est pas atteint dans les délais prescrits, le véhicule ne démarre pas ou seulement difficilement (voir Figure 3).

REVÊTEMENT DU CRAYON AVEC UNE POUDRE ISOLANTE DE QUALITÉ INFÉRIEURE

Au lieu de la poudre de magnésium utilisée par BERU, qui est comprimée et séchée avant la pose, les bougies de préchauffage bas de gamme sont en général recouvertes d'une poudre isolante peu compacte, parfois contaminée et appliquée sans séchage. Conséquence fatale : lors de la première incandescence la poudre se dilate et le tube à incandescence gonfle. Le démontage des bougies de préchauffage n'est possible que si la culasse est également démontée ! (voir Figure 9).

FILAMENT CHAUFFANT NON CENTRÉ ET SERTI SUR LA BROCHE DE CONNEXION

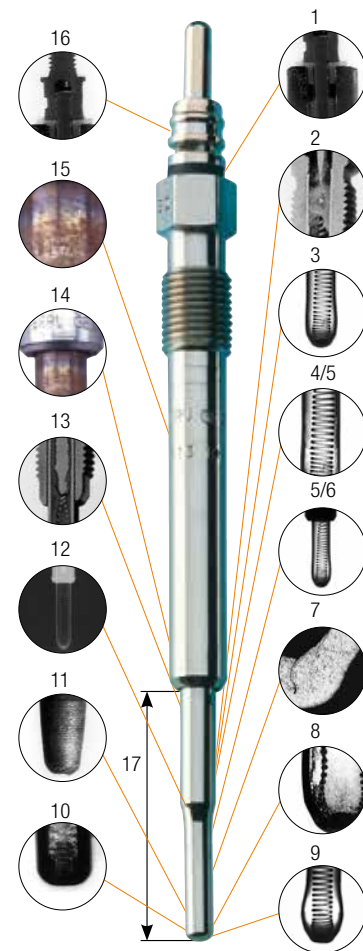
C'est ici un point essentiel de la qualité de production. La broche de connexion ne peut être centrée et sertie qu'avec les machines de production les plus modernes. Les constructeurs peu consciencieux poussent simplement le filament chauffant sur la broche de connexion. Mais, la protection nécessaire contre les courts-circuits n'est alors pas garantie (voir Figures 5 et 13).

MAUVAIS CONTACT

Sur les bougies de préchauffage de qualité inférieure, les pattes de connexion électrique ne sont pas positionnées selon les spécifications de première monte. La connexion semble similaire à celui des bougies de préchauffage d'origine, mais le contact ne se fait pas correctement. La connexion électrique sur la bougie de préchauffage n'est donc pas garantie. Certains de ces fabricants réalisent aussi des économies sur le matériau des pièces de raccordement au détriment de l'établissement du contact électrique (voir Figure 16).

TUBE À INCANDESCENCE MAL SOUDÉ

De nombreux constructeurs offrant des produits bas de gamme ne disposent pas de la technique de production pour souder avec précision un tube à incandescence. Résultat : des microfissures se produisent sur les tubes à incandescence. Il peut donc y avoir un problème d'étanchéité pouvant provoquer des courts-circuits.



Comment reconnaître les bougies de préchauffage de qualité inférieure ?

Symptôme	Danger	Symptôme	Danger
1 Étanchéité simple	Non étanche à l'eau	11 Pointe du tube à incandescence tordue, crayon trop mince	Calaminage, durée de vie réduite
2/9 Poudre de magnésium du tube à incandescence	Isolant de mauvaise qualité, gonflement du tube	12 Spirale incandescente mal conçue	Surcharge de batterie en raison du courant trop élevé, risque de brûlure des contacts du boîtier de commande du temps de préchauffage : La durée de vie risque d'être limitée et le fonctionnement altéré
3 Technologie à 2 filaments nécessaire, mais un seul filament	Profil des caractéristiques ne répond pas aux spécifications des constructeurs	5/13 Filament de préchauffage inclinée	Court-circuit
4 Épaisseur de paroi non continue	La bougie de préchauffage grille	14 Cône non adapté à la culasse	Problèmes d'étanchéité, destruction de la culasse
5 Filament en travers dans le tube à incandescence	Court-circuit	15 Surface sans revêtement protecteur	Blocage par la rouille dans l'alésage
6 Tube à incandescence non centré, absence de concentricité : La bougie de préchauffage est en travers dans la chambre de précombustion ou de turbulence	La bougie de préchauffage est définitivement endommagée par le jet d'injection et brûle	16 Manchon seulement positionné	Diminution et coupure de l'alimentation de courant, contact intermittent
7 Microfissures sur le crayon	Peut griller	17 Cote de porte-à-faux non conforme aux données du fabricant	Si la cote de porte-à-faux est trop longue : le jet d'injection fait sauter la bougie de préchauffage. Si elle est trop courte : problèmes de démarrage
8/9 La pointe du crayon est revêtue d'une poudre de magnésium non étanche et/ou humide	Court-circuit, gonflement de la tige à incandescence, durée de vie limitée		
10 Pointe percée, mal soudée welded through	Peut griller		

Origines des défaillances des bougies-crayons de préchauffage

Par temps chaud et sec, le moteur Diesel démarre même si une bougie de préchauffage est défectueuse et que seules les autres bougies préchauffent. Dans ce cas, le démarrage est généralement associé à des émissions polluantes élevées et éventuellement à des cognements. Le conducteur ne s'en aperçoit pas ou ne sait pas comment interpréter ces signes. La mauvaise surprise vient plus tard, lorsqu'il fait froid et que les premières gelées ont fait leur apparition : l'apport de chaleur au moteur Diesel ne se fait plus, le démarrage est difficile, d'épaisses fumées d'échappement apparaissent, mais ce qui est encore plus probable, c'est que plus rien ne fonctionne. Voici les anomalies les plus courantes ainsi que leurs causes. Ce diagnostic permet dans la plupart des cas d'arriver à une suppression rapide des défaillances.

CRAYON DÉFORMÉ (CREUX ET BOSSES)



Causes :

- Coupure du filament par :
- a) un fonctionnement à tension trop élevée, p. ex. à la suite d'un démarrage avec batterie d'appoint
 - b) une alimentation électrique trop longue due à un relais collé
 - c) un post-chauffage inadmissible alors que le moteur tourne
 - d) l'utilisation d'une bougie n'ayant pas de fonction de post-chauffage

Mesure corrective :

- a) batterie d'appoint au démarrage avec uniquement la tension du circuit du véhicule.
- b)/c) contrôler le système de préchauffage, remplacer le relais de préchauffage.
- d) installer une bougie adaptée au post-chauffage.

CRAYON PARTIELLEMENT OU TOTALEMENT FONDU OU CASSÉ



Causes :

- Surchauffe du crayon due à
- a) un début d'injection prématuré
 - b) des injecteurs calaminés ou usés
 - c) une détérioration du moteur, ex. grippage de pistons, rupture de soupape, etc.
 - d) des injecteurs qui gouttent
 - e) un segment de piston grippé

Mesure corrective :

- a) régler le point d'injection avec précision
- b) nettoyer ou remplacer les injecteurs
- c) contrôler la forme du jet
- d) réparer ou remplacer l'injecteur
- e) vérifier le déplacement des segments de piston



POINTE DU CRAYON ENDOMMAGÉE



Causes :

- Surchauffe du crayon due à
- a) un début d'injection prématuré avec surchauffe du crayon et du filament, le filament se fragilise et se casse
 - b) passage annulaire fermé entre le corps de la bougie et le crayon ; avec pour conséquence une perte importante de chaleur du crayon, le filament de régulation reste froid et fait passer un courant trop important vers le filament incandescent, provoquant une surchauffe

Mesure corrective :

- a) vérifier le système d'injection, régler exactement le point d'injection
- b) Respecter impérativement le couple de serrage spécifié par le constructeur automobile.

VIS DE CONNEXION ARRACHÉE, EMPREINTE SIX-PANS ENDOMMAGÉE



Causes :

- a) cassure de la vis de connexion : l'écrou a été serré avec un couple trop élevé.
- b) Six-pans détériorés : utilisation d'un outil inapproprié, la déformation provoque un court-circuit dans la bougie entre le corps et l'écrou rond.

Mesure corrective :

- a) serrer l'écrou de raccordement électrique avec la clé dynamométrique en respectant toujours le couple de serrage. Ne pas lubrifier ou graisser le filetage.
- b) serrer la bougie en utilisant une clé dynamométrique adéquate ; respecter parfaitement le couple de serrage prescrit (se reporter aux spécifications du constructeur automobile). Ne pas lubrifier ou graisser le filetage.



Conseils pour l'atelier

Testeur de bougies de préchauffage : Contrôle sans démontage de la bougie

Le nouveau testeur BERU permet de tester de manière simple et fiable les bougies de préchauffage céramique et en acier de 12 volts, individuellement, en position montée et sans démarrer le moteur.

Le nouveau testeur rapide BERU offre plusieurs avantages en atelier :

- Test fiable, rapide et économique, il n'est en effet pas nécessaire de déposer les bougies ou de faire démarrer le moteur
- Présélection du type de bougie de préchauffage (acier ou céramique) pas nécessaire
- Détection automatique de la tension nominale de la bougie de préchauffage (de 3,3 à 15 volts)
- Essai dans les conditions réelles
- Utilisation simple
- Possibilité de tester chaque bougie individuellement
- Affichage analogique pour le réglage de chauffe et actuel (possibilité de comparer les bougies de préchauffage séparément en matière de consommation réelle et de performance de régulation)
- Protection contre les courts-circuits et les inversions de polarité
- Protection contre la surchauffe (surveillance des bougies de préchauffage ajouté via un circuit indépendant)
- Procédure d'essai contrôlé par les courbes caractéristiques sur le matériel de contrôle électronique.
- Détection de contacts desserrés par le processeur, puis seconde vérification.
- Logiciel spécifique au microprocesseur intégré dans le testeur

Tous les ateliers devraient posséder un testeur de bougie de préchauffage BERU.



Conseil :
Testez les bougies de préchauffage avec le testeur rapide BERU. En cas de défaillance ou de fonctionnement limité, toutes les bougies de préchauffage doivent être remplacées.

L'expérience prouve que les bougies de préchauffage atteignent rapidement leur limite d'usure les unes après les autres, et après la dépose des fils de connexion et des rampes de conducteurs, le remplacement du jeu complet revient moins cher que de remplacer les bougies une par une.

Démarrage rapide et fiable d'un moteur Diesel

Problème	Cause	Solution BERU
Démarrage avec émission de fumée	La bougie de préchauffage n'a qu'un seul filament, la température est trop faible	Utiliser une bougie de préchauffage BERU à 2 filaments (filament chauffant et filament régulateur pour garantir une température élevée pendant les préchauffages courts)
Cognements en phase de démarrage	La bougie de préchauffage n'a pas d'effet de limite, ni de réserve de chaleur	Installer une bougie BERU avec fonction de post-chauffage pour un apport de chaleur optimal et rapide
Démarrage long qui décharge la batterie	La bougie de préchauffage chauffe trop lentement	Installer une bougie de préchauffage GN BERU parfaitement adaptée au moteur et au système de chauffage en trois phases (préchauffage, chauffage au démarrage, post-chauffage)
Démarrage difficile et irrégulier du moteur	La température finale est trop basse	
Le moteur ne démarre qu'après plusieurs tentatives	Bougie de préchauffage défectueuse	
Le moteur ne démarre qu'avec un dégagement d'odeurs désagréables	Les caractéristiques électriques de la bougie de préchauffage n'ont pas été correctement interprétées	
La tige incandescente est légèrement fondue ou grillée	L'épaisseur de la paroi du crayon est trop fine (ce qui est bien souvent le cas avec des bougies de préchauffage de mauvaise qualité)	
Le crayon est totalement fondu	L'injecteur est défaillant	Remplacer le porte-injecteur avec le porte-injecteur de rechange BERU

Conseils pour l'atelier

Couples

Important lors du remplacement des bougies de préchauffage : respecter les couples de serrage !

Filetage de bougie de préchauffage	Couple de rupture
M 8	20 Nm
M 9	22 Nm
M 10	35 Nm
M 12	45 Nm

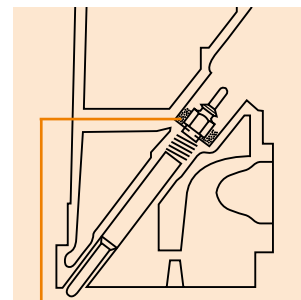
COUPLE DE RUPTURE

Le couple de rupture ne doit pas être dépassé lors du démontage des bougies de préchauffage.

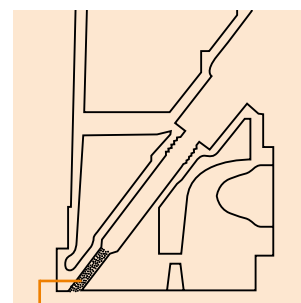
QUE FAIRE UNE FOIS LE COUPLE DE RUPTURE ATTEINT ?

Arrêter le desserrage qui aurait pour effet de casser la bougie de préchauffage. Suivre plutôt les trois étapes ci-dessous : Desserrer légèrement – Chauffer – Dévisser

1. Desserrer légèrement : Appliquer une grande quantité d'huile synthétique sur le filetage de la bougie de préchauffage et laisser agir, si possible une nuit ou plus.
2. Chauffer : Chauffer le moteur ou alimenter les bougies de préchauffage avec un câble séparé pendant 4 à 5 minutes (possible uniquement avec les bougies de préchauffage de 11 à 12 V), la bougie de préchauffage chauffe et se dégriffe.
3. Dévisser : Essayer alors de dévisser à nouveau, puis retirer avec précaution la bougie de préchauffage de la culasse avec un outil adapté (ne pas dépasser le couple de desserrage maximal, voir tableau ci-dessus. Arrêter avant d'atteindre le couple de rupture, si nécessaire renouveler le processus).



Pulvériser de l'huile synthétique à cet endroit.



Ces résidus de combustion peuvent être éliminés grâce à l'alésoir BERU.



Utiliser **UNIQUEMENT** une clé dynamométrique pour le montage et démontage des bougies de préchauffage.

Après avoir dévissé les anciennes bougies de préchauffage, nettoyer le filetage, le siège d'étanchéité conique et le puits de bougie de préchauffage dans la culasse avec les outils appropriés (voir ci-dessous).

Filetage de bougie de préchauffage	Couple de serrage
M 8	10 Nm
M 9	12 Nm
M 10	15 Nm
M 12	22 Nm

COUPLE DE SERRAGE

Lors du serrage des bougies de préchauffage neuves, le couple prescrit par le constructeur automobile doit être respecté.

Remarque : Pour les bougies de préchauffage avec connexion vissée, le couple de serrage de l'écrou doit également être respecté. L'alésage de la culasse présente souvent des résidus de combustion ou des particules de saletés, notamment après la carbonisation entre la bougie de préchauffage et la culasse. Pour les culasses avec un taraudage de 10 mm, ces résidus peuvent être éliminés de manière simple et fiable avec l'alésoir BERU (RA003 - 0 890 100 003).

Filetage d'écrou de connexion	Couple de serrage
M 4	2 Nm
M 5	3 Nm

Alésoir BERU : pour un nettoyage rapide et sûr de la culasse



L'alésoir BERU (RA003 - 0 890 100 003) élimine les dépôts de calamine qui peuvent s'accumuler après le grippage entre la bougie de préchauffage et la culasse.

MODE OPÉRATOIRE :

- Essuyer l'alésage des bougies de préchauffage avec un chiffon.
- Enduire la zone de coupe de l'alésoir BERU de graisse, puis le visser dans la culasse : Les résidus de combustion restent collés à la graisse et sont éliminés en desserrant l'outil.
- La bougie de préchauffage neuve peut alors être montée sans problème (respecter le couple de serrage !).
- Avant de monter les bougies de préchauffage, enduire de graisse GK (GKF01 - 0 890 300 034) leur filetage, ainsi que le puits dans la culasse.



GKF01 - 0 890 300 034

BERU® est une marque déposée de BorgWarner Ludwigsburg GmbH
PRMBU1435-FR



Global Aftermarket EMEA
Prins Boudewijnlaan 5
2550 Kontich • Belgium

www.federalmogul.com
www.beru.federalmogul.com

beru@federalmogul.com

 www.fmecat.eu

Perfection
intégrée

