

Futurs moteurs BMW - PSA 1600 : Valvetronic... ou injection directe et turbocompresseur



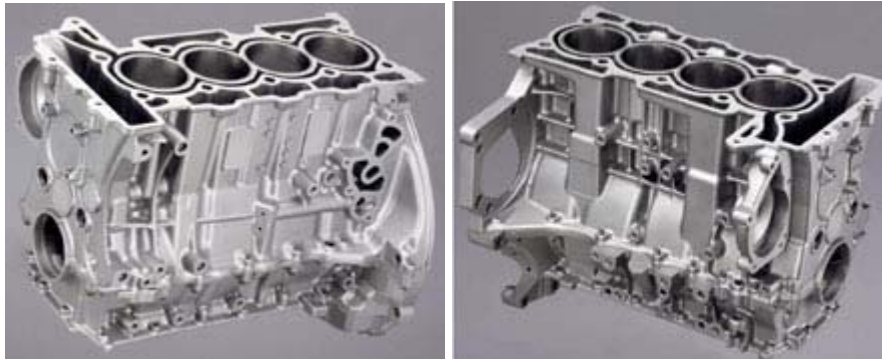
BMW et PSA Peugeot-Citroën ont uni leurs savoir-faire pour créer un 1600 qui, entre autres, remplacera dans la gamme Mini le 4 cylindres "Pentagon" développé conjointement par BMW et Chrysler (devenu depuis DaimlerChrysler) et produit au Brésil.

Le nouveau 1.6 litre est prévu initialement en deux versions, dont une munie du fameux système BMW Valvetronic procurant levée et durée d'ouverture variable des soupapes d'admission, l'autre étant équipée de l'injection directe et d'un turbocompresseur à double entrée de type "Twin Scroll". Diverses variantes dont les puissances s'échelonneront de 55 kW/75 ch à 125 kW/170 ch apparaîtront ultérieurement.

Un petit moteur turbosuralimenté offrant un avantage significatif en termes de poids et de consommation par rapport à un moteur atmosphérique de plus forte cylindrée, le 1600 Turbo remplacera les gros moteurs atmosphériques dans des voitures à haute performance et de la gamme compacte et moyenne de PSA Peugeot Citroën. Les nouveaux quatre cylindres seront produits dans l'usine de PSA à Douvrin (Pas-de-Calais) où une capacité de production de 2500 unités par jour est prévue.



Bloc cylindres



Le bloc-moteur en alliage léger avec minces chemises sèches en fonte grise intégrées à la coulée est semblable pour les deux variantes. Il intègre les carters de chaîne de distribution et de pompe à eau, les supports d'alternateur, de démarreur, de compresseur d'air conditionné et de filtre à huile.



Sur la face arrière, deux conduits de retour canalisent l'huile descendant de la culasse jusque dans le carter inférieur, l'abritant ainsi du souffle produit par l'embellage en mouvement.

L'entraxe des cylindres de 84 mm, la hauteur du bloc-moteur de 210 mm et sa longueur de 420 mm sont identiques sur les deux versions. Les cotes d'alésage (77 mm) et de course (85,8 mm) pour une cylindrée de 1598 cm³ sont reprises du "Pentagon" des Mini.

Carter-semelle

Les chapeaux de paliers sont intégrés dans un carter-semelle, solution de plus en plus adoptée car elle assure la meilleure rigidité structurelle. Les deux conduits de descente d'huile se prolongent dans ce carter.

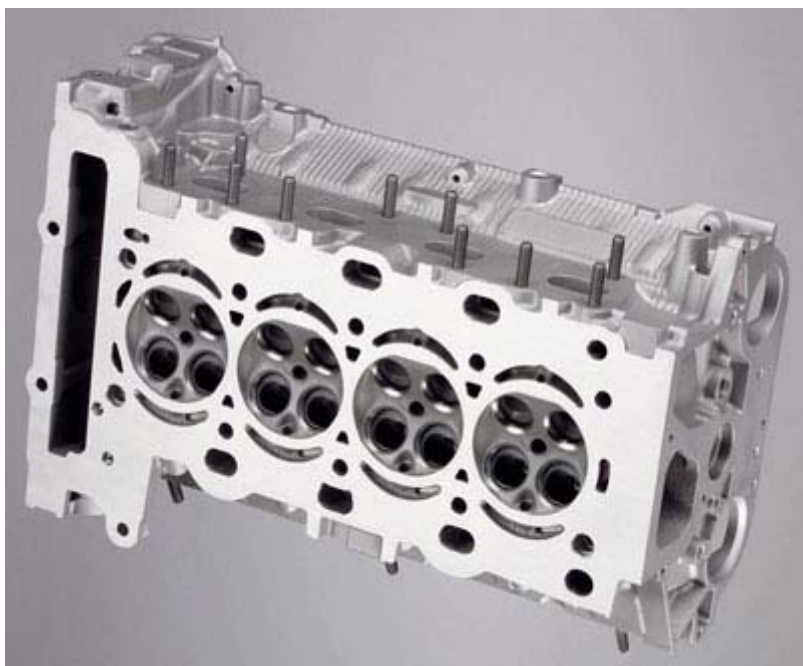


La version turbosuralimentée comporte des inserts en fonte pour les paliers.

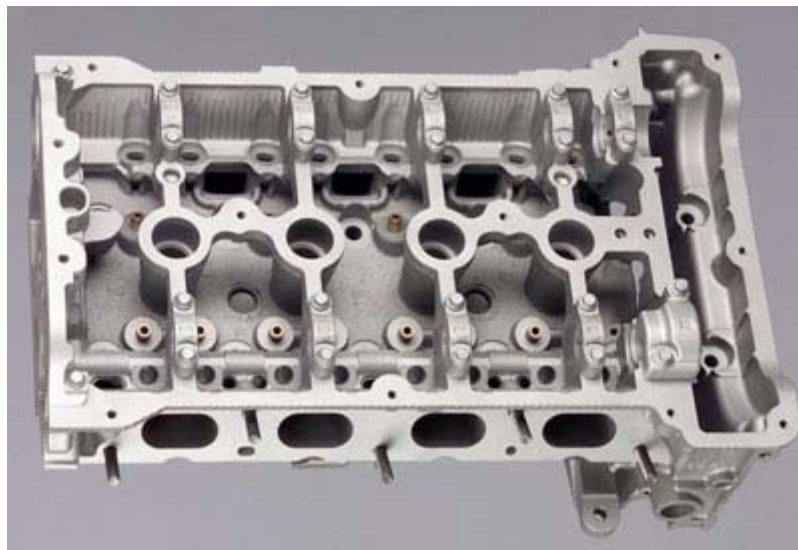
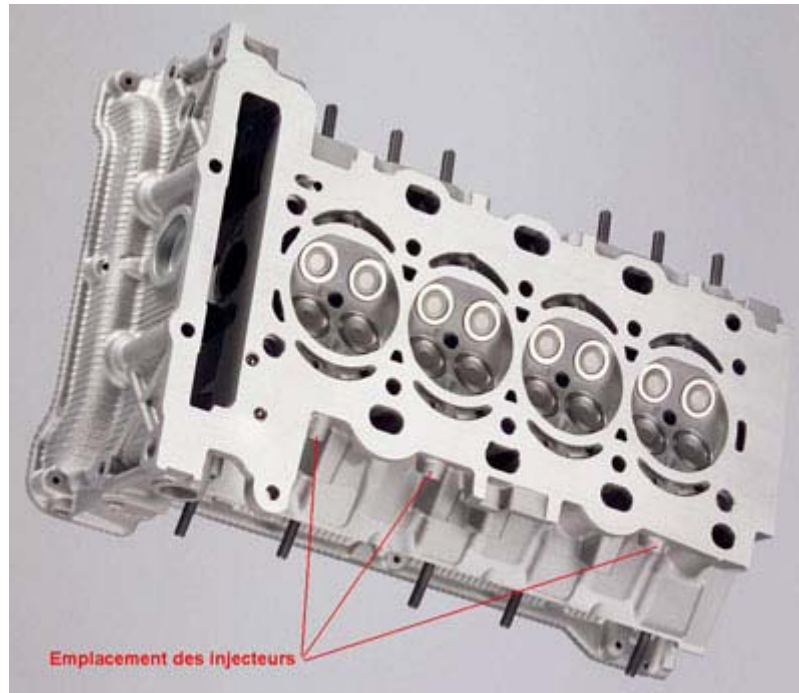


Tant sur le bloc-cylindres que sur le carter-semelle, les logements et taraudages pour les organes auxiliaires et les supports moteur sont semblables à ceux des HDi / TDCi 1.4 et 1.6 de PSA et Ford, avec lesquels ces nouveaux moteur essence présentent de grandes similarités de conception, de dimensions et de fabrication.

Culasse de la version turbosuralimentée

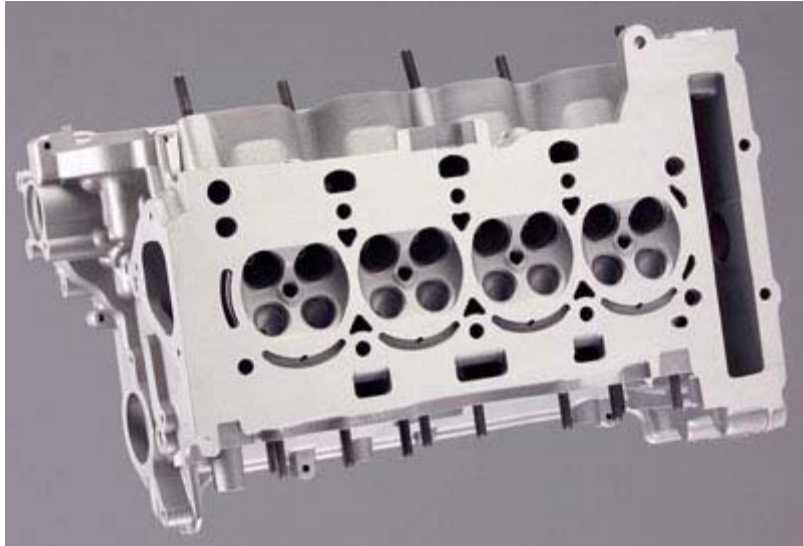


La version turbosuralimentée est équipée de l'injection directe. Les trous dans lesquels les injecteurs débouchent sont bien visibles entre les deux soupapes d'admission.



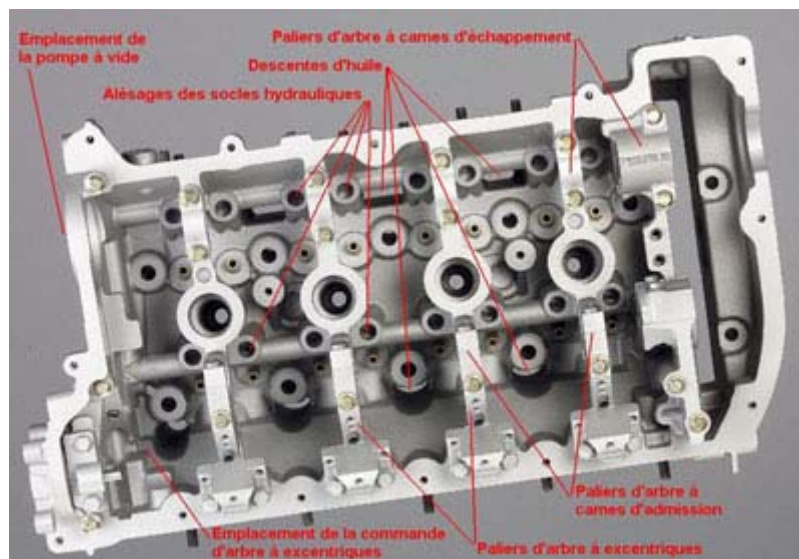
Culasse de la version atmosphérique

La culasse de la version atmosphérique est différente car elle est équipée, d'une part, du système de variation en continu de levée et durée d'ouverture des soupapes d'admission Valvetronic, et d'autre part d'injection indirecte - les injecteurs débouchant dans les canaux d'admission.



Alors que la culasse du moteur turbosuralimenté est coulée sous basse pression, un procédé innovateur de coulée à modèle perdu (lost foam), développé et exploité par BMW à la fonderie d'alliages légers de Landshut, est utilisé pour celle du moteur atmosphérique. Les culasses étant produites par PSA Peugeot Citroën, BMW a mis son savoir-faire à la disposition de PSA pour l'introduction de cette méthode en grande série.

Un modèle en polystyrène identique à la culasse est enduit d'une coquille céramique, puis vibré dans un lit de sable dont il est alors entièrement recouvert à l'exception du tube d'alimentation. Durant la coulée automatisée, l'aluminium liquide introduit par le tube prend la place de la maquette de polystyrène et adopte la forme de la culasse. La haute précision atteinte par ce procédé permet d'intégrer des détails de finition tels que par exemple les canalisations d'huile, ce qui dispense de nombreuses opérations d'usinage ultérieures.



Equipages mobiles

Dans le but de diminuer les pertes par friction, le diamètre des tourillons n'est que de 45 mm, ce qui sort complètement de la fourchette usuelle. Il n'est pas précisé comment il a été possible d'obtenir une résistance suffisante du vilebrequin avec des tourillons de si faible diamètre: les tourillons d'un 4 cylindres de 1.6 litre ont normalement un diamètre compris entre 53 et 62 mm.



Moteur atmosphérique
à injection indirecte



Moteur turbosuralimenté
à injection directe

Sur la variante turbosuralimentée à injection directe, le vilebrequin est forgé et dispose de mini-contrepooids supplémentaires autour du deuxième et du quatrième palier. Les pistons comportent un embrèvement central apparemment destiné à stratifier la charge. Ils sont refroidis par gicleur d'huile.



Les chapeaux de bielle sont séparés par fracture. Le pied de bielle est trapézoïdal afin de réduire les masses en mouvement alternatif.

Distribution de la variante turbosuralimentée



La version turbosuralimentée est équipée d'une distribution conventionnelle à deux arbres à cames en tête et leviers à rouleau qui réduisent les pertes par friction. Ces leviers reposent sur des socles hydrauliques compensateurs de jeux.

Pour favoriser le remplissage des cylindres et diminuer le poids des soupapes, le diamètre de leur tige est minimisé à 5 mm. Leur levée est de 9 mm tant à l'admission qu'à l'échappement et leur fermeture est assurée par un ressort conique simple.

Les soupapes d'échappement sont creuses et remplies de sodium, ce qui améliore le transfert thermique de la tête à la tige et par là aux guides.



Le calage variable en continu de l'arbre à cames d'admission améliore légèrement les performances ainsi que le fonctionnement au ralenti et il permet un certain taux de recirculation des gaz d'échappement (EGR) qui diminue les émissions.



Le nouveau système de calage variable utilisé par BMW est semblable à celui monté par d'autres constructeurs et remplace le précédent Vanos à cannelures hélicoïdales. Des chambres d'huile entre la partie entraînée et la partie entraînée sont progressivement remplies pour avancer l'arbre à cames.

Distribution Valvetronic (1/2)

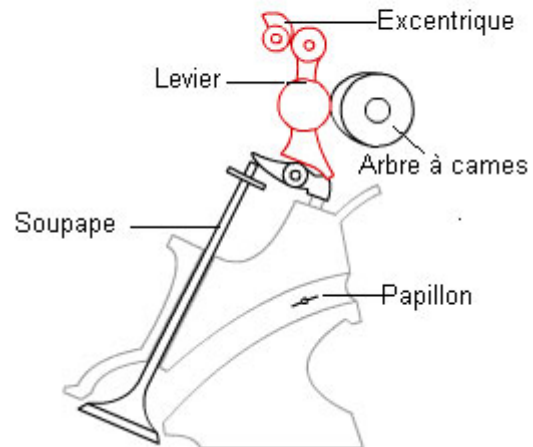
Le moteur atmosphérique dispose, lui, de calage variable en continu des deux arbres à cames et surtout du système Valvetronic, déjà connu sur la gamme de moteurs BMW.

Ce concept révolutionnaire régle la puissance non pas par un papillon qui étrangle l'admission, mais par la variation graduelle de la levée et de la durée d'ouverture des soupapes d'admission. (Un papillon est tout de même conservé, mais il ne sert qu'en cas de dysfonctionnement du système Valvetronic)

Les diesels n'ont pas de papillon d'admission : ils aspirent une quantité d'air indépendante de la charge, c'est-à-dire que leur puissance est réglée uniquement par le volume de gazole injecté.

C'est là une des raisons de leur meilleur rendement thermique. En effet, le papillon d'admission, en freinant la respiration du moteur pour contrôler sa puissance, augmente les pertes par pompage. Un moteur à essence a donc la consommation spécifique la plus faible à pleine ouverture du papillon - à pleine charge - et cette consommation augmente plus fortement avec la diminution de la charge que dans le cas d'un diesel.

Système Valvetronic



Depuis fort longtemps, ingénieurs et inventeurs ont cherché un système capable de varier les durées et levées des soupapes pour les optimiser en fonction du régime. Malgré des sommes d'ingéniosité considérables, seuls quelques systèmes variant ces paramètres soit légèrement soit par escaliers avaient été commercialisés. Avec le système Valvetronic, la masse d'air aspirée est réglée par l'ouverture continuellement variable des soupapes d'admission et le papillon peut ainsi rester grand ouvert en fonctionnement normal.

D'autre part, des dispositifs qui modifient le calage de l'arbre à cames d'admission sont maintenant courants, mais ils n'apportent qu'une amélioration marginale et ne changent ni l'angle total d'ouverture ni la levée. BMW fut d'ailleurs le premier constructeur à monter un tel mécanisme sur l'entraînement des deux arbres à cames (Double Vanos). Ce système qui permet la variation en continu du calage des arbres à cames de 70° à l'admission et de 60° à l'échappement est utilisé conjointement au Valvetronic, si bien que quasiment tous les paramètres de la distribution deviennent variables et contrôlables.

Distribution Valvetronic (2/2)

Les soupapes d'admission sont actionnées par l'intermédiaire de deux leviers à rouleaux dont l'un repose sur un socle hydraulique alors que l'autre est monté sur un arbre de contrôle à excentriques.

Ce dernier est commandé par un moteur électrique et une vis sans fin. 3/10e de seconde suffisent pour amener cet arbre d'une butée à l'autre.

La réponse transitoire du moteur est plus rapide qu'avec un papillon conventionnel car la pression atmosphérique n'est pas diminuée dans tout le collecteur.



En charge partielle les pertes par pompage sont fortement réduites puisque les pistons n'ont pas à aspirer durant toute la course d'admission dans une dépression créée par un papillon partiellement fermé, mais seulement durant une fraction de cette course. En effet, la pression atmosphérique juste derrière la soupape permet de remplir rapidement le cylindre de la quantité voulue de mélange et, de plus, comme ladite soupape ne se referme pas après le point mort bas mais avant, une partie de l'énergie dépensée en aspiration est récupérée lors de la remontée du piston.



Ainsi la puissance du moteur est réglée de la manière la plus logique qui soit, la levée des soupapes d'admission passant en continu de 0,2 à 9,5 mm (à l'échappement la levée des soupapes est invariablement de 8.5 mm) et le diagramme de distribution étant varié de façon optimale en fonction du régime et de la charge.

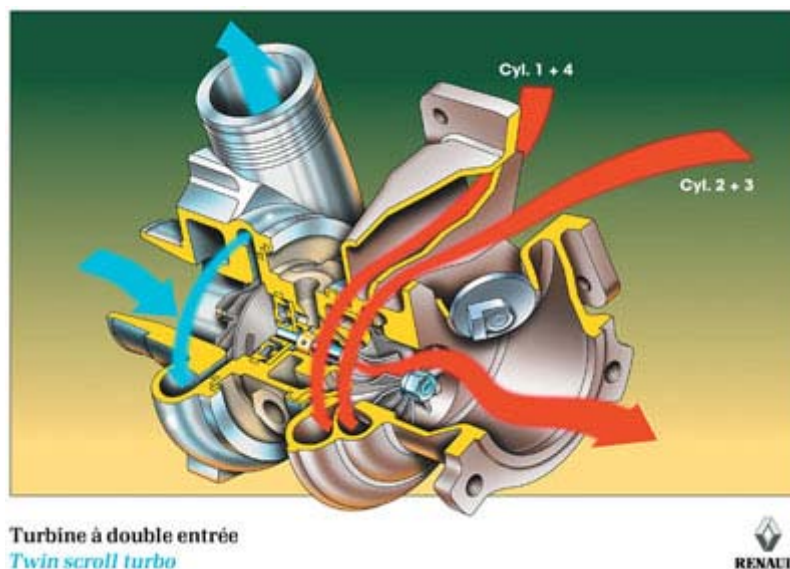
En outre, les pertes dans la distribution sont diminuées en charge partielle. Le système présente toutefois l'inconvénient d'une masse accrue par celle du levier supplémentaire si bien que de puissants ressorts de soupapes sont nécessaires pour rappeler le tout.

Voir aussi notre dossier sur [la distribution variable](#).

La distribution Valvetronic exige une grande précision de fabrication. Les contours du linguet déterminant la levée de soupape sont réalisés à 8 microns près; les cames et les excentriques sont usinés avec des tolérances encore plus fines, de l'ordre du micron.

Tout comme sur les diesels, aucune dépression n'est créée dans le collecteur d'admission. Une pompe à vide auxiliaire située en bout d'arbre à cames d'échappement est donc chargée de produire la dépression nécessaire au servofrein.

Turbocompresseur "Twin Scroll": turbine à double entrée



Afin d'éviter les interférences entre les cylindres et de mieux utiliser les bouffées de pression dans le collecteur d'échappement, la version turbosuralimentée a une volute de turbine à double entrée, le collecteur d'échappement étant séparé en deux groupes de deux cylindres chacun.

Dans notre dossier sur **La turbosuralimentation et le turbocompounding** nous expliquions : "Sur un moteur 4 cylindres en ligne, quand la soupape d'échappement du cylindre N° 3 s'ouvre, le cylindre N° 1 est pratiquement à la fin de son cycle d'échappement. Si les deux cylindres partagent une tubulure commune, une contre-pression peut venir perturber le processus d'échappement du cylindre N°1. Avec un turbo Twin Scroll, une entrée reçoit les gaz des cylindres 1 et 4 tandis que l'autre est alimentée par l'échappement des cylindres 2 et 3."



Ce principe est connu et largement employé depuis longtemps, notamment sur de gros diesels, mais le communiqué de presse conjoint de BMW et PSA dit que "**c'est la première fois que le turbocompresseur Twin-Scroll est utilisé dans cette catégorie**". Toujours est-il que l'adaptation semble particulièrement bien réalisée puisque le couple maxi est atteint dès le quart du régime nominal.

Naturellement, un radiateur d'air d'admission (intercooler) sera monté sur les véhicules. La pression d'admission maxi est de 0,8 bars et le régime maxi du turbocompresseur de 220'000 tr/min. En plus de l'habituelle soupape de décharge (waste-gate), une vanne anti-pompage est intégrée dans le carter du compresseur. Ce moteur présentant un rapport volumétrique élevé de 10,5:1 malgré sa suralimentation, un régulateur anti-cliquetis surveille la combustion et intervient si nécessaire pour diminuer l'avance à l'allumage et la pression de suralimentation. La température des gaz en entrée de turbine est elle aussi surveillée par la gestion moteur et est limitée à 950 °C.

Pour protéger le turbocompresseur - refroidi à eau - contre tout dommage provoqué par l'accumulation de chaleur après l'arrêt du moteur, une pompe à eau électrique d'appoint démarre automatiquement dès que le contact est coupé.

Injection d'essence directe ou indirecte



Injection indirecte : rampe d'alimentation et injecteurs

Sur la version atmosphérique, une pompe électrique refoule le carburant vers la rampe de distribution en plastique dans laquelle sont incorporés les 4 injecteurs. Le volume de carburant à injecter est calculé par la gestion moteur en fonction de nombreux paramètres et il est pulvérisé dans les canaux d'admission sous une pression de 5 bars environ.

La variante turbosuralimentée est équipée d'une pompe haute pression à double piston, entraînée en extrémité d'arbre à cames d'admission. Une rampe commune en acier inox alimente les injecteurs qui pulvérisent le carburant latéralement dans la chambre de combustion sous une pression maximale de 120 bars. L'essence est répartie de façon homogène ($\lambda = 1,0$.) dans la chambre - semble t'il tout au moins dans la majeure partie des conditions de fonctionnement car le communiqué de presse se contredit en mentionnant par ailleurs une stratification de la charge.



Pompe à essence haute pression à double piston

La vaporisation de l'essence directement dans les chambres de combustion procure l'avantage d'un refroidissement de l'air admis, refroidissement qui améliore le remplissage et diminue la tendance à la détonation. A ce propos, il est intéressant de noter que les moteurs d'avion allemands, dont le 14 cylindres en double étoile BMW 801 et les V12 inversés Daimler-Benz DB 601 et Junkers Jumo 211, disposaient déjà de l'injection directe d'essence en 1939, procédé dont le secret ne sera percé que lorsque les deux Jumo 211 d'un Heinkel 111 seront récupérés intacts en Angleterre.

L'injection indirecte dans les canaux d'admission n'a été produite en série, elle, que vers la fin des années 50 avec un premier équipement dû à Stuart Hilborn, en 1947.

Pompe à eau débrayable



La pompe à eau débrayable

Si l'injection directe d'essence est loin d'être une nouveauté, par contre, la pompe à eau débrayable en est une, qui, de plus, fait appel à un système d'embrayage fort simple. Un galet vient s'appuyer contre la courroie poly-V d'entraînement des auxiliaires là où elle s'enroule sur la poulie de bout de vilebrequin. Ce galet entraîne à son tour la pompe à eau par sa poulie dont la périphérie est garnie d'une bande adhérente.



Lorsqu'une circulation du liquide de refroidissement n'est pas souhaitable, le support du galet est allongé par un actuateur électrique, ce qui débraye la pompe et économise la puissance qui serait absorbée par son entraînement.

Un thermostat piloté complète le système en ajustant précisément la température du liquide de refroidissement aux conditions de fonctionnement selon une cartographie prédéterminée.

Tendeur de courroie



La courroie qui entraîne l'alternateur et le compresseur de climatisation est tendue par un galet porté par un bras mis sous tension par barre de torsion. Il n'est pas prévu de pompe de servo-direction, les nouveaux véhicules étant désormais équipés d'une servo-direction électrique ou électro-hydraulique.



Pompe à huile à débit régulé

La pompe à huile, entraînée par chaîne, fournit le volume exact d'huile nécessaire pour toutes les conditions de fonctionnement si bien que la soupape de dérivation pour évacuer l'huile excédentaire est superflue. Grâce à la suppression de consommation d'énergie inutile, cette pompe à débit régulé absorbe jusqu'à 1,25 kW de moins à 6000 tr/min qu'une pompe à huile conventionnelle, ce qui abaisse la consommation de 1% environ dans le cycle mixte européen.



Le filtre à huile n'est pas une cartouche en tôle classée comme déchet spécial et difficilement recyclable, mais une cartouche en papier facile à éliminer. Logée dans un boîtier en aluminium avec couvercle en plastique, elle est facilement accessible.

Un échangeur de chaleur huile/eau est intégré dans le support du filtre du moteur à turbocompresseur. Lors de la mise en température, cet échangeur cède de la chaleur au circuit d'huile car le liquide de refroidissement se réchauffe plus vite que l'huile. Cette dernière est ainsi réchauffée, le moteur atteint sa température de service plus vite et la phase de mise en température caractérisée par une consommation importante est sensiblement écourtée.

Au contraire, lors de fonctionnement à haut régime sous pleine charge, l'huile chauffe plus que le liquide de refroidissement et l'échangeur thermique huile/eau prélève alors de la chaleur à l'huile et l'évacue par le circuit de refroidissement.

Selon les conditions d'utilisation, la périodicité des vidanges sera de 30 000 km environ alors que les bougies et le filtre à air seront changés tous les 60 000 km. L'entraînement des arbres à cames par chaîne reste exempt d'entretien pendant toute la durée de vie du moteur.

Admission et cache-soupapes en matière plastique



Devenus courants, les collecteurs d'admission en matière plastique réduisent les coûts, le poids du moteur et la température de l'air admis. Les deux variantes sont équipées de nombreuses autres pièces en plastique, telles que cache-soupapes, boîtier de thermostat, corps de pompe à eau etc..



Caractéristiques, performances et conclusion (1/2)

Ces nouveaux moteurs à longue course ont manifestement été conçus dans un souci d'économie et d'efficacité maximum, tant en ce qui concerne leur consommation d'essence que leur rapport performances / coût de fabrication. Le faible diamètre de leurs tourillons effraye au premier abord, mais on se dit que les ingénieurs de constructeurs aussi compétents et renommés que BMW et PSA doivent tout de même savoir ce qu'ils font. Ont-ils trouvé un procédé nouveau permettant d'accroître la résistance des vilebrequins ? Ou alors tous les moteurs conçus et produits jusqu'ici ont-ils des vilebrequins aux tourillons de diamètre excessivement et inutilement gros... ce qui voudrait dire que les motoristes ne savaient pas ce qu'ils faisaient ?!

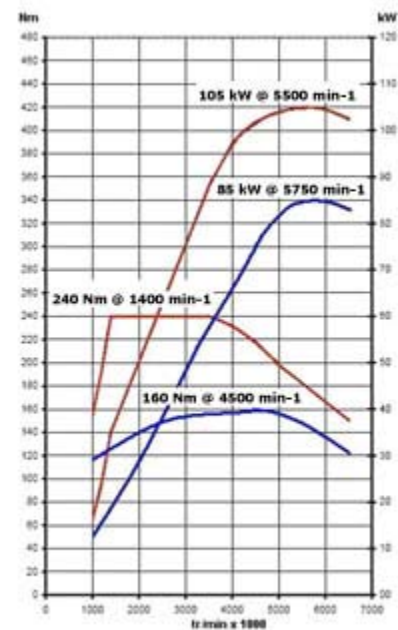
		VW 1.6FSI	PSA 1.6i TU5JP4 (actuel)	Mini Cooper Pentagon	BMW PSA 1.6	BMW PSA 1.6 T	Mini Coopers Pentagon
Bloc		alu	fonte	fonte	alu	alu	fonte
Alim. P.sur.	bar	atmo	atmo	atmo	atmo	turbo 0.8	Roots 0.8
Cylindrée	cm ³	1598	1587	1598	1598	1598	1598
Alés.x Course	mm	76.5x86.9	78.5x82	77x85.8	77x85.8	77x85.8	77x85.8
C/A		1.09	1.04	1.11	1.11	1.11	1.11
Taux vol. comp.		12:1	9.6:1	10.6	11:1	10.5:1	8.3:1
Puiss. max	kW	85	80	85	85	105	120
à	tr/min	6000	5750	6000	5750	5500	6000
Couple max	Nm	155	147	149	160	240	210
à	tr/min	4500	4000	4500	4500	1400-4000	4000
n max	tr/min	6500	6500	6500	6500	6500	6500
VMP max	m/s	18.8	17.8	18.6	18.6	18.6	18.6
PME nom	bar	10.6	10.5	10.6	11.1	14.3	15
PME max	bar	12.2	11.6	11.7	12.57	18.85	16.5
Rés. couple	%	15	10	10	13	32	10
Poids	kg				114	130	

L'injection directe est sans aucun doute pour beaucoup dans le rapport volumétrique élevé (10,5) de la version turbosuralimentée. Le V12 à injection directe de la BMW 760i à un rapport volumétrique de 11,3. On sait d'autre part que grâce à leurs système d'injection directe, les moteurs d'avion allemands de 1939-45 alimentés communément avec de l'essence à 87 d'indice d'octane avaient des performances égales à celles des moteurs alliés qui bénéficiaient, eux, d'essence à 100-130 d'indice d'octane.

Caractéristiques, performances et conclusion (2/2)

Un long chemin a été parcouru depuis 1973, année qui vit la présentation du premier moteur d'automobile turbosuralimenté produit en Europe. Destiné à la BMW 2002 Turbo, sa puissance se manifestait subitement à partir de 3500 - 4000 tr/min. Au contraire, le couple maxi du nouveau 1.6 litres turbosuralimenté est atteint dès 1400 tr/min, ce qui lui procure une plage d'utilisation extrêmement large jusqu'à son régime maxi de 6500 tr/min avec une énorme réserve de couple de 32 %, et même 60% relativement au régime maximum.

A puissance égale, un moteur turbosuralimenté plus petit procure des avantages en poids, coût de production et usuellement quelque économie de carburant, mais par contre un certain délai de réponse, un faible couple à bas régime et un frein moteur réduit. Les deux premiers inconvénients cités semblent avoir été solutionnés de façon assez convaincante, mais il reste qu'aucune solution n'est présentée pour le troisième.



Le système Valvetronic est-il incompatible avec la turbosuralimentation ? Certainement pas, et peut-être un tel moteur est-il en cours de développement ? De toutes façons, les jours du "Pentagon" brésilien sous les capots des Mini sont comptés, tout comme ceux du TU5JP4 dans les voitures de Peugeot-Citroën.



En attendant une coupe en perspective du nouveau moteur, en voilà une du "Pentagon"

Auteur : François Dovat.

Sources : BMW et PSA