

## BMW 2.0d (N47) le premier Diesel de production à plus de 100 ch/l

Après avoir remplacé les blocs-moteurs en fonte de tous ses 6 cylindres diesel par un bloc en aluminium, BMW fait de même pour ses 4 cylindres qui perdent ainsi 17 kg. Il s'agit là de versions complètement revues, coiffées d'une nouvelle culasse et complémentées par toute une série d'ingénieuses innovations.

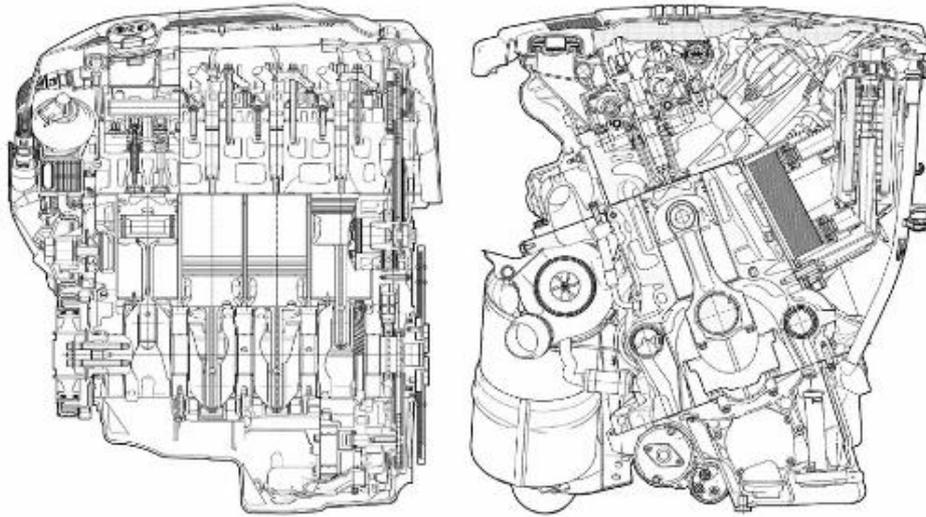
Comme ceux propulsés par les nouveaux moteurs à injection directe d'essence de la marque, les derniers modèles diesel ont un équipement électrique qui déleste **l'alternateur lors des accélérations**, ne le chargeant autant que possible qu'en décélération. En outre, le moteur est **automatiquement stoppé lors des arrêts au point mort** et sur les modèles à boîte manuelle, un témoin indique au conducteur le moment optimal de passage des rapports. Les arbres d'équilibrage tournent dans des roulements à aiguilles et la servo-direction est électro-hydraulique. Ainsi, la consommation normalisée de la BMW 118d dernier cru tombe à 4,7 l / 100 km.

**Cerise sur le gâteau, ce diesel peut être équipé d'une turbosuralimentation régulée à 2 étages pour... 150 kW, 204 ch !**



### Contenu :

- Page 1 : Sommaire.
- Page 2 : Nouveautés, modifications et particularités en bref.
- Page 3 : Bloc-cylindres.
- Page 4 : Arbres d'équilibrage. Vilebrequin.
- Page 5 : Bielles. Pistons. Culasse. Joint de culasse.
- Page 6 : Distribution.
- Page 7 : Injection. Circuit de lubrification. Pompe à vide dans le carter.
- Page 8 : Dégazage du carter à dépression régulée et séparation cyclonique.
- Page 9 : Sécurité anti-emballement. EGR : recirculation des gaz d'échappement.
- Page 10 : Turbocompresseur. Turbosuralimentation séquentielle à 2 étages - 1/2.
- Page 11 : Turbosuralimentation séquentielle à 2 étages - 2/2.
- Page 12 : Courroie poly-V biface.
- Page 13 : «Start-stop» automatique : consommation nulle à l'arrêt au point mort. Production de courant en décélération par la «Brake Energy Regeneration». Servo-direction électro-hydraulique.
- Page 14 : Caractéristiques.
- Page 15 : Autres photos.



## Nouveautés, modifications et particularités en bref

### Nouveautés sur les moteurs Diesel BMW

- Chaînes de distribution et de pompe haute pression du côté transmission (arrière)
- Arbres d'équilibrage sur roulements à aiguilles, intégrés dans le bloc-cylindres.
- Pompe à vide dans le carter d'huile, accolée à la pompe à huile
- Courroie d'auxiliaires double face
- Tous les organes auxiliaires du côté admission, à gauche
- Amortisseur de vibrations (damper) à roue libre
- Echangeur EGR avec by-pass (sur les versions de 130 et 150 kW avec boîte de vitesses manuelle)
- Démarreur sur le côté droit
- Bloc-cylindres coulé selon le procédé "Core Package System" de Hydro Aluminium Alucast
- Conduits d'huile en grande partie moulés intégralement dans le bloc-cylindres
- Gestion moteur Bosch DDE7
- Nouvelle pompe haute pression monopiston Bosch CP4.1 avec pression maximale de 1600, 1800 ou 2000 bars selon les versions
- Capteur de vilebrequin actif avec détection de l'inversion de rotation
- Bougies de préchauffage céramique.



### Modifications par rapport au prédécesseur

- Version de 150 kW avec turbosuralimentation séquentielle à 2 étages
- Bloc-cylindres en aluminium avec chemises sèches en fonte grise assemblées par thermosoudure
- Injecteurs piézo-électriques (uniquement pour les variantes de 130 et 150 kW)
- Linguets de distribution à galet plus compacts
- Culasse en deux parties
- Coquille de renforcement reliant les chapeaux de paliers centraux à la jupe du bloc-cylindres
- Chapeaux de paliers avec estampage
- Pompe électrique à carburant régulée en pression
- Chauffage du filtre à carburant commandé par le boîtier DDE
- Mesure électronique du niveau d'huile avec contrôle de qualité QLT.

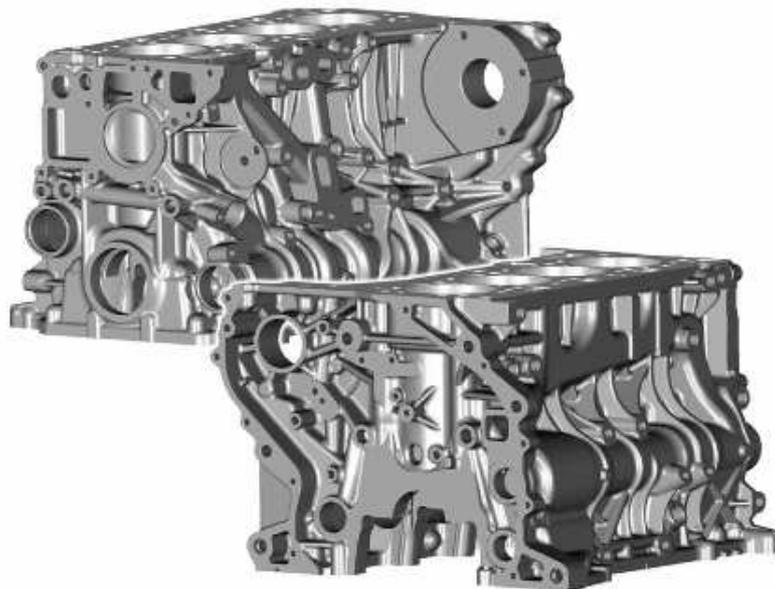


### Autres caractéristiques

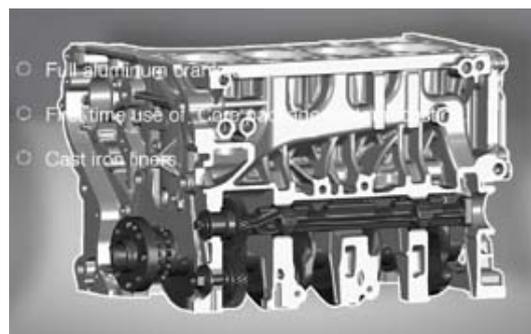
- Séparateurs d'huile cycloniques dans le couvre-culasse
- Emmanchement des cames sur des arbres tubulaires (méthode de ThyssenKrupp Presta)
- Volets de turbulence électriques (uniquement pour les versions de 130 et 150 kW)
- Réglage électrique de l'incidence des aubes d'entrée de turbine du turbocompresseur
- Catalyseur d'oxydation et filtre à particules dans un boîtier commun proche du moteur.



### Bloc-cylindres



Le bloc aluminium à tablature fermée et jupe profonde est coulé selon le procédé "Core package system" de Hydro Aluminium Alucast, tout comme celui du Mercedes 320 CDI (OM 642). Ce procédé, utilisant des moules de sable siliceux assemblés en paquets par un liant phénoluréthanique, fournit une résistance exceptionnelle à la fatigue qui dépasse même celle de la fonte grise. Associé à un alliage à haute résistance AlSi8Cu3 et à un traitement thermique optimisé, ce système de coulée procure au nouveau bloc la résistance requise pour une pression de combustion de 180 bars.



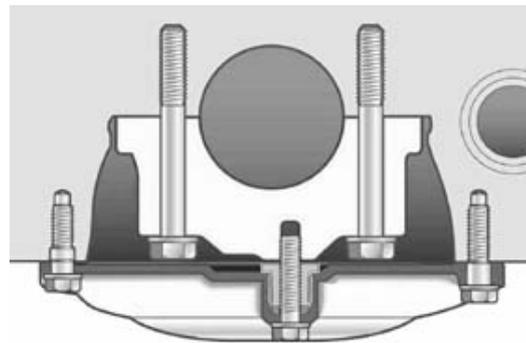
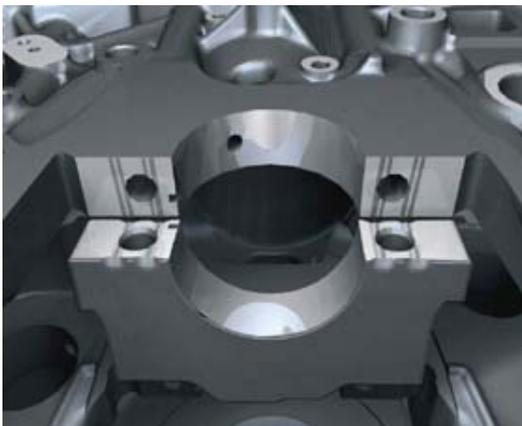
L'aluminium permet un important gain de poids, même par rapport à la fonte à graphite vermiculaire (CGI). En l'occurrence le poids du bloc est désormais de 28 kg au lieu des 45 kg du bloc en fonte grise antérieur (M47TU2). L'alliage d'aluminium offre une meilleure conductibilité thermique et facilite la fabrication de pièces de précision aux formes complexes intégrant les supports d'organes auxiliaires, les passages d'eau et conduites d'huile. Coulés dans le même métal que les culasses, les blocs alu évitent des coefficients de dilatation différents au niveau des joints de culasse.

L'entraxe de cylindres reste à 91 mm pour un alésage de 84 mm, ceci malgré des chemises sèches et un canal oblique de refroidissement percé entre les cylindres. Les chemises froides sont emmanchées dans le bloc-cylindres préalablement chauffé. Il se rétracte lors de son refroidissement,



enserrant les chemises et assurant ainsi leur immobilisation.

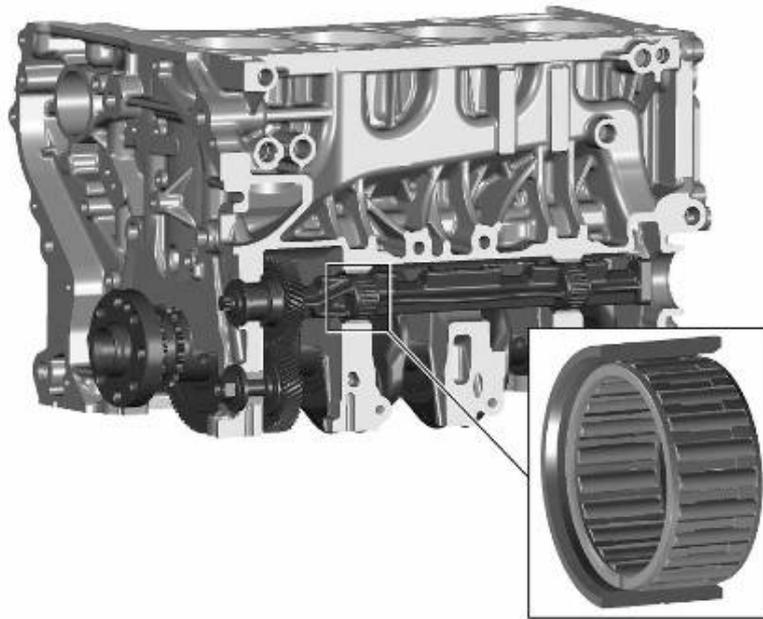
Les chapeaux de paliers en acier fritté sont individuels et ont des surfaces d'assemblage striées transversalement. Lors du premier serrage des vis de paliers, ces stries s'impriment dans la surface d'appui en aluminium du bloc-moteur, procurant par estampage un positionnement géométriquement exact et stable. Les stries doivent être plus courtes que la surface de contact côté bloc pour ne pas dépasser, mais être en butée. Afin de ne pas élargir les cloisons du bloc plus que nécessaire, les chapeaux de paliers sont donc légèrement rétrécis au niveau de leurs stries. Cette technique a été appliquée pour la première fois sur le V8 diesel M67TU, mais ici avec deux rainures seulement au lieu de six par surface d'appui sur le V8.



Les chapeaux de paliers sont boulonnés au bloc de façon conventionnelle par deux vis. Une 3ème vis solidarise les trois chapeaux centraux à une coquille de renfort en aluminium elle même vissée d'une part à la face inférieure du bloc et d'autre part au carter des pompes à huile et à vide. Cette coquille rigidifie le bloc-moteur sous la ligne d'arbre, accomplit le rôle de déflecteur pare-ventilation d'huile et elle incorpore aussi les conduits d'huile brute et d'huile filtrée.

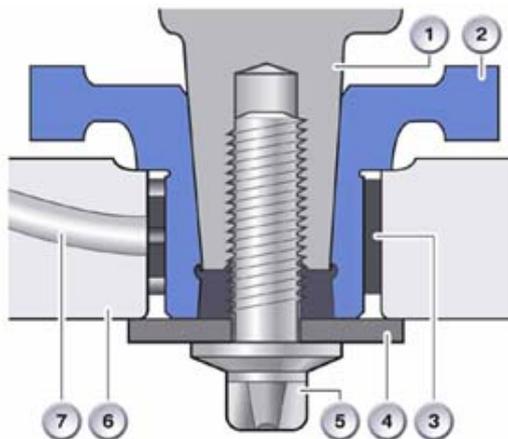


## Arbres d'équilibrage



Pour une raison de compacité et pour faciliter l'intégration du moteur dans les véhicules à 4 roues motrices, les deux arbres d'équilibrage contrarotatifs Lanchester qui annihilent les forces d'inertie de second ordre sont logés dans des tunnels latéraux du bloc-cylindres. En première, ces arbres tournent dans des roulements à aiguilles, ce qui réduit les pertes par friction.

Les pignons d'entraînement des arbres d'équilibrage sont solidarisés à leur arbre sur un cône (1) serré par une vis (5). Une grosse rondelle (4) derrière la tête de vis et une surface de butée sur le pignon (2) lui-même positionnent l'arbre axialement. La butée axiale est alimentée en huile par un canal (7) dans le bloc-cylindres (6). Le trou dans le coussinet (3) fait office de régulateur et l'huile traverse une fente du coussinet pour parvenir aux surfaces de butée axiale.

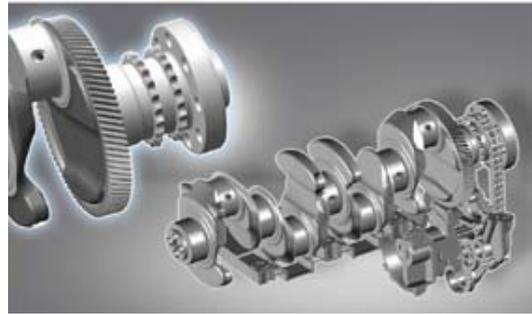


Les roulements à aiguilles ne sont pas alimentés séparément en huile. Pour que les arbres d'équilibrage tournent deux fois plus vite que le vilebrequin, leurs pignons d'entraînement ont 44 dents alors que la couronne dentée sur le vilebrequin à 88 dents.

Le pignon intermédiaire inverseur, de 44 dents lui aussi, est du côté échappement. Il tourne sur son axe dans un roulement à billes à portée oblique. L'axe est emmanché et vissé dans un manchon en acier serti dans le bloc-moteur. Ainsi les tolérances de montage sont plus faciles à respecter que si l'emmanchement se faisait directement dans l'aluminium du bloc.

## Vilebrequin

Le vilebrequin est en acier forgé 37Cr4 BY. BY indique un refroidissement sous contrôle à l'air libre qui assure une structure homogène du métal. Les spécifications d'acier correspondent à celles du moteur précédent (M47) et le traitement de surface est lui aussi identique : pour obtenir la dureté requise, le vilebrequin subit un traitement thermique par nitrocarburation. Il se forme ainsi une couche superficielle d'une dureté extrême, épaisse d'environ 10 microns. La nitrocarburation doit être répétée après rectification des portées.



Par rapport au moteur antérieur, le diamètre des tourillons est réduit de 60 à 55 mm alors que celui des manetons a été augmenté de 45 à 50 mm. La butée axiale se trouve sur le troisième palier, autrement dit au milieu du vilebrequin. La différence de dilatation entre le bloc en aluminium et le vilebrequin en acier est ainsi symétriquement répartie de chaque côté.

La couronne dentée entraînant les arbres d'équilibrage est sertie autour de la dernière flasque de vilebrequin et de son contrepoids (côté transmission), si bien que la largeur de cet engrenage n'augmente aucunement la longueur du moteur. Mais comme la couronne limite l'espace disponible pour la masse équilibrante, il a fallu loger une partie de cette masse contre le bras de manivelle adjacent, d'où le nombre insolite de 5 contrepoids.

## Bielles

Les bielles, forgées en acier C70, ont une longueur d'entraxe de 138 mm et un pied trapézoïdal garni d'une douille. La forme trapézoïdale du pied de bielle autorise une réduction de sa masse car il y a moins de matière du côté peu chargé alors que la largeur de portée de l'axe de piston est agrandie du côté soumis à la pression de combustion, d'où une moindre flexion de cet axe. Il y a ainsi une contre-dépouille de la surface de transfert de force. Les flancs obliques des paliers d'axe de piston causent un effet de pompage d'huile qui permet de supprimer l'orifice de lubrification de l'axe et son influence négative sur la résistance du palier.

Les chapeaux de bielle sont séparés par fracture, une méthode qui devient la norme car elle permet de supprimer l'usinage du plan de coupe. Les deux parties s'ajustent ensuite précisément l'une à l'autre si bien qu'un positionnement au moyen d'une douille de centrage est inutile.

## Pistons

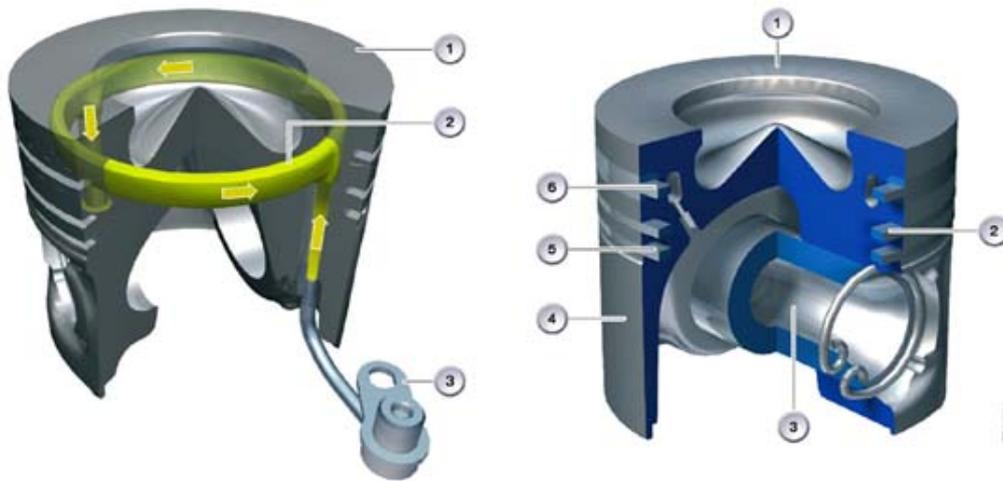
Les pistons, en alliage aluminium-silicium, sont à jupe pleine. Ils incluent des nervures en acier qui servent à maîtriser la dilatation et permettre ainsi une réduction du jeu. La surface de la jupe (4) est pourvue d'un revêtement graphité (procédé Graphal) qui réduit la friction avec la chemise en fonte grise et diminue le bruit.

Par rapport au moteur antérieur M47TU2, la chambre de combustion est un peu plus profonde en raison de la réduction du rapport volumétrique de 17 à 16 et les embrèvements pour les soupapes sont supprimés (1). La hauteur du segment de feu (6) et celle des cordons ont été accrues, ce qui implique une hauteur de compression (distance entre l'axe et la tête de piston) portée à 47 mm.

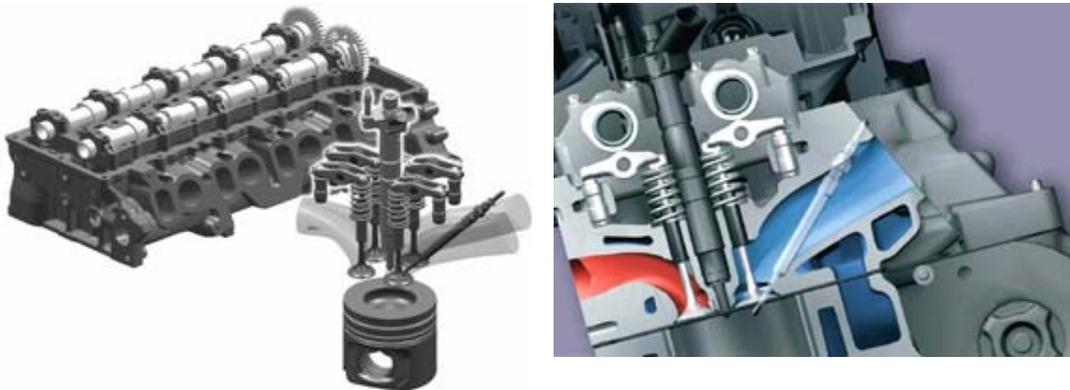
La gorge du segment de feu (6) comporte un insert en fonte. Un canal annulaire de refroidissement est situé à la hauteur de la segmentation, alimenté par des gicleurs dont le clapet individuel s'ouvre à partir d'une pression d'huile de 1,2 bar.



L'axe de piston (3) de 32 mm de diamètre est flottant et retenu par deux circlips. Il est en acier de cémentation 16MnCr5.



## Culasse



La culasse en alliage léger  $AlSi7MgCu0,5$  est une conception nouvelle ; elle est adjoindue d'une structure rapportée en alliage d'aluminium  $AlSi9Cu3(Fe)$  qui constitue les paliers d'arbres à cames. Les conduits d'admission, canal hélicoïdal (de section approximativement rectangulaire) et canal tangentiel, sont désormais tous latéraux.

Afin de minimiser les émissions, le canal tangentiel, de section ronde et optimisé pour le remplissage, est fermé en charge partielle et à bas régime par un volet dans le collecteur d'admission, en plastique. Les quatre volets sont ajustés graduellement à n'importe quelle position par une timonerie elle-même actionnée par un moteur à courant continu.

Les soupapes sont parallèles et de diamètre accru à l'admission, 27,2 mm contre 24,8 à l'échappement. Toujours dans le but de réduire les émissions toxiques, les sièges de soupapes sont légèrement en retrait, ce qui a permis de supprimer les embrèvements sur la tête de piston. Le conduit hélicoïdal imprime une forte turbulence en spirale (swirl) à l'air admis, turbulence qui assure une meilleure répartition des micro-gouttelettes de gazole lors de l'injection.



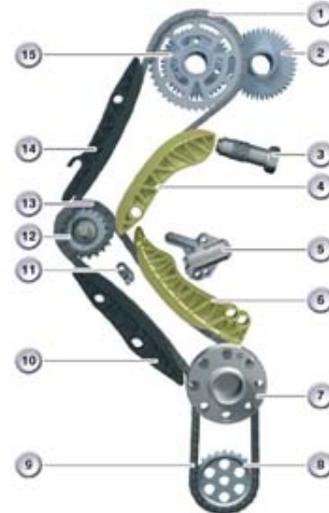
## Joint de culasse

Sur les moteurs fortement sollicités, on monte aujourd'hui des joints métalliques constitués de plusieurs feuilles en tôle d'acier. L'étanchéité est essentiellement réalisée par des feuilles nervurées et des feuilles étanches intégrées entre les feuilles d'acier à ressort.

Les propriétés de déformation des joints métalliques leur

permettent de bien s'adapter aux plans du bloc et de la culasse et elles leur confèrent une élasticité suffisante pour compenser les déformations thermiques et mécaniques de ces composants. Les quatre feuilles métalliques du joint de culasse sont constituées d'un ruban élastique. Autour de chaque chambre de combustion, un anneau est soudé sur la couche médiane – en acier inoxydable, tout comme les feuilles internes. Des traitements partiels de surface optimisent les caractéristiques du joint de culasse, qui existe en trois épaisseurs en fonction des différents dépassements des pistons.

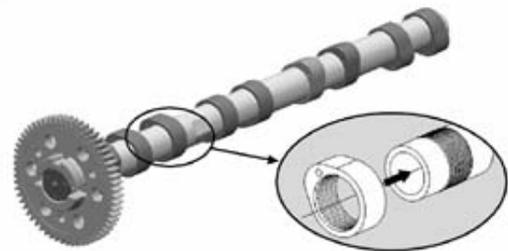
## Distribution



Les deux arbres à cames tournent en sens inverse, étant connectés par un engrenage. L'arbre d'admission est entraîné par une chaîne depuis la pompe à haute pression du système d'injection, elle-même entraînée par une autre chaîne à partir de l'arrière du vilebrequin, côté transmission. Cette disposition a permis de réduire la hauteur du moteur dans sa partie avant et de dégager ainsi plus d'espace de déformation sous le capot pour la protection des piétons.

Les cames et le pignon d'accouplement sont emmanchés à la presse sur un tube selon la méthode de ThyssenKrupp Presta. Pour une liaison robuste, l'intérieur des cames est nervuré axialement alors que l'extérieur du tube a des rainures radiales. Une rectification finale de l'arbre assemblé garantit un profil de cames de haute précision.

Comme sur quasiment tous les diesels d'automobile récents, des linguets à rouleaux pivotant sur des socles hydrauliques transmettent la poussée des cames aux soupapes.



Celles d'admission sont monométalliques et celles d'échappement bimétalliques. Les soupapes monométalliques sont forgées d'une pièce. Par contre, la queue et la tête des soupapes bimétal sont fabriquées séparément puis soudées par friction, ce qui présente l'avantage de pouvoir utiliser les matériaux optimaux tant pour la queue que pour la tête

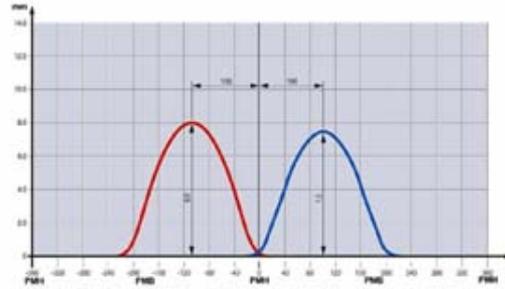
Ainsi, la queue de soupape peut être réalisée en acier très résistant à l'usure alors que la tête est constituée d'un matériau supportant bien les hautes températures. Il s'agit en l'occurrence d'un acier spécial NiCr20TiAl, connu

sous le nom de Nimonic.

Le diamètre des soupapes d'admission a été accru, de 25,9 mm sur le moteur précédent à 27,2 mm. À durées d'ouverture identiques, l'agrandissement de la section de passage améliore le remplissage des cylindres. Par contre, les soupapes d'échappement ont vu leur diamètre réduit de 25,9 à 24,6 mm (curieusement, le moteur M47 avait des soupapes d'admission et d'échappement de même diamètre). En compensation de leur diamètre réduit, la levée de ces dernières passe de 7,5 à 8 mm alors que la levée des celles d'admission reste à 7,5 mm.



Les durées d'ouverture indiquées sont de 221,8° à l'échappement et de 216° à l'admission, avec des centres de lobes calés à 108° avant le PMH pour l'échappement et 100° après le PMH pour l'admission. Il en résulte un diagramme de distribution de 39,3° - 2,5° - 8° - 28°.



## Injection



Le moteur est proposé en trois variantes de puissance qui se différencient par leur équipement d'injection Bosch à rampe commune et leur système de turbosuralimentation. Alors que la version de 105 kW a des injecteurs électromagnétiques alimentés sous une pression de 1 600 bars, les deux moteurs plus puissants disposent d'injecteurs piézo-électriques capables de 5 injections par cycle ; leur pression d'injection est portée respectivement à 1 800 et 2 000 bars.

Les trois variantes ont le même taux de compression de 16 : 1. Norbert Praschak, chef de projet, nous a précisé que la pression de combustion est contenue à 180 bars dans les versions de 130 et 150 kW en diminuant l'avance à l'injection.

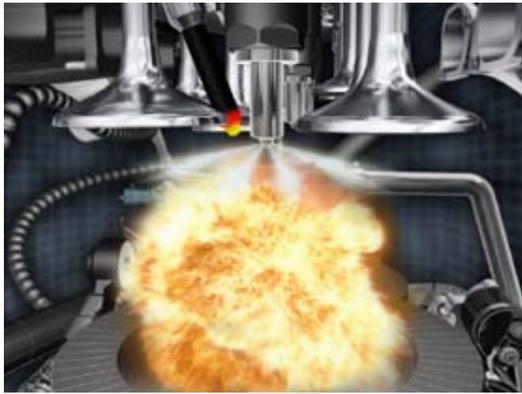


Illustration Bosch



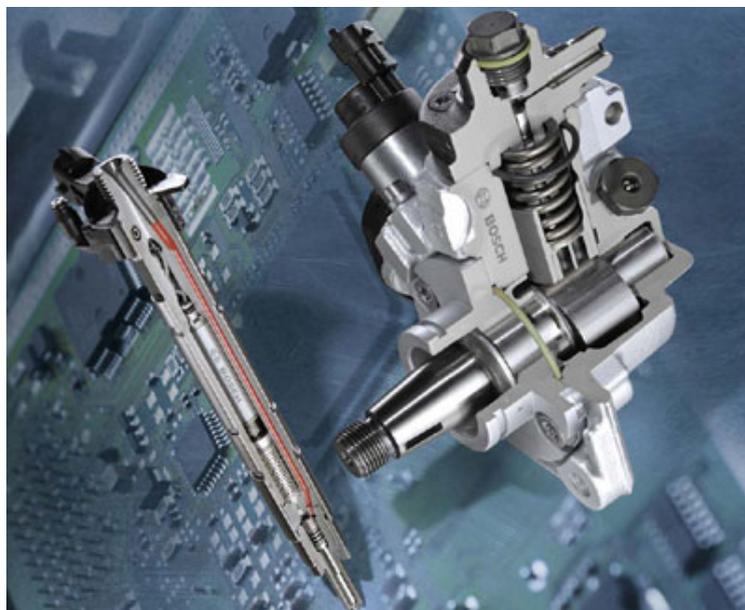
Injecteur électromagnétique, à gauche et injecteur piézo-électrique, à droite. Illustration Bosch



Voir la vidéo

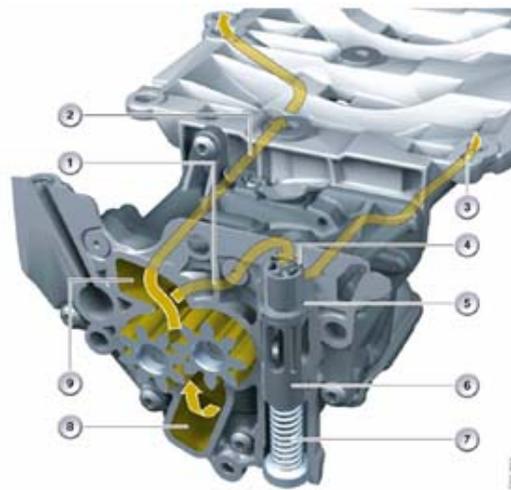
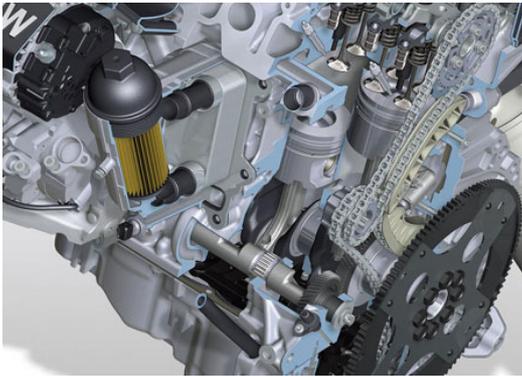


Téléchargez QuickTime si nécessaire



Injecteur piézo-électrique et pompe à haute pression monopiston Bosch CP4.1

## Circuit de lubrification



Au lieu d'une pompe à rotor et pour la première fois depuis le moteur M21 des 324 d/td et 524 td, une pompe à huile conventionnelle à engrenage externe est à nouveau utilisée. Elle est entraînée par un pignon de 21 dents à l'arrière du vilebrequin, une chaîne, et une roue dentée de 24 dents. Le débit théorique de refoulement est de 16 cm<sup>3</sup> par tour de pompe, soit 14 cm<sup>3</sup> par tour de vilebrequin. La pression d'ouverture du clapet de décharge accolé au carter de pompe est de 3,7 bars.

Ce clapet de décharge est particulier en ce sens qu'il régule à la fois la pression d'huile entre la pompe et le filtre et celle après le filtre. Ce dernier est installé sur le circuit principal et non pas en dérivation : tout le débit d'huile le traverse après avoir passé dans l'échangeur de chaleur eau-huile incorporé dans le même boîtier.

Logé entre le compresseur de climatisation et l'alternateur d'un côté et la pompe à haute pression du système d'injection de l'autre côté, le module échangeur-filtre est vissé directement contre le bloc-cylindres ; il est connecté aux chambres d'eau et aux canalisations d'huile du bloc sans aucun raccord ni tuyauterie. L'échangeur de chaleur accélère la montée en température de l'huile après un départ à froid et inversement il la refroidit ensuite lors de fonctionnement soutenu sous forte puissance.

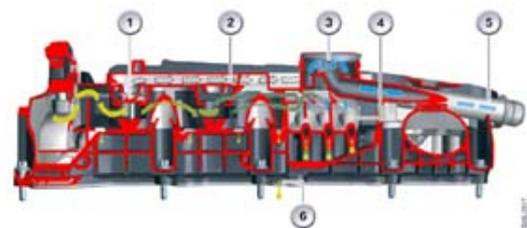
## Pompe à vide dans le carter

La pompe à vide pour le servofrein est accolée à la pompe à huile. Le but de cet assemblage singulier est de limiter la hauteur du moteur afin de se conformer à la norme "choc piéton" imposée par la législation européenne. La pompe est à palette en plastique avec rotor en acier dans un carter en alliage léger AlSi9Cu3. Elle est entraînée conjointement à la pompe à huile et elle génère une dépression de 0,5 bar (absolus) en moins de 5 secondes.

Le canal de dépression traverse le carter de la pompe à huile et le bloc-cylindres. Le tuyau de dépression principal, allant au servofrein et autres actionneurs, est raccordé au clapet antiretour logé à la sortie de la canalisation dans le bloc-cylindres.

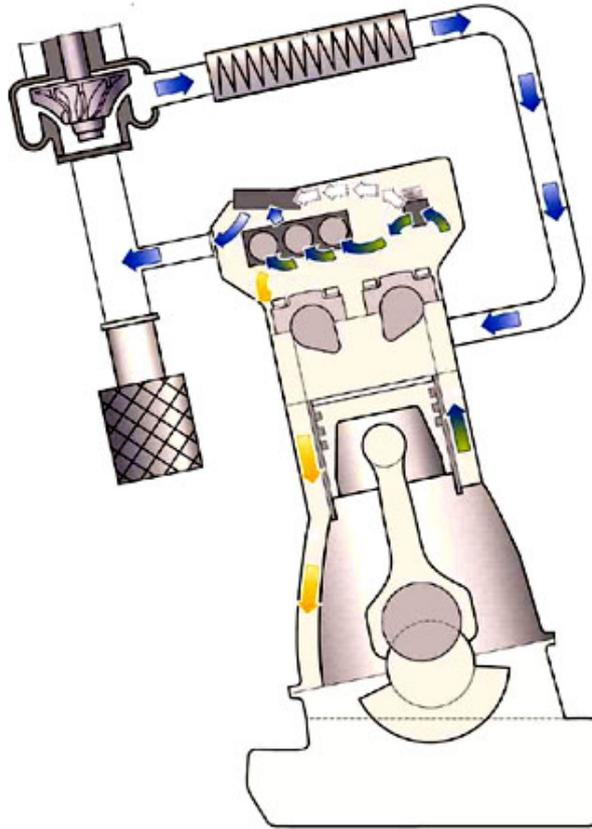
## Dégazage du carter à dépression régulée et séparation cyclonique

Le système d'aspiration des gaz du carter comprend trois séparateurs cycloniques qui centrifugent et séparent l'huile moteur des gaz de "blow-by" ayant fui à travers la segmentation. Du gaz de fuite ne contenant pratiquement pas d'huile est aspiré par le tuyau d'admission en amont du turbocompresseur alors que les gouttelettes d'huile retombent au carter par une canalisation de retour d'huile.



Un système de dégazage du carter à dépression régulée a été introduit pour la première fois sur le moteur M51TU des 325 / 525 td et tds. Un régulateur de pression limite la dépression dans le carter de vilebrequin à une valeur définie car une dépression excessive pourrait endommager les bagues annulaires d'étanchéité en bout de vilebrequin. De l'air frais serait aspiré dans le carter et provoquerait un encrassement d'huile. Le séparateur d'huile ne pourrait plus séparer toute l'huile amenée par un excès de gaz de fuite, ce qui causerait un

accroissement considérable des émissions toxiques et de la fumée bleue dans les gaz d'échappement.



Logé principalement dans le couvre-culasse, le système de dégazage du carter comprend les organes suivants:

- Canal de ventilation dans le bloc-cylindres
- Soupape de décharge
- Chambre de stabilisation
- Trois séparateurs cycloniques
- Canal de descente d'huile
- Régulateur de dépression
- Tuyau de raccordement à l'admission

Le gaz de fuite passe dans une chambre de stabilisation qui empêche que l'huile projetée notamment par les arbres à cames ne parvienne dans le circuit de dégazage. Le gaz entre alors tangentiellement dans les séparateurs cycloniques où il est contraint de tourner autour d'un court tube. La force centrifuge projette les particules lourdes, en l'occurrence des gouttelettes d'huile, sur la paroi externe du séparateur contre laquelle elles retombent par gravité cependant que l'air peut s'échapper vers le haut par le centre du tube après avoir suivi une trajectoire en spirale. Voir [Cyclonic separation](#).



Les séparateurs cycloniques sont particulièrement efficaces et ils amortissent aussi les pulsations de gaz, ce qui évite d'exciter la membrane du régulateur de pression. Les gaz de fuite épurés passent ensuite dans ce régulateur avant d'être aspirés dans le tuyau d'air d'admission allant du filtre à air au turbocompresseur.

## Sécurité anti-emballement

Si le niveau d'huile dans le carter d'un moteur diesel est trop haut ou que la fuite des gaz de combustion à travers la segmentation fait monter excessivement la pression dans le carter, chose facilitée par la présence des séparateurs cyclone qui constituent un goulot d'étranglement dans le système, de l'huile peut être aspirée à l'admission et brûler dans les chambres de combustion. Le moteur risque alors de s'emballer même avec l'injection coupée. L'emballement en surrégime ventile d'autant plus l'huile du carter, ce qui provoque une rétroaction positive et une montée en surrégime incontrôlée se terminant par une avarie catastrophique.

Pour cette raison, le moteur N47 est doté d'une soupape de décharge dans la chambre de stabilisation. Cette

soupage constitue un by-pass en amont des séparateurs cyclones qui s'ouvre à partir d'une surpression définie et laisse alors passer les gaz soufflés directement vers le régulateur de pression. Ainsi, même si la séparation de l'huile ne s'effectue pas proprement, une avarie grave du moteur est évitée. Ce by-pass intervient exclusivement dans cette situation d'urgence et il n'a aucun autre rôle. Par ailleurs, une fonction anti-surrégime du boîtier électronique DDE évite un emballement du moteur en fermant partiellement le papillon d'admission qui sert normalement à l'EGR et à la régénération du filtre à particules.

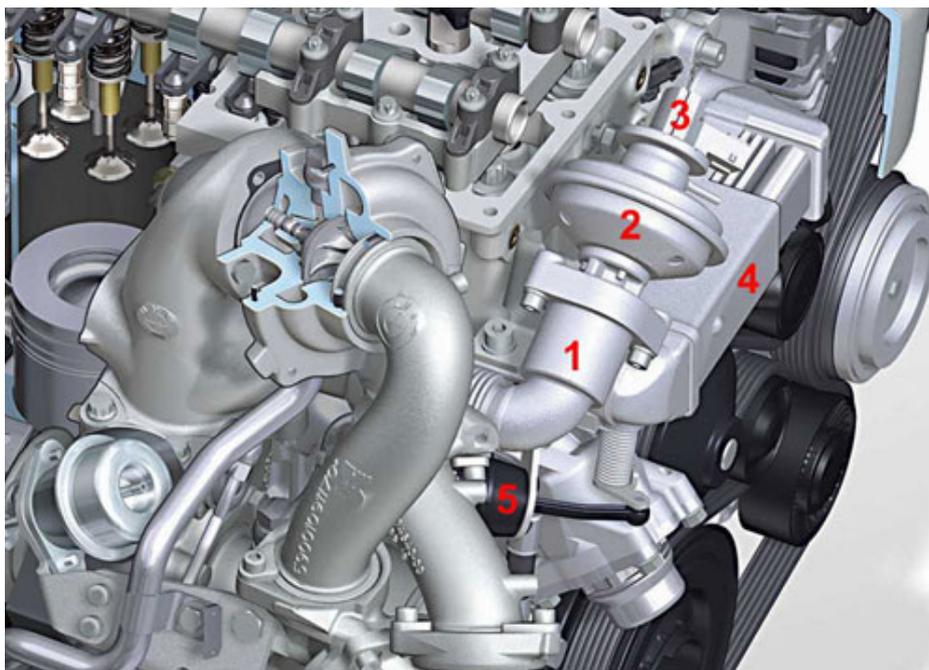
## EGR : recirculation des gaz d'échappement

Le recyclage des gaz d'échappement (EGR, pour Exhaust Gaz Recirculation) sert à réduire la formation des oxydes d'azote (NOx) qui sont produits en grande quantité lors de la combustion à haute température sous excès d'air. L'oxygène se combine alors avec l'azote de l'air de combustion pour former du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>).

Sur un moteur Diesel, le recyclage des gaz d'échappement s'effectue sous certaines conditions lorsque le moteur tourne au ralenti et systématiquement lorsqu'il fonctionne en charge partielle, car dans ces cas la combustion se déroule sous un important excès d'air.



La réintroduction d'une partie des gaz d'échappement à l'admission réduit la masse d'air admise et, par là, la quantité d'oxygène et d'azote disponibles pour la combustion. La température de combustion et la formation d'oxydes d'azote sont diminuées, surtout lorsque les gaz recirculés sont refroidis dans un échangeur de chaleur.



1. Vanne EGR
2. Actionneur pneumatique de la vanne EGR
3. Capteur de position de vanne EGR
4. Echangeur de chaleur eau - gaz recyclés
5. Actionneur du by-pass de l'échangeur de chaleur

Une quantité de gaz d'échappement définie en fonction des conditions de fonctionnement est réintroduite dans le collecteur d'admission.

Les gaz recyclés sont prélevés à l'extrémité frontale du collecteur d'échappement et ils sont introduits dans un module, disposé transversalement devant la culasse, où ils sont tout d'abord dosés par la vanne EGR. Cette vanne est fermée par un ressort et ouverte par un actionneur pneumatique à dépression, moins sensible à la chaleur qu'un actionneur électrique. Elle est désormais dotée d'un potentiomètre capteur de position qui enregistre son degré d'ouverture, ce qui permet de mieux ajuster le taux de gaz recirculés.

La vanne EGR est suivie de l'échangeur de chaleur où le liquide de refroidissement refoulé par la pompe à eau circule autour des tubes dans lesquels passent les gaz recyclés. Le liquide de refroidissement pénètre ensuite

dans la culasse alors que les gaz sont dirigés dans le collecteur d'admission par un conduit coulé lui aussi dans la culasse.

La variante de 130 kW avec boîte de vitesses manuelle ainsi que celle de 150 kW sont équipées d'un by-pass intégré dans l'échangeur qui permet, notamment pour accélérer la montée en température du moteur, de mélanger à l'air d'admission du gaz d'échappement non refroidi. Le clapet de dérivation directe est également ouvert par un actionneur pneumatique et refermé sous l'action d'un ressort. Il travaille en "tout ou rien", n'ayant que deux positions, ouverte ou fermée.

Le boîtier électronique DDE calcule le débit massique d'air frais théorique pour chaque point de fonctionnement et commande l'ajustement du taux d'EGR en fonction des valeurs suivantes :

- Régime
- Volume de carburant injecté
- Température du liquide de refroidissement
- Pression atmosphérique
- Température de l'air aspiré

Le recyclage des gaz d'échappement est réduit après 5 minutes de ralenti.

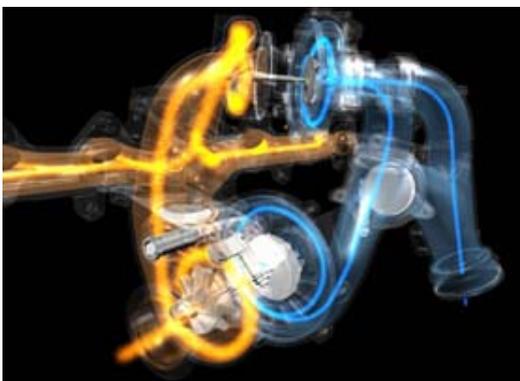
## Turbocompresseur

Les variantes de 105 et 130 kW sont équipées d'un turbocompresseur avec aubes d'entrée de turbine à incidence variable ("turbo à géométrie variable") commandées par moteur électrique.

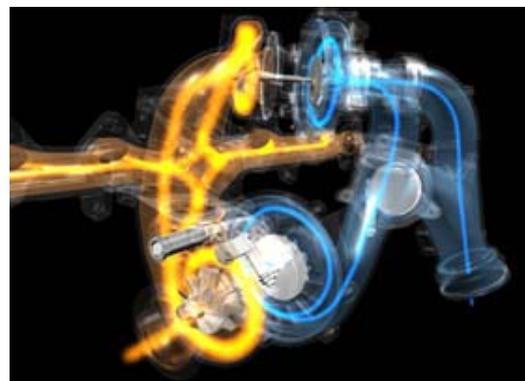
La pression de suralimentation maximale est de 1,5 bar au-dessus de la pression atmosphérique, soit 2,5 bars absolus.



## Turbosuralimentation séquentielle à 2 étages - 1/2

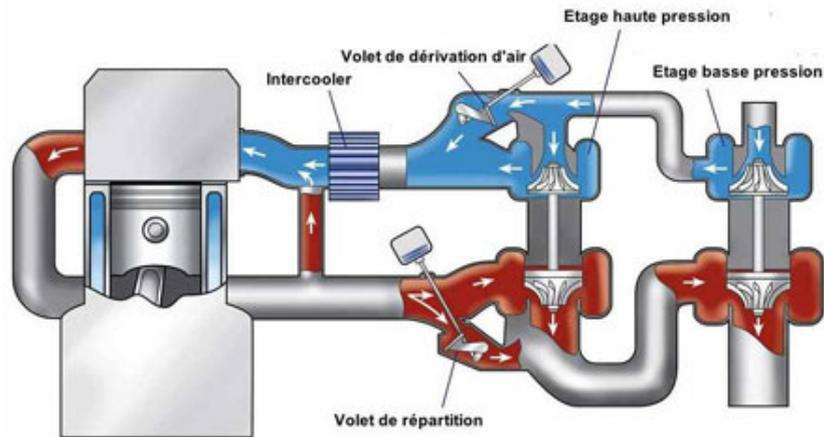


Volet de répartition fermé.  
Illustration BorgWarner Turbosystems



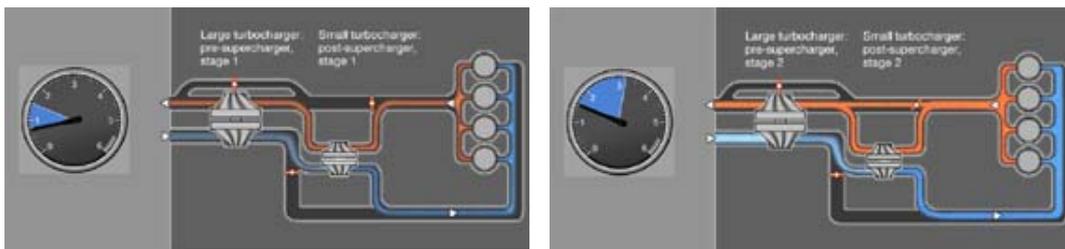
Volet de répartition ouvert.  
Illustration BorgWarner Turbosystems

Le principe de suralimentation exploité sur la version de 150 kW est identique à celui déjà appliqué sur le moteur 3.0 d (M57TU D30) avec [turbosuralimentation séquentielle à 2 étages](#) que nous avons décrit dans notre dossier de juillet 2004.



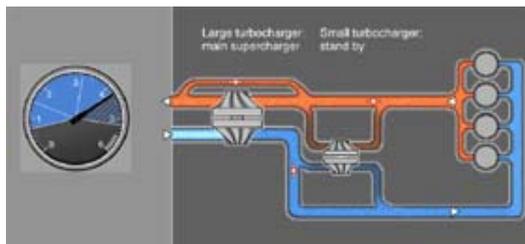
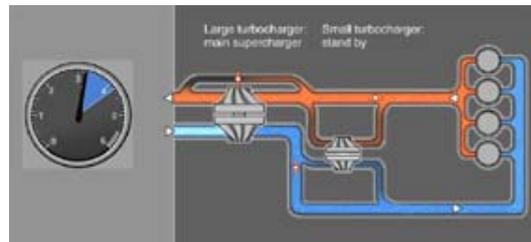
Ce concept, dit "turbosuralimentation régulée à 2 étages R2S", de BorgWarner Turbosystems comprend deux turbocompresseurs de dimensions différentes montés en série. Le plus petit assure une réponse transitoire rapide et une forte pression d'admission à bas régime déjà. Lors de la montée en régime du moteur, le plus gros turbocompresseur (dont la turbine est en aval et le compresseur en amont par rapport aux flux respectifs qui les traversent) prend progressivement le relais jusqu'à ce qu'il puisse générer seul la pression d'admission voulue, en l'occurrence limitée à 3 bars (absolus) par une soupape de décharge (waste-gate) conventionnelle.

Un système similaire équipe également le Mercedes Sprinter et le MAN TGL avec moteur 4 cylindres D08 de 151 kW.



À bas régime les clapets sont fermés et la totalité des gaz d'échappement est dirigée d'abord vers l'étage à haute pression avant de passer dans la turbine de l'étage à basse pression. Une réponse transitoire rapide résulte du faible moment d'inertie des parties rotatives du petit turbocompresseur, qui est en outre adapté pour fournir une pression d'admission élevée à bas régime déjà. Les émissions de fumée (particules de suie) sont réduites, le couple accru et la consommation spécifique diminuée.

Lorsque le régime augmente, le volet qui permet aux gaz d'échappement de passer directement dans la grosse turbine de l'étage basse pression est graduellement ouvert. La position de ce clapet détermine la proportion de gaz alimentant la turbine du compresseur à haute pression.



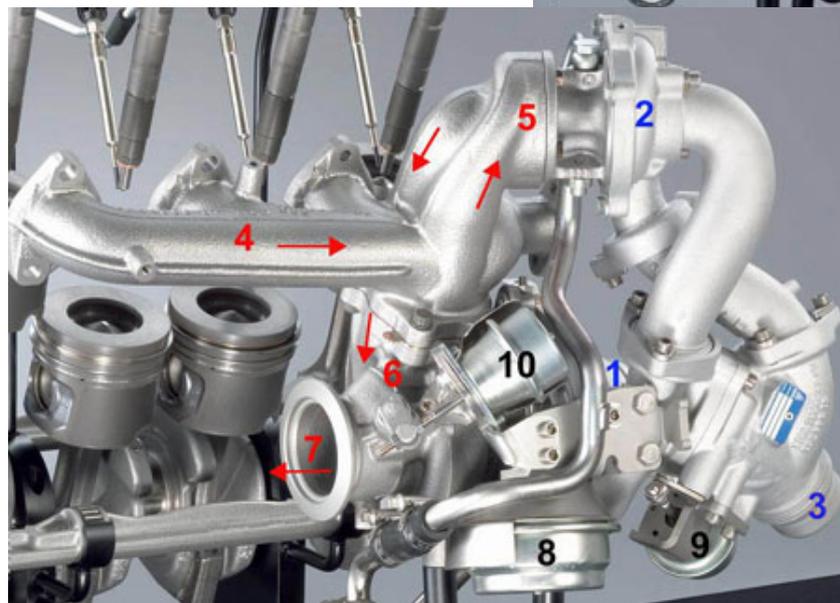
Quand ce volet est complètement ouvert, le petit turbocompresseur devient inefficace car la contre-pression en sortie de sa turbine est égale à la pression en entrées de turbines. Ainsi, à haut régime, seul le gros turbocompresseur à basse pression travaille puisque son débit massique est supérieur à celui du petit. Dès que la pression en sortie du gros compresseur qui travaille en 1er étage s'établit à la valeur voulue, le volet sur les conduits d'air d'admission qui bloque la dérivation directe est

ouvert lui aussi et l'étage haute pression est alors court-circuité.

## Turbosuralimentation séquentielle à 2 étages - 2/2

A haut régime sous pleine charge, lorsque la température et la pression des gaz d'échappement sont si élevées que la puissance de la grosse turbine produirait une pression d'admission excessive, la soupape de décharge dérive une partie des gaz d'échappement sans qu'ils passent par aucune des deux turbines.

Le système permet ainsi une adaptation continue et progressive de la section d'entrée de turbine et du débit des compresseurs aux besoins du moteur, ceci sans aubes d'entrée de turbines à incidence variable (pas de VGT). De plus, comme les contraintes sur les turbomachines sont relativement faibles, leur durée de vie est augmentée.



1 - 1er étage de compresseur (basse pression)  
2 - 2ème étage de compresseur (haute pression)  
3 - sortie d'air comprimé vers l'intercooler

4 - échappement des cylindres  
5 - turbine de l'étage à haute pression  
6 - turbine de l'étage à basse pression  
7 - échappement vers le catalyseur et le filtre à particules

8 - actionneur du volet de répartition  
9 - actionneur du volet de dérivation d'air  
10 - actionneur de la soupape de décharge (waste-gate)

Le montage de BMW / BorgWarner Turbosystems est compact malgré sa complexité. La turbine supérieure – celle de l'étage haute pression - est intégrée dans le collecteur d'échappement. Les gaz d'échappement sortant de cette turbine sont dirigés vers celle de l'étage basse pression, en dessous, par un conduit lui aussi partie intégrante du collecteur d'échappement mais séparé par une paroi. Les pertes de chaleur sont ainsi minimisées. La turbine inférieure – celle de l'étage basse pression – a une volute à double entrée dont l'une peut être mise en communication directe avec les échappements des cylindres, alors qu'elle est fermée par un volet lorsque les deux étages sont en fonction.

Les trois volets de régulation sont commandés par des actionneurs pneumatiques à dépression, tout comme celui de l'EGR.





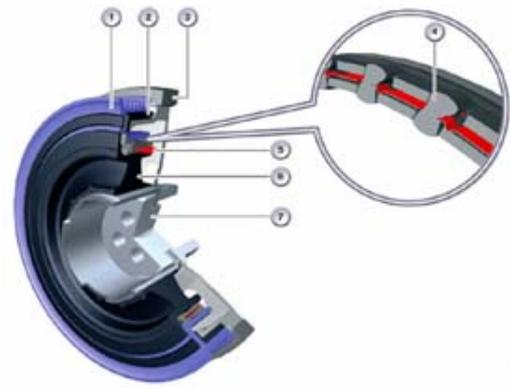
## Courroie poly-V biface

Une nouveauté du moteur N47 est la courroie poly-V d'entraînement des organes auxiliaires, qui est biface sur les voitures équipées d'un compresseur de climatisation. Ainsi, non seulement la face interne de la courroie est exploitée, mais aussi sa face externe – en l'occurrence pour entraîner ledit compresseur. Un couple et une puissance pouvant atteindre respectivement 41 Nm et 21 kW sont transmis par la courroie lorsque tous les organes auxiliaires sont en charge maximale. L'alternateur a une puissance portée à 3 kW afin de pouvoir être mis en charge autant que possible uniquement pendant les phases de décélération.



1. Amortisseur de vibrations de torsion (damper) de nez de vilebrequin – sur roue libre avec BVM
2. Pompe de servo-direction (ou galet de renvoi avec servo-direction électro-hydraulique)
3. Compresseur de climatisation, 4. Alternateur, 5. Galet de renvoi, 6. Pompe à eau, 7. Galet tendeur sur ressort

La courroie poly-V biface comporte six nervures sur sa face interne et six nervures sur sa face externe. L'utilisation de ses deux faces permet d'éviter un galet de renvoi supplémentaire et de grouper tous les organes auxiliaires du côté admission, à gauche du moteur, ce qui dégage l'espace du côté échappement pour y loger la turbomachinerie à deux étages de la version la plus puissante.



Avec le temps et en raison des contraintes mécaniques et thermiques qu'elle subit, la courroie s'allonge. Pour qu'elle soit durant toute sa vie en mesure de transmettre le couple requis, il est nécessaire qu'elle soit plaquée contre les poulies avec une force constante. La tension requise est obtenue par un galet tendeur automatique à ressort qui exerce une précontrainte de 350 N. Le galet tendeur est logé comme de coutume du côté non chargé de la courroie, avant la poulie du damper.

Sur les véhicules sans climatisation ou avec servo-direction électro-hydraulique, un galet de renvoi supplémentaire est installé à la place de l'organe absent. Les voitures dépourvues de climatisation ont une courroie poly-V normale à six nervures, sans profil sur sa face extérieure.

## «Start-stop» automatique : consommation nulle à l'arrêt au point mort

Pour éviter la consommation de carburant pendant les périodes d'arrêt au point mort d'une certaine durée, les nouveaux 4 cylindres accouplés à une boîte manuelle sont dotés d'une fonction «start-stop» automatique. Cette fonction s'active dès que la voiture est à l'arrêt, que le levier de vitesse est au point mort et que le conducteur a relâché la pédale d'embrayage. Il suffit d'enfoncer la pédale d'embrayage pour que le moteur soit relancé sans délai. Le démarreur électrique et la batterie sont spécialement dimensionnés pour supporter la charge de processus de démarrage supplémentaires.

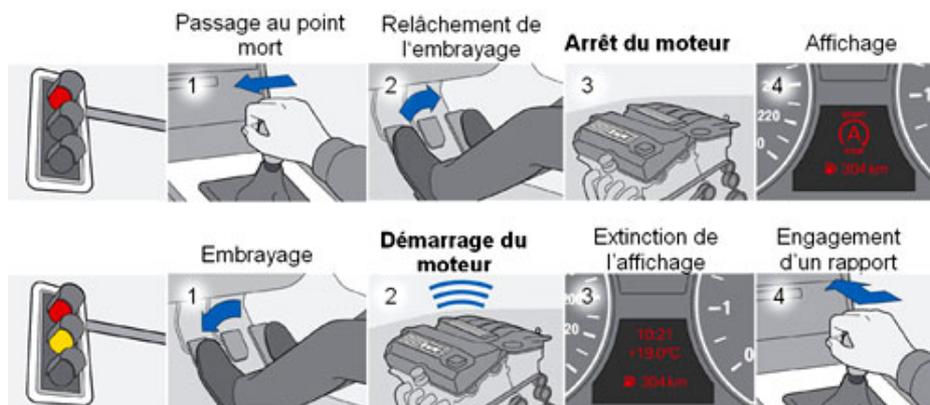


Schéma de principe de l'Auto Start Stop

Plus d'informations à ce sujet dans [L'Auto Start Stop de BMW, un sérieux concurrent à l'alternateur-démarréur](#).

Pour optimiser le rendement aussi en roulant, la fonction «start-stop» automatique est associée à un système d'indication du point de changement de rapports. L'électronique moteur calcule, en fonction de la situation de conduite, le moment optimal de passage au rapport supérieur, dans une optique de réduction de la consommation. Une flèche lumineuse accompagnée de l'indication du rapport conseillé s'affichant au combiné d'instruments montre au conducteur le moment d'effectuer le changement de rapport.

## Production de courant en décélération par la «Brake Energy Regeneration»

Le système de gestion des flux de production, stockage et utilisation de courant électrique à bord apporte également sa contribution à la réduction de la consommation et des émissions de CO<sub>2</sub>. Ce système, dit «Brake Energy Regeneration», concentre autant que possible la transformation d'énergie primaire en courant électrique durant les phases de décélération et de freinage. En phase de traction, l'alternateur de 3 kW est déchargé et le réseau de bord est alimenté uniquement par la batterie afin d'affecter toute la puissance du moteur à

l'accélération.

Plus d'informations à ce sujet dans [Le système BMW de récupération de l'énergie de freinage par l'alternateur.](#)

## Servo-direction électro-hydraulique

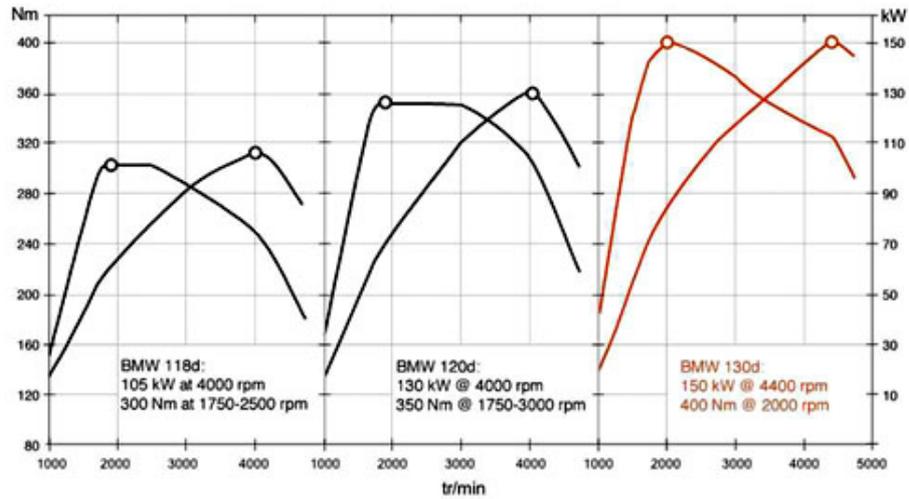
Une pompe des servo-direction hydraulique est entraînée par le moteur suffisamment vite pour fournir une pression et un débit suffisants au ralenti ; elle génère donc une pression et un débit excessifs la plupart du temps, ce qui consomme beaucoup de puissance, même lorsque l'assistance de direction est inutile.

Les voitures propulsées par les nouveaux quatre-cylindres Diesel sont désormais équipées d'une servo-direction EPS (Electrical Power Steering) avec assistance électro-hydraulique. Cela signifie que la pompe hydraulique de servo-direction est entraînée par un moteur électrique qui fonctionne uniquement lorsqu'une assistance au braquage est requise, donc de manière très efficace parce qu'indépendamment du régime du moteur thermique de propulsion.

## Caractéristiques

Données	Unité	N47 105 kW	N47 130 kW	N47 150 kW Twin turbo	M57 6 cylindres Twin turbo
<b>Puissance max.</b>	kW	105	130	150	210
à	tr/min	4000	4000	4400	4400
<b>Couple maxi</b>	Nm	300	350	400	580
à	tr/min	1750-3000	1750-3000	2000	1750
<b>Régime maxi</b>	tr/min	5000	5000	5200	5000
<b>Alésage</b>	mm	84	84	84	84
<b>Course</b>	mm	90	90	90	90
<b>Cylindrée</b>	cc	1995	1995	1995	2993
<b>Entraxe de cylindres</b>	mm	91	91	91	91
→ <b>soupapes admission</b>	mm	27.2	27.2	27.2	27.4
→ <b>soupapes échappement</b>	mm	24.8	24.8	24.8	25.9
<b>Taux de compression</b>		16 : 1	16 : 1	16 : 1	16.5 : 1
<b>Injecteurs</b>	type	électro-magnétiques	piezo-électriques	piezo-électriques	piezo-électriques
<b>Pression d'injection</b>	bar	1600	1800	2000	1600
<b>Pression de suralimentation</b>	bar (abs)	2.5	2.55	3	2.95
<b>PME nom</b>	bar	15.8	19.6	20.5	19.1
<b>PME maxi</b>	bar	18.9	22	25.3	24.4
<b>Réserve de couple</b>	%	20%	13%	23%	27%
<b>Pression de combustion</b>	bar	170	180	180	180
<b>Csp min</b>	g/kWh	198	198	204	205
<b>Poids (standard BMW)</b>	kg	152	152	161	196
<b>Puissance spécifique</b>	kW/ l	52.6	65.2	75.2	70.2
<b>Rapport poids / puissance</b>	kg/kW	1.44	1.17	1.07	0.93

La consommation de gazole de la BMW 118d tombe à 4,7 l /100 km selon le cycle de conduite européen, soit une baisse d'environ 16 % par rapport à sa devancière – alors que sa puissance a augmenté de 15 kW pour atteindre 105 kW (143 ch). La version 120d qui a gagné 10 kW a vu baisser sa consommation du même ordre de grandeur et se contente maintenant de 4,9 l /100 km.



*Auteur : François Dovat*

#### Sources :

- "The New BMW 2.0l 4-Cylinder Diesel Engine", Ing.F.Steinparzer, Dipl.-Ing.W.Mattes, Dipl.-Ing.R.Wichtl, Dr.-Ing.P.Nefischer, BMW Motoren GmbH, Steyr: 28th International Vienna Motor Symposium, 26 - 27 April 2007
- BMW

#### Illustrations :

- BMW
- Bosch
- BorgWarner Turbosystems

#### Remerciements :

- L'auteur remercie Dipl.-Ing. Norbert Praschak, chef de projet, BMW Motoren GmbH, Steyr, qui a aimablement répondu à nos questions.

#### Autres photos





[Imprimer la page](#)  
[Le dossier complet sur une seule page](#)

juin 2007

Toutes les informations écrites présentes sur ce site restent la propriété exclusive de auto-innovations.com. Toute publication, copie, diffusion ou retransmission de ces informations est strictement interdite sans l'accord écrit de auto-innovations.com.

[Nous écrire](#)

© Tous droits réservés 2007 auto-innovations.com