



KOLBENSCHMIDT

# TOUT SAVOIR

SEGMENTS DE PISTON POUR  
MOTEURS À COMBUSTION



PRENDRE SES RESPONSABILITÉS DANS UN MONDE EN MOUVEMENT



RHEINMETALL

**GRUPE MOTORSERVICE****QUALITÉ ET SERVICE AUPRÈS D'UN UNIQUE FOURNISSEUR**

Le groupe Motorservice est l'organisation commerciale en charge des activités internationales Aftermarket de Rheinmetall. C'est l'un des premiers fournisseurs de composants de moteurs pour le marché indépendant des pièces de rechange. Avec les marques haut de gamme Kolbenschmidt, Pierburg, TRW Engine Components ainsi que les marques BF et turbo by Intec, Motorservice propose à ses clients commerçants et garagistes une gamme étendue et variée de très grande qualité.

**RHEINMETALL****DES TECHNOLOGIES AU SERVICE DE LA MOBILITÉ DE DEMAIN**

Équipementier automobile présent dans le monde entier, Rheinmetall se place, grâce à son savoir-faire dans les domaines de l'alimentation en air, de la réduction des émissions nocives et des pompes ainsi que dans le développement, la fabrication et la fourniture de pistons, de blocs-moteurs et de coussinets, en tête de ces marchés respectifs.

Le développement des produits se déroule en étroite coopération avec des constructeurs automobiles renommés.

**KOLBENSCHMIDT****PIERBURG****SOMMAIRE****PAGE**

<b>1</b>	<b>DONNÉES DE BASE SUR LES SEGMENTS DE PISTON</b>	<b>5</b>
1.1	Exigences à remplir par les segments de piston	5
1.2	Les principales fonctions des segments de piston	6
1.3	Types de segments de piston	8
1.4	Dénominations	18
1.5	Constitution et forme des segments de piston	19
1.6	Fonction et propriétés	26
<b>2</b>	<b>MONTAGE ET MAINTENANCE</b>	<b>39</b>
2.1	Évaluation des composants usagés	39
2.2	Évaluation des pistons usagés	40
2.3	Évaluation des alésages de cylindre usagés	42
2.4	Montage des pistons et des segments de piston	48
2.5	Mise en service du moteur et rodage	55
2.6	Problèmes d'étanchéité et dommages sur les segments de piston	59
2.7	Lubrification et consommation d'huile	68

**Rédaction :**

Motorservice, Technical Market Support

**Mise en page et production :**

Motorservice, Marketing

Toute reproduction, duplication ou traduction, en totalité ou en partie, nécessite notre accord écrit préalable et l'indication de la source.

Sous réserve de modifications et de variations dans les illustrations. Toute responsabilité est exclue.

**Editeur :**

© MS Motorservice International GmbH

**Responsabilité**

Les informations contenues dans la présente brochure ont fait l'objet de recherches méticuleuses. Toutefois, des erreurs peuvent s'y être glissées, certaines informations peuvent avoir été mal traduites ou omises, ou bien avoir changé depuis la date de rédaction. Par conséquent, nous ne garantissons pas l'exactitude, l'intégralité, l'actualité ou la qualité des informations transmises et déclinons toute responsabilité quant à celles-ci. Nous déclinons toute responsabilité quant aux dégâts directs ou indirects, matériels ou non matériels émanant de l'utilisation ou de la mauvaise utilisation d'informations, ou d'éventuelles informations erronées ou incomplètes contenues dans la présente brochure, à moins qu'une faute volontaire ou une négligence particulièrement grave puisse nous être imputée. Nous déclinons également toute responsabilité quant aux dommages causés par un niveau de connaissances techniques spécialisées insuffisant, des connaissances insuffisantes en matière de réparation ou une expérience insuffisante de la part du réparateur de moteurs ou du mécanicien. La validité des procédés techniques et des instructions de réparation décrits pour les générations de moteurs futures ne pouvant être déterminée ici, elle doit être jugée dans chaque cas par le réparateur de moteurs ou par le garage.



## LE SUJET

Les segments de piston existent depuis qu'il existe des moteurs à combustion. Pourtant, les professionnels et les utilisateurs ont encore d'importantes lacunes concernant les segments de piston. Aucun autre composant n'est considéré avec un œil aussi critique lorsqu'il est question de perte de puissance et de consommation d'huile. Le fossé entre le bénéfice escompté d'un remplacement des segments de piston et le capital engagé est supérieur à tout autre composant du moteur.

La confiance dans les segments de piston souffre fréquemment des trop fortes attentes que l'on met en eux. C'est ainsi que, par manque de connaissances, les demi-vérités, les non-vérités, les fausses idées et les erreurs d'appréciation sont courantes auprès des garagistes et des consommateurs. Mais les segments de piston sont avant tout victimes de réparations bon marché (réutilisation de partenaires de glissement usés, par exemple) et d'un montage manquant de professionnalisme.

## LA BROCHURE

La présente brochure s'intéresse aux segments de piston du point de vue de l'utilisateur. Nous n'avons pas voulu trop approfondir l'aspect conception, mais mettre l'accent sur le côté pratique. Si certains sujets ayant trait à la conception et au développement sont quand même abordés, c'est à titre complémentaire ou pour faciliter la compréhension.

La brochure est consacrée principalement aux segments de piston pour voitures particulières et véhicules utilitaires. Les moteurs initialement conçus pour des véhicules mais utilisés, par exemple, sur des bateaux, des locomotives ou des machines de construction et les moteurs stationnaires sont également pris en compte. Après une section consacrée aux bases techniques, la section pratique « Montage et maintenance » fournit des informations exhaustives sur le montage et le remplacement des segments de piston, de même que sur des sujets connexes utiles tels que la lubrification, la consommation d'huile et le rodage du moteur.

De bonnes connaissances de ce qui se passe dans un moteur constituent la base indispensable au succès d'une réparation ou d'une rectification. Nous expliquons ce qui est nécessaire pour réussir une réparation et ce qui peut advenir si certains détails ne sont pas respectés.

# 1 DONNÉES DE BASE SUR LES SEGMENTS DE PISTON

## 1.1 EXIGENCES À REMPLIR PAR LES SEGMENTS DE PISTON

**Les segments de piston pour moteurs à combustion doivent remplir toutes les exigences d'étanchéité linéaire dynamique. Ils doivent à la fois résister aux influences thermiques et chimiques et remplir une série de fonctions. Ils doivent, en outre, posséder les propriétés suivantes :**

### Fonctions

- Empêcher (étanchéifier) le passage des gaz entre la chambre de combustion et le carter de vilebrequin afin de ne pas perdre de pression de gaz, donc de puissance du moteur
- Étanchéifier, c'est-à-dire empêcher le passage de l'huile de lubrification du compartiment du vilebrequin vers la chambre de combustion
- Assurer une épaisseur de film de lubrification parfaitement définie sur la paroi du cylindre
- Répartir l'huile de lubrification sur la paroi du cylindre
- Stabiliser le déplacement du piston (oscillation du piston), notamment sur un moteur froid, lorsque la tolérance du jeu du piston dans le cylindre est encore importante
- Assurer le transfert calorifique (dissipation thermique) du piston vers le cylindre

### Propriétés

- Faible résistance à la friction pour limiter la perte de puissance du moteur
- Bonne solidité et résistance à l'usure face à la fatigue thermomécanique, aux agressions chimiques et à la corrosion thermique
- Le segment de piston ne doit pas occasionner d'usure excessive sur le cylindre sous peine d'entraîner une baisse conséquente de la durée de vie du moteur
- Longue durée de vie, sécurité de fonctionnement et efficacité des coûts tout au long de la durée de service



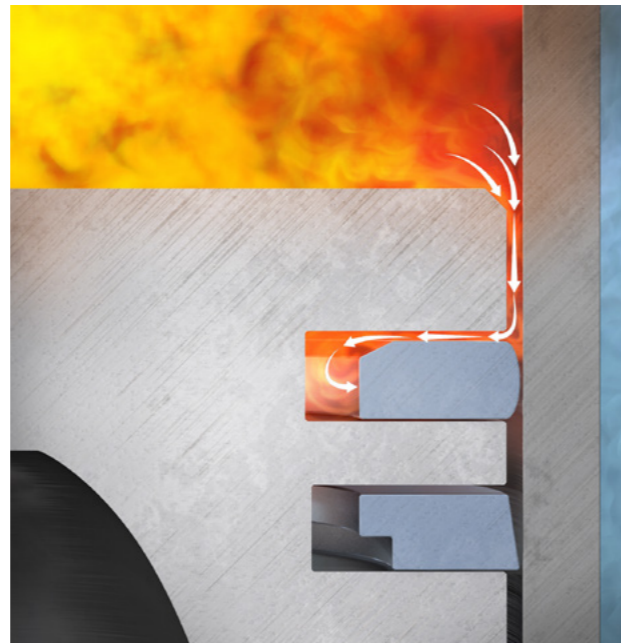
## 1.2 LES PRINCIPALES FONCTIONS DES SEGMENTS DE PISTON

### 1.2.1 ÉTANCHÉIFICATION DES GAZ DE COMBUSTION

La fonction principale des segments de compression consiste à empêcher le passage de gaz de combustion entre le piston et la paroi du cylindre vers le carter de vilebrequin. Sur la plupart des moteurs, on utilise à cet effet deux segments de compression qui forment un labyrinthe.

De par leur conception, les systèmes d'étanchéité à segments de piston des moteurs à combustion ne sont pas étanches à 100 % et des faibles quantités de gaz de fuite franchissent toujours les segments pour entrer dans le carter de vilebrequin. Cet état de fait est toutefois normal et ne peut être totalement évité compte tenu de leur conception.

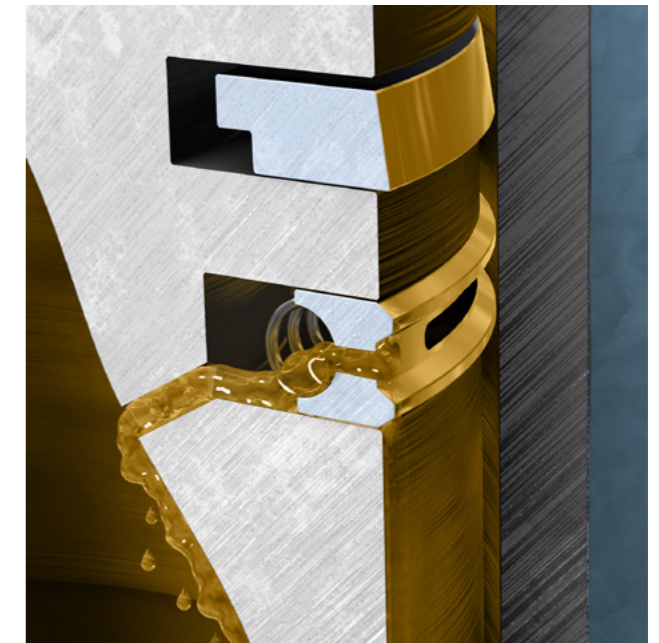
Cependant, il convient dans tous les cas d'éviter un passage excessif de gaz de combustion brûlants entre le piston et la paroi du cylindre. Ceci entraînerait en effet une perte de puissance, un échauffement excessif des composants et une baisse de l'effet de lubrification. La durée de vie et le fonctionnement du moteur seraient remis en question. Les différentes fonctions des segments et fonctions d'étanchéité ainsi que l'émission de gaz d'échappement blow-by sont traitées en détail dans les chapitres suivants.



Étanchéification des gaz de combustion

### 1.2.2 RACLAGE ET RÉPARTITION DE L'HUILE

Outre l'étanchéité entre le compartiment du vilebrequin et la chambre de combustion, les segments de piston ont également pour fonction de réguler le film d'huile. Les segments répartissent l'huile de manière homogène sur la paroi du cylindre. L'huile excédentaire est raclée principalement par le segment racleur d'huile (3ème segment) mais aussi par les segments racleurs et de compression combinés (2ème segment).

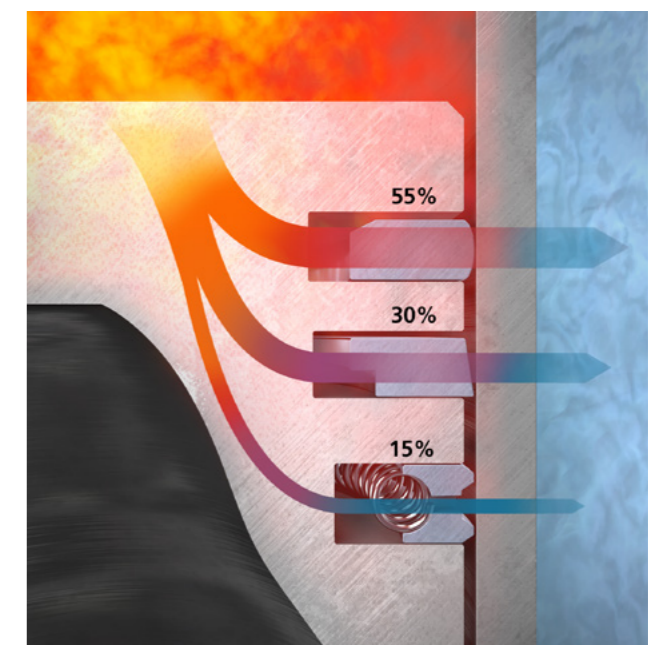


Raclage et répartition de l'huile

### 1.2.3 ÉVACUATION DE LA CHALEUR

Une autre fonction importante des segments de piston réside dans la gestion de la température du piston. La majeure partie (env. 70 %) de la chaleur absorbée par le piston au cours de la combustion est transmise au cylindre par les segments de piston. Les segments de compression sont fortement impliqués dans la dissipation thermique.

Sans cette évacuation de la chaleur continue des segments de piston, il se produirait en quelques minutes un grippage du piston dans l'alésage de cylindre, voire une fusion du piston. Vu sous cet angle, il paraît évident que le contact entre les segments de piston et la paroi du cylindre doit toujours être bon. En cas d'ovalisation du cylindre ou de blocage des segments de piston dans la gorge (carbonisation, crasse, déformation), le piston va tôt ou tard présenter des caractéristiques de surchauffe par défaut de dissipation thermique.

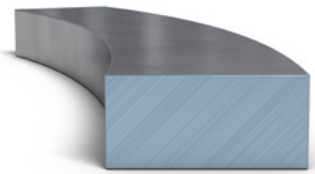


Évacuation de la chaleur

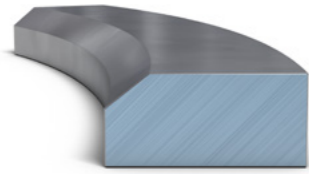
## 1.3 TYPES DE SEGMENTS DE PISTON

### 1.3.1 SEGMENTS DE COMPRESSION

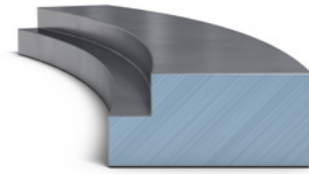
#### SEGMENTS RECTANGULAIRES



Segment rectangulaire



Segment rectangulaire à chanfrein intérieur



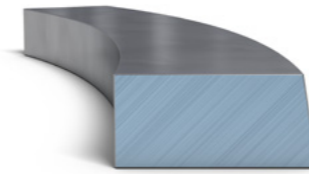
Segment rectangulaire à angle intérieur



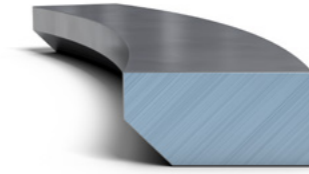
Segment rectangulaire

Le terme de segments rectangulaires désigne les segments présentant une coupe à angle droit. Les deux faces du segment sont parallèles. Ce type de segment est le plus simple et le plus répandu parmi les segments de compression. Il est aujourd'hui principalement utilisé comme premier segment de compression sur tous les moteurs à essence de voitures particulières, mais aussi sur certains moteurs diesel de voitures particulières. Des chanfreins intérieurs et des angles intérieurs produisent un torsionnement du segment monté (sous tension). La position du chanfrein ou de l'angle intérieur au niveau du bord supérieur produit un « torsionnement positif du segment ». L'effet précis du torsionnement est expliqué au chapitre 1.6.9 Torsionnement du segment.

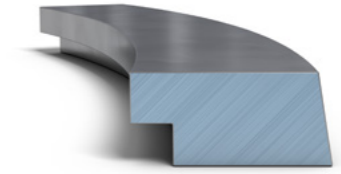
#### SEGMENTS CONIQUES – SEGMENTS DE COMPRESSION AVEC FONCTION DE RACLAGE D'HUILE



Segment conique



Segment conique à chanfrein intérieur en bas



Segment conique à angle intérieur en bas

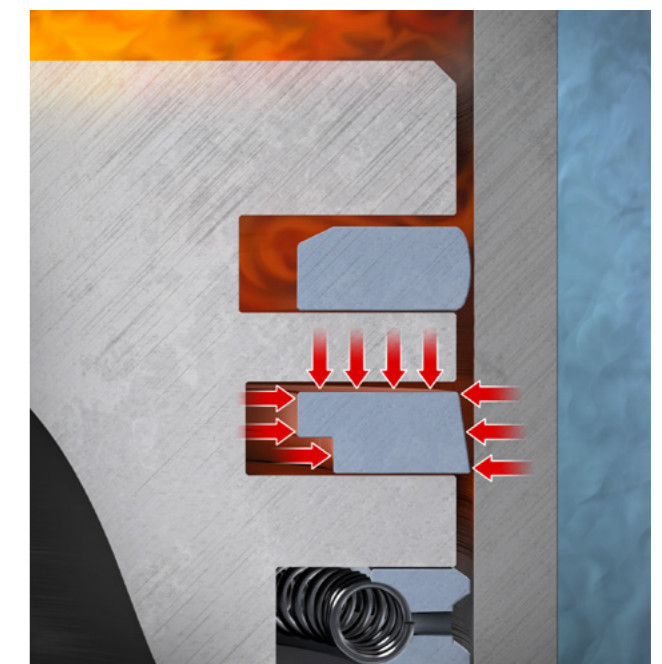
#### REMARQUE

Les segments coniques sont utilisés sur tous les types de moteurs (voitures particulières, véhicules utilitaires, essence et diesel), principalement dans la deuxième gorge.

Ces segments remplissent une double fonction. Ils complètent le segment de compression quant à l'étanchéité et le segment racleur d'huile quant à la régulation du film d'huile.

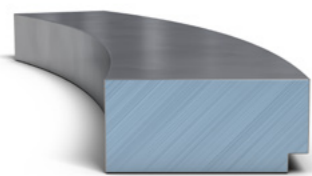
Les segments coniques (Fig. 2) présentent une surface de glissement de forme conique. Selon le modèle, l'écart angulaire par rapport au segment rectangulaire est d'env. 45 à 60 minutes d'angle. Compte tenu de sa forme, le segment neuf ne porte que par le bord inférieur et n'a donc qu'un contact ponctuel avec l'alésage de cylindre. Il s'ensuit une pression superficielle mécanique importante à cet endroit et une érosion voulue de la matière. Grâce à cette usure de rodage souhaitée, une forme parfaitement ronde, donc un excellent effet d'étanchéité, sont obtenus au bout d'une brève durée de service. Au bout d'une durée de fonctionnement de plusieurs centaines de milliers de kilomètres, l'usure entraîne un enlèvement de matière au niveau de la surface de glissement conique et le segment conique agit alors plutôt comme un segment rectangulaire. Le segment initialement conique continue alors d'assurer une bonne étanchéité en tant que segment rectangulaire. Vu que la pression de gaz agit également sur l'avant du segment (la pression de gaz peut s'infiltrer dans l'interstice d'étanchéité entre le cylindre et la surface de glissement du segment), l'augmentation de la pression de gaz est quelque peu atténuée. Pendant la période de rodage du segment, la pression d'appui est légèrement réduite et le rodage est plus doux, avec moins d'usure.

Outre leur fonction de compression, les segments coniques possèdent de bonnes propriétés de raclage d'huile. Ceci s'explique par le retrait de l'arête supérieure du segment. Lors de la course ascendante entre le point mort bas et le point mort haut, le segment glisse sur le film d'huile. Sous l'effet des forces hydrodynamiques (formation d'une poche de lubrifiant), le segment se soulève légèrement de la surface du cylindre. Lors du déplacement en sens inverse, l'arête s'enfonce davantage dans le film d'huile et racle alors l'huile principalement en direction du compartiment du vilebrequin. Les segments coniques sont également utilisés dans la première gorge sur les moteurs à essence. La position du chanfrein ou de l'angle intérieur au niveau de l'arête inférieure produit ici un torsion négative du segment (voir le chapitre 1.6.9 Torsionnement du segment).



Pression de gaz sur le segment conique

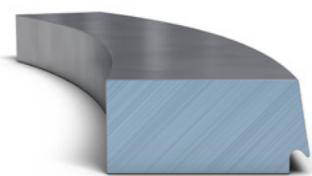
## SEGMENTS À BEC D'AIGLE



### Segment à bec d'aigle

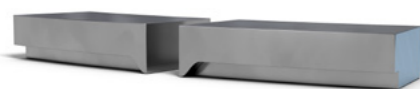
Sur un segment à bec d'aigle, le bord inférieur de la surface de glissement présente un évidement rectangulaire ou usiné sur l'arrière qui assure, outre l'étanchéité aux gaz, un effet de raclage d'huile. Cet évidement produit un certain volume à l'intérieur duquel l'huile raclée peut s'accumuler avant de retourner au carter d'huile.

Le segment à bec d'aigle était autrefois utilisé comme deuxième segment de compression sur de nombreux types de moteurs. Aujourd'hui, à la place des segments à bec d'aigle, on utilise surtout des segments coniques à bec d'aigle. Les segments à bec d'aigle sont également utilisés sur les pistons de compresseurs de systèmes de freinage à air comprimé, principalement comme premier segment de compression.



### Segment conique à bec d'aigle

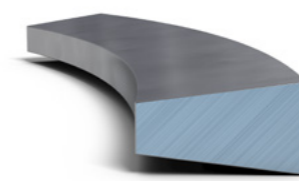
Le segment conique à bec d'aigle est une évolution du segment à bec d'aigle. La conicité de la surface de glissement renforce l'effet de raclage d'huile. Dans les compresseurs à pistons, le segment conique à bec d'aigle est utilisé non seulement dans la deuxième gorge, mais également dans la première.



### Segment conique à bec d'aigle à coupe fermée

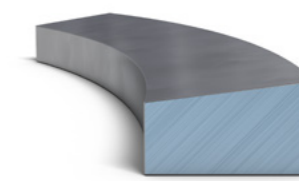
Sur certains segments coniques à bec d'aigle, afin d'améliorer la fonction d'étanchéité, l'évidement usiné sur l'arrière ne rejoint pas le bord de la coupe. Ceci réduit l'émission de gaz d'échappement blow-by par rapport à un segment conique à bec d'aigle normal (voir également le chapitre 1.6.5 Jeu à la coupe).

## SEGMENTS TRAPÉZOÏDAUX



Segment trapézoïdal

Les deux faces des segments trapézoïdaux ne sont pas parallèles, mais en forme de trapèze. L'angle est généralement de 6 °, 15 ° ou 20 °.



Segment semi-trapézoïdal

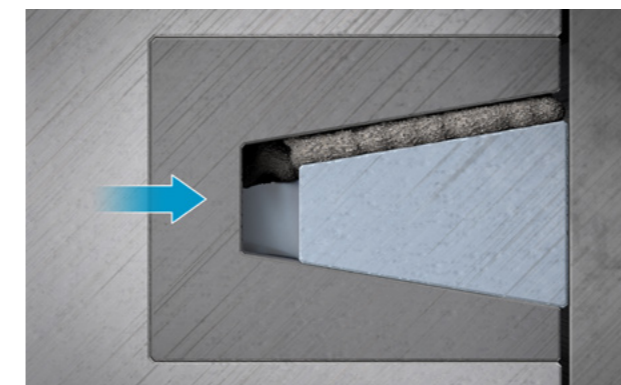
La face inférieure des segments semi-trapézoïdaux ne présente pas d'angle et est perpendiculaire à la surface de glissement des segments.

Les segments trapézoïdaux ou les segments semi-trapézoïdaux sont utilisés pour prévenir la carbonisation des gorges et le grippage consécutif des segments dans celles-ci. Lorsque des températures très élevées se produisent également à l'intérieur de la gorge, l'huile moteur présente à l'intérieur de la gorge risque de se carboniser sous l'effet de la chaleur. Sur les moteurs diesel, outre cette possible cokéfaction de l'huile, il se forme aussi de la suie. Celle-ci favorise également les dépôts dans la gorge. Si les segments de piston étaient bloqués dans la gorge par des dépôts, les gaz de combustion brûlants passeraient sans être gênés entre le piston et la paroi du cylindre et entraîneraient une surchauffe du piston. Les conséquences en seraient une fusion de la tête du piston et des dommages

importants sur le piston. Compte tenu des températures élevées et de la formation de suie, le segment trapézoïdal est utilisé principalement dans la gorge supérieure, et parfois dans la deuxième gorge, sur les moteurs diesel.

### ⚠ ATTENTION

Les segments trapézoïdaux et semi-trapézoïdaux ne doivent pas être insérés dans des gorges rectangulaires normales. Pour l'utilisation de segments trapézoïdaux, les gorges du piston doivent toujours présenter les formes correspondantes.



**Fonction de nettoyage :** Compte tenu de la forme des segments trapézoïdaux et de leur déplacement dans la gorge suite à l'oscillation du piston (voir le chapitre 1.6.11 Déplacements des segments de piston), les dépôts de carbonisation sont raclés mécaniquement.

### 1.3.2 SEGMENTS RACLEURS D'HUILE

#### FONCTION

Les segments racleurs d'huile sont conçus pour répartir l'huile sur la paroi du cylindre et en racler l'excédent d'huile. Afin d'améliorer la fonction d'étanchéité et de raclage, les segments racleurs d'huile possèdent généralement deux lèvres de raclage. Chacune de ces lèvres raclé l'huile excédentaire sur la paroi du cylindre. Il se forme donc, tant au bord inférieur du segment racler d'huile qu'entre les lèvres, un certain volume d'huile qui doit être évacué de la segmentation. Sous l'angle de l'oscillation du piston à l'intérieur de l'alésage de cylindre, la fonction d'étanchéité est d'autant mieux remplie que les deux lèvres sont rapprochées.

Le volume d'huile raclé par la lèvre supérieure et venant entre les deux lèvres doit être évacué de cette zone, car il pourrait franchir le segment racler d'huile et devrait alors être raclé par le deuxième segment de compression. C'est pourquoi les segments racleurs d'huile en une ou deux parties possèdent soit des fentes longitudinales, soit des orifices entre les lèvres. L'huile raclée par la lèvre supérieure rejoint l'arrière du segment à travers ces ouvertures du corps du segment.

L'huile raclée peut ensuite être drainée de différentes façons. L'une des méthodes consiste à diriger l'huile à l'intérieur du piston au travers d'orifices percés dans la gorge du racler, afin qu'elle puisse goutter dans le carter d'huile. Dans le cas des « encoches extérieures » (coverslots, Fig. 1), l'huile raclée est reconduite à l'extérieur du piston par l'évidement se trouvant autour du bossage d'axe. Une combinaison des deux variantes est également possible.

Les deux variantes ont fait leur preuve pour le drainage de l'huile raclée. Selon la forme du piston, le procédé de combustion ou l'application, on a recours à l'une ou à l'autre de ces variantes. Une préférence théorique en faveur de l'une des deux variantes ne peut être prononcée. La méthode la mieux adaptée au piston considéré est par conséquent déterminée à l'aide de divers essais pratiques.



Segment racler d'huile

#### REMARQUE

Sur les moteurs à deux temps, la lubrification du piston est assurée par le mélange. Par leur conception, il est donc possible de se passer d'un segment racler d'huile.

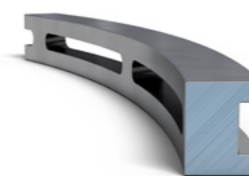
#### SEGMENTS RACLEURS D'HUILE EN UNE PARTIE

Les segments racleurs d'huile en une partie ne sont plus utilisés dans la construction de moteurs moderne. Leur tension est uniquement obtenue par leur coupe. Ces segments sont donc relativement rigides et présentent une moins bonne capacité de prise de forme, donc un moins bon effet d'étanchéité, que les segments racleurs d'huile en plusieurs parties. Les segments racleurs d'huile en une partie à fentes de passage d'huile se composent de fonte grise.



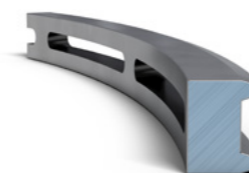
Segment racler d'huile

#### TYPES DE CONSTRUCTION



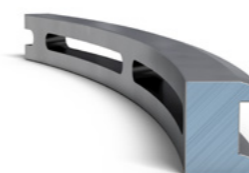
##### Segment racler d'huile à fentes

Version la plus simple avec des lèvres de raclage rectangulaires et des fentes de drainage d'huile.



##### Segment racler à lèvres chanfreinées symétriques

Par rapport au segment racler d'huile à fentes, les bords des lèvres de frottement sont chanfreinés pour améliorer la pression superficielle.



##### Segment racler à lèvres chanfreinées parallèles

Les lèvres de frottement de ce segment ne sont chanfreinées qu'en direction de la chambre de combustion. Ainsi, l'effet de raclage est plus intense au cours de la course descendante du piston.

## SEGMENTS RACLEURS D'HUILE EN DEUX PARTIES (À RESSORT SPIROÏDAL)

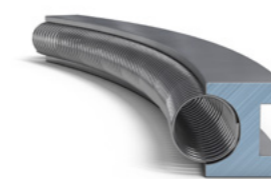
Les segments racleurs d'huile en deux parties se composent d'un corps de segment derrière lequel est placé un ressort en spirale. Par rapport au segment racleur d'huile en une partie, la coupe du corps du segment est sensiblement plus mince. Ainsi, le corps du segment est relativement flexible et possède une très bonne capacité de prise de forme. Le logement du ressort spiroïdal à l'intérieur du corps du segment est soit semi-circulaire, soit en forme de v.

La tension proprement dite est produite par un ressort de compression spiroïdal en acier à ressort résistant à la chaleur. Ce ressort se situe derrière le segment et presse celui-ci contre la paroi du cylindre. En fonctionnement, le ressort appuie fermement sur l'arrière du corps du segment avec lequel il forme un ensemble. Bien que le ressort ne tourne pas par rapport au segment, l'ensemble tout entier tourne librement dans la gorge du segment de piston, à l'instar des autres segments. Dans le cas des segments racleurs d'huile en deux parties, la répartition de la pression radiale est toujours symétrique car la pression d'appui est homogène sur toute la circonférence du ressort en spirale (voir également le chapitre 1.6.2 Répartition de la pression radiale).

Afin d'accroître la durée de vie des ressorts, leurs diamètres extérieurs sont rectifiés, enroulés plus serrés au niveau de la coupe du segment ou recouverts d'une gaine en téflon. Ces mesures permettent de réduire l'usure par friction entre le corps du segment et le ressort en spirale. Le corps des segments en deux parties se compose soit de fonte grise, soit d'acier.

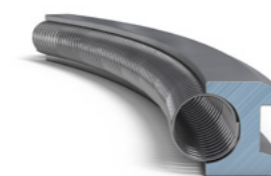
### REMARQUE

L'ouverture du segment (la distance entre les bords de la coupe du corps du segment déposé sans le ressort expanseur placé derrière) est insignifiante dans le cas des segments racleurs d'huile en plusieurs parties. Dans le cas notamment des segments en acier, l'ouverture du segment peut être presque nulle. Ceci n'est ni un défaut, ni une cause de réclamation.



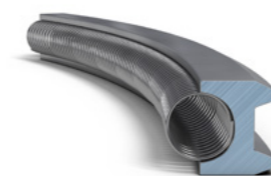
### Segment racleur d'huile à fentes avec ressort spiroïdal

Type de construction le plus simple avec un meilleur effet d'étanchéité qu'un segment racleur d'huile à fentes en une partie.



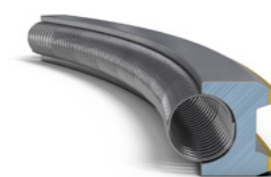
### Segment racleur à lèvres chanfreinées parallèles avec ressort spiroïdal

Forme de la surface de glissement identique à celle du segment à lèvres chanfreinées parallèles, mais avec un meilleur effet d'étanchéité.



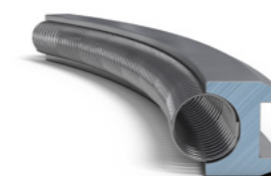
### Segment racleur à lèvres chanfreinées symétriques avec ressort spiroïdal

Forme de la surface de glissement identique à celle du segment racleur à lèvres chanfreinées symétriques, mais avec un meilleur effet d'étanchéité. Ce segment racleur d'huile est le plus répandu. Il peut être utilisé sur tout type de construction du moteur.



### Segment racleur à lèvres chanfreinées symétriques avec ressort spiroïdal et lèvres de frottement chromées

Propriétés identiques à celles du segment racleur à lèvres chanfreinées symétriques avec ressort spiroïdal, mais résistance à l'usure, donc durée de vie, supérieure. Il convient donc particulièrement aux moteurs diesel.

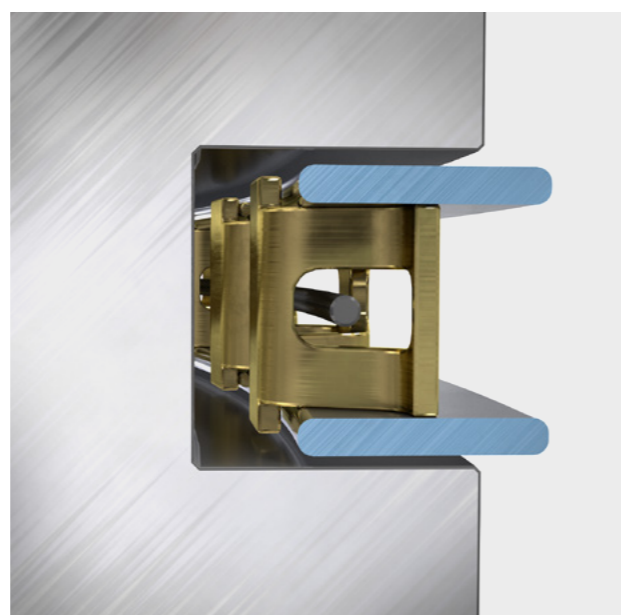


### Segment racleur à lèvres chanfreinées symétriques avec ressort spiroïdal en acier nitruré

Ce segment est réalisé à partir de feuillard d'acier profilé et muni d'une couche de protection contre l'usure sur toutes ses faces. Il est très flexible et moins cassant que les segments en fonte grise ci-dessus. Le drainage d'huile entre les lèvres se fait au travers d'ouvertures rondes estampées. Ce type de segment racleur d'huile est utilisé principalement sur les moteurs diesel.

### SEGMENTS RACLEURS D'HUILE EN TROIS PARTIES

Les segments racleurs d'huile en trois parties se composent de deux fines lamelles d'acier pressées contre la paroi du cylindre par un ressort extenseur et d'écartement. Les segments racleurs d'huile à lamelles d'acier ont soit des surfaces de glissement chromées, soit sont entièrement nitrurés. Ceci améliore les propriétés d'usure de la surface de glissement ainsi qu'entre le ressort extenseur et les lamelles (usure secondaire). Les segments racleurs d'huile en trois parties possèdent une très bonne capacité de prise de forme et sont utilisés principalement sur les moteurs à essence de voitures particulières.



Segment racleur d'huile en trois parties

### 1.3.3 SEGMENTATION TYPIQUE DU PISTON

Un unique segment de piston ne suffit pas pour satisfaire les exigences complexes auxquelles les segments de piston ont à faire face. Différents types de segments doivent être combinés. Ainsi, la combinaison d'un segment de compression, d'un segment combiné de compression/racleur et d'un véritable segment racleur d'huile, a fait ses preuves dans la construction de moteurs pour véhicules moderne. Les pistons comportant plus de trois segments sont relativement rares de nos jours.



- 01 Segment de compression
- 02 Segment de compression et racleur
- 03 Segment racleur d'huile

### 1.3.4 LE SEGMENT DE PISTON LE PLUS APPROPRIÉ

Il n'existe ni meilleur segment de piston, ni meilleure segmentation du piston. Chaque segment de piston est « spécialisé » dans son domaine. Tout type de segment et toute segmentation relèvent d'un compromis entre des exigences totalement différentes et parfois contraires. La modification d'un unique segment de piston peut déséquilibrer totalement un jeu de segments.

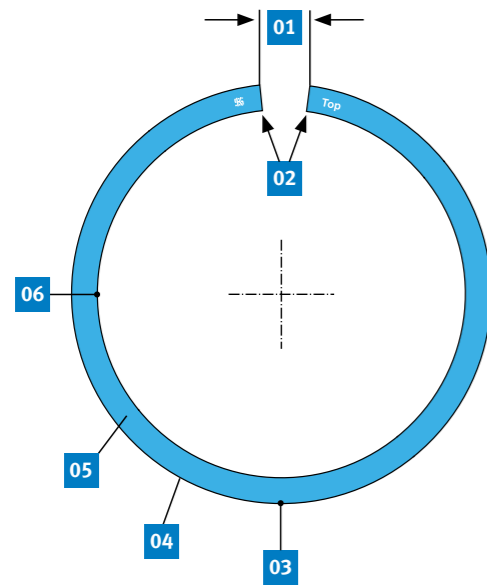
La composition définitive d'un jeu de segments pour un moteur nouvellement conçu est toujours définie à l'aide de nombreux tests sur banc d'essai et en conditions de fonctionnement normales.

Sans prétendre être exhaustif, le tableau ci-après permet de voir de quelle manière les différentes propriétés des segments se répercutent sur leurs différentes fonctions.

- favorable – positif
- moyen – neutre
- défavorable – négatif

Exigence	Friction	Rodage	Durée de vie
Forte tension du segment	●	●	●
Faible tension du segment	●	●	●
Matériau résistant à l'usure	-	●	●
Matériau plus tendre	-	●	●
Faible hauteur de segment	●	●	●
Grande hauteur de segment	●	●	●

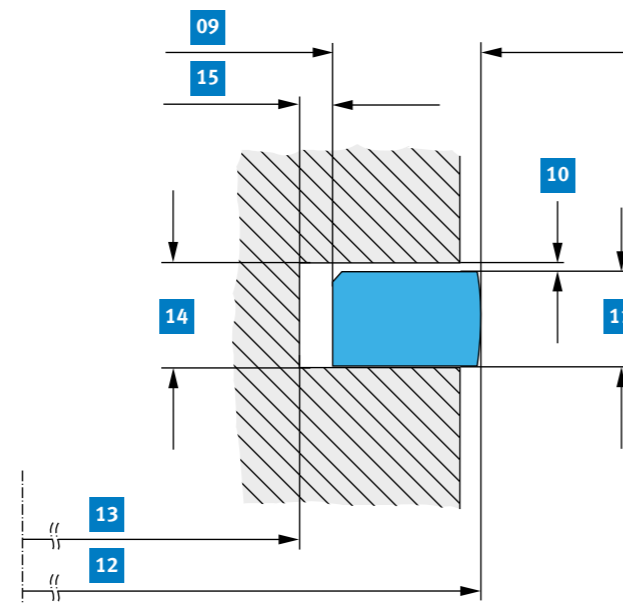
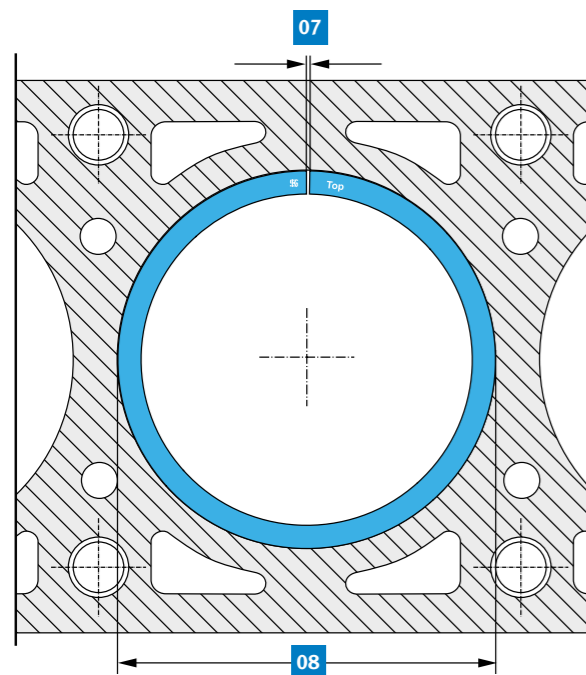
## 1.4 DÉNOMINATIONS



- 01 Ouverture du segment
- 02 Bords de la coupe
- 03 Dos du segment (à l'opposé des bords de la coupe)
- 04 Surface de glissement du segment
- 05 Surface latérale du segment
- 06 Surface interne du segment

- 07 Jeu à la coupe (jeu à froid)
- 08 Diamètre du cylindre

- 09 Épaisseur de paroi radiale
- 10 Jeu axial
- 11 Hauteur du segment de piston
- 12 Diamètre du cylindre
- 13 Diamètre du fond de la gorge
- 14 Hauteur de la gorge
- 15 Jeu radial



## 1.5 CONSTITUTION ET FORME DES SEGMENTS DE PISTON

### 1.5.1 MATÉRIAUX DES SEGMENTS DE PISTON

Les matériaux des segments de piston sont choisis en fonction des caractéristiques de glissement et des conditions dans lesquelles les segments de piston doivent fonctionner. Une bonne élasticité et une bonne résistance à la corrosion sont importantes au même titre qu'une résistance élevée aux détériorations sous conditions de fonctionnement extrêmes. Aujourd'hui encore, la fonte grise est le principal matériau utilisé pour fabriquer les segments de piston. Du point de vue tribotechnique, la fonte grise et le graphite contenu dans sa structure offrent d'excellentes capacités de fonctionnement en mode dégradé (lubrification à sec par le graphite).

Celles-ci sont extrêmement importantes lorsque la lubrification par l'huile moteur n'est plus assurée ou que le film de lubrification est déjà détruit. En outre, les veines de graphite présentes dans la structure du segment font office de réservoir d'huile et agissent, là aussi, contre la destruction du film de lubrification dans des conditions de fonctionnement défavorables.

**Parmi les fontes grises, les matériaux utilisés sont les suivants**

- Fonte à structure de graphite lamellaire (fonte graphitique lamellaire), trempée et revenue ou non
- Fonte à structure de graphite globulaire (fonte nodulaire), trempée et revenue ou non

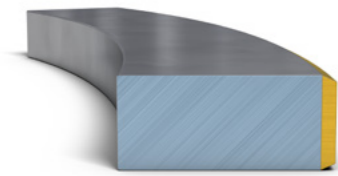
En ce qui concerne l'acier, on utilise l'acier chromé à microstructure martensitique et l'acier à ressort. Les surfaces sont trempées afin d'augmenter leur résistance à l'usure. Cette opération est généralement effectuée par nitruration\*.

\* La nitruration (nitration), également appelée azotisation en langage technique, consiste en un apport d'azote et est un procédé de trempe de l'acier. La nitruration se déroule généralement sous des températures de 500 à 520 °C, avec des durées de traitement de 1 à 100 heures. La diffusion d'azote produit à la surface de la pièce une couche de jonction très dure, en nitrure de fer. Selon la durée du traitement, l'épaisseur de cette couche peut atteindre 10 à 30 µm. Les procédés les plus courants sont la nitruration en bain de sel (vilebrequins par exemple), la nitruration au gaz (segments de piston) et la nitruration au plasma.

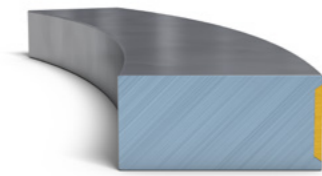


Processus de coulée des segments de piston

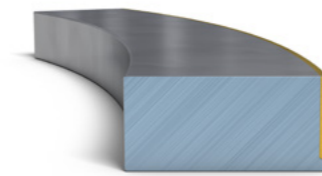
### 1.5.2 MATÉRIAUX DE REVÊTEMENT DES SURFACES DE GLISSEMENT



Revêtement intégral



Compartimenté



Compartimenté unilatéralement

Les lèvres de frottement ou les surfaces de glissement des segments de piston peuvent recevoir un revêtement qui améliore leurs propriétés tribotechniques\*. Il s'agit prioritairement d'améliorer la résistance à l'usure et d'assurer la lubrification et l'étanchéité sous conditions extrêmes. La matière composant le revêtement doit s'accorder tant avec les matériaux du segment de piston et de la paroi du cylindre qu'avec le lubrifiant. L'utilisation de revêtements est largement répandue pour les surfaces de glissement des segments de piston. Les segments des moteurs de série sont fréquemment revêtus de chrome, de molybdène et d'oxyde de fer.

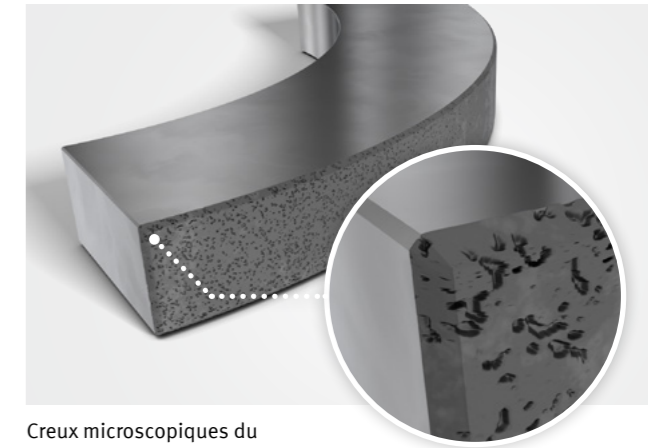
\* La tribologie (du grec : étude du frottement) couvre le domaine de la recherche et la technologie des surfaces interagissant dans le cadre d'un déplacement relatif. Elle s'intéresse à la description scientifique de la friction, de l'usure et de la lubrification.

#### REVÊTEMENTS EN MOLYBDÈNE

Afin de prévenir les traces de brûlure, la surface de glissement des segments de compression (mais pas celle des segments racleurs d'huile) peut être partiellement ou complètement revêtue de molybdène. Cette opération peut être effectuée par projection à la flamme ou au plasma. Le molybdène possède un point de fusion élevé (2620 °C), d'où une excellente résistance à la température. En outre, le procédé de revêtement confère au matériau une structure poreuse. De l'huile moteur peut s'accumuler dans les creux microscopiques ainsi formés à la surface de glissement des segments (Fig. 2). Ainsi, de l'huile moteur reste présente, même dans les états de fonctionnement extrêmes, pour assurer la lubrification de la surface de glissement des segments.

##### Propriétés

- Haute résistance à la température
- Bonnes capacités de fonctionnement en mode dégradé
- Plus tendres que le chrome
- Moins résistants à l'usure que les segments chromés (plus sensibles à l'encrassement)
- Plus sensibles au flottement du segment (de ce fait, cassures éventuelles du molybdène en cas de contraintes extrêmes, de combustion détonante et autres dysfonctionnements de combustion, par exemple)



Creux microscopiques du revêtement en molybdène

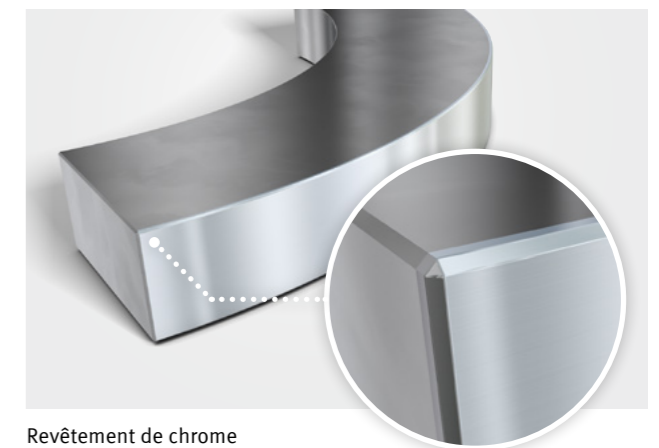
#### REVÊTEMENTS GALVANISÉS

##### REVÊTEMENTS DE CHROME

La plupart des revêtements de chrome sont réalisés par galvanisation.

##### Propriétés

- Longue durée de vie (résistants à l'usure)
- Surface dure, solide
- Usure du cylindre réduite (env. 50 % par rapport à des segments de piston sans revêtement)
- Bonne résistance par rapport aux traces de brûlure
- Capacités de fonctionnement en mode dégradé moins bonnes que celles des revêtements en molybdène
- Bonne résistance à l'usure, d'où une période de rodage plus longue que celle des segments de piston ordinaires, des segments racleurs d'huile à lamelles d'acier ou des segments racleurs d'huile U-Flex



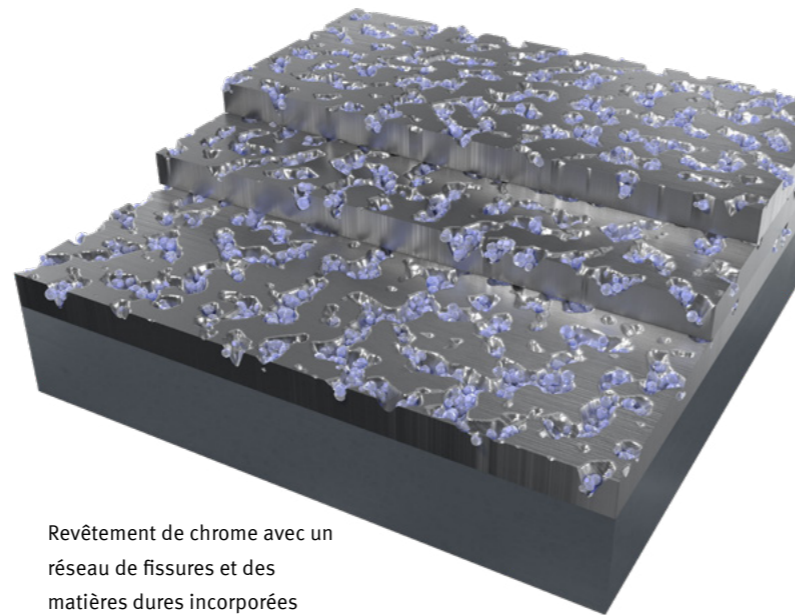
Revêtement de chrome

### REVÊTEMENTS CK (CHROME-CÉRAMIQUE) ET REVÊTEMENTS DC (DIAMOND COATED)

Ces revêtements se composent d'une couche de chrome réalisée par galvanisation, avec un réseau de fissures dans lequel sont solidement incorporées des matières dures. La matière incorporée est de la céramique (CK) ou du microdiamant (DC).

#### Propriétés

- Très faibles pertes par friction grâce à la surface extrêmement lisse
- Résistance à l'usure très élevée et longue durée de vie grâce aux matières dures incorporées
- Bonne résistance aux traces de brûlure
- Faible auto-usure de la couche du segment de piston avec une usure du cylindre faible et constante



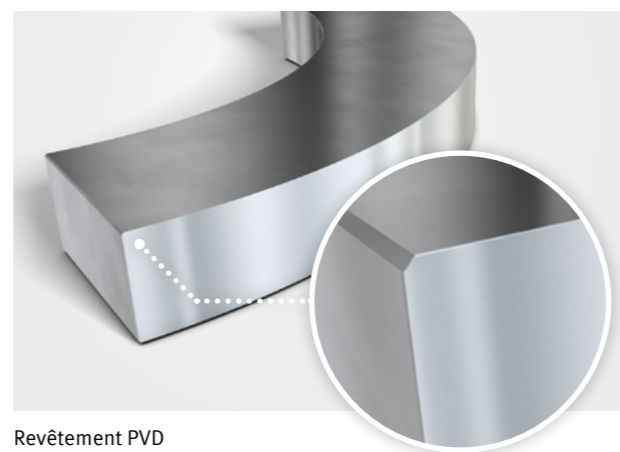
Revêtement de chrome avec un réseau de fissures et des matières dures incorporées

### REVÊTEMENTS PVD

PVD est l'acronyme de « Physical Vapour Deposition », un procédé de revêtement sous vide qui consiste à appliquer des revêtements en matière dure (CrN – nitrure de chrome(III)) directement sur la surface du segment de piston par vaporisation.

#### Propriétés

- La surface extrêmement lisse réduit les pertes par friction.
- La structure très fine et dense de la couche à dureté élevée procure une très forte résistance à l'usure.
- Grâce à la forte résistance à l'usure, le contour du segment est conservé pendant une durée de fonctionnement supérieure. Ceci permet, avec un segment racler d'huile à revêtement PVD par exemple, de réduire davantage la tension du segment, d'où des avantages importants en termes de puissance de friction.



Revêtement PVD

### 1.5.3 DÉTACHEMENTS DE LA COUCHE DE REVÊTEMENT

Des détachements des revêtements de la surface de glissement se produisent de temps en temps avec les revêtements en molybdène et en oxyde de fer appliqués par pulvérisation. Ceci est dû principalement à des erreurs lors du montage des segments de piston (écartement excessif lors du montage des segments sur le piston, comme sur la Fig. 1). Si le montage des segments sur le piston n'est pas effectué correctement, le revêtement se casse uniquement au dos du segment (Fig. 2). Si le revêtement s'effrite aux bords de la coupe, ceci est dû au flottement du segment suite à des dysfonctionnements de combustion (combustion détonante, par exemple).



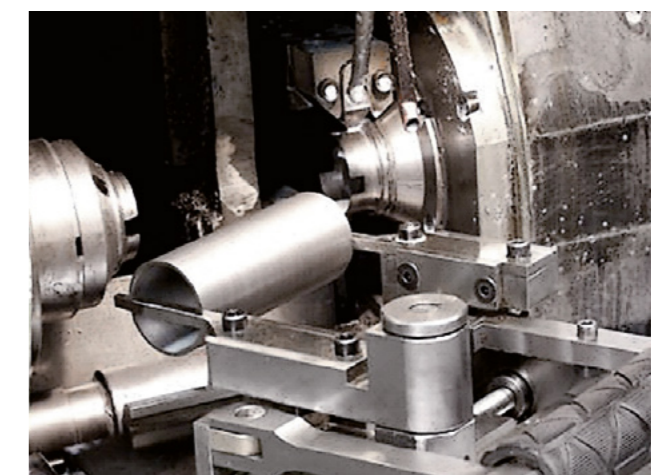
Fig. 2 : Cassure du revêtement au dos du segment.



Fig. 1 : Torsionnement et écartement des segments de piston lors du montage sur le piston

### 1.5.4 USINAGE DES SURFACES DE GLISSEMENT (TOURNÉES, RODÉES À LA PÂTE ABRASIVE, MEULÉES)

En général, la surface de glissement des segments de piston ordinaires en fonte est seulement usinée finement au tour. Compte tenu de la brièveté de la période de rodage des segments ordinaires, leur surface de glissement n'est pas meulée ou rodée à la pâte abrasive. Les surfaces de glissement revêtues ou trempées sont soit meulées, soit rodées à la pâte abrasive. Ceci s'explique par le fait que, compte tenu de leur résistance à l'usure élevée, ces segments nécessiteraient beaucoup de temps pour adopter une forme ronde et être bien étanches. Le cas échéant, il s'en suivrait une perte de puissance et une consommation d'huile élevée.



Tour pour l'usinage des surfaces de glissement

### 1.5.5 FORMES BOMBÉES DES SURFACES DE GLISSEMENT

La forme de la surface de glissement est une autre cause de recours au meulage ou au rodage à la pâte abrasive. La surface de glissement des segments de piston rectangulaires (ordinaires) se bombe au bout d'un certain temps (Fig. 1) suite à la course ascendante et descendante et au déplacement du segment dans la gorge (torsion du segment). Ceci se répercute positivement sur la formation du film lubrifiant et sur la durée de vie du segment.

Une forme légèrement bombée est donnée aux segments de piston avec revêtement dès leur production. Ils peuvent alors se passer d'un rodage à la forme souhaitée puisque leur surface de glissement est déjà pré-rodée à la bonne forme. Ceci élimine à la fois la forte usure de rodage et la consommation d'huile qui va de pair avec celle-ci. Compte tenu du contact ponctuel de la surface de glissement des segments, la pression d'appui spécifique sur la paroi du cylindre est supérieure, d'où un meilleur effet d'étanchéité vis-à-vis des gaz et de l'huile. En outre, le risque de contacts des bords par les arêtes tranchantes des segments est réduit. Les segments chromés possèdent de toute façon toujours une arête chanfreinée pour éviter de percer le film d'huile pendant le rodage. En cas d'exécution défavorable, le revêtement de chrome très dur pourrait entraîner une usure considérable et des dommages sur la paroi du cylindre beaucoup plus tendre.

Les surfaces de glissement des segments bombés symétriques (Fig. 2), qu'elles soient obtenues par rodage ou réalisées lors de la production des segments, possèdent de très bons coefficients de glissement et produisent une épaisseur du film de lubrification définie. Avec un bombement symétrique, l'épaisseur du film de lubrification est identique lors de la course ascendante et descendante du piston. Les forces qui font flotter le segment sur le film d'huile sont égales dans les deux directions.

Si le bombement est réalisé lors de la production du segment de piston, il est possible de réaliser un bombement asymétrique en vue d'un meilleur contrôle de la consommation d'huile. Le sommet du bombement ne se situe alors pas au milieu de la surface de glissement, mais légèrement en dessous (Fig. 3).

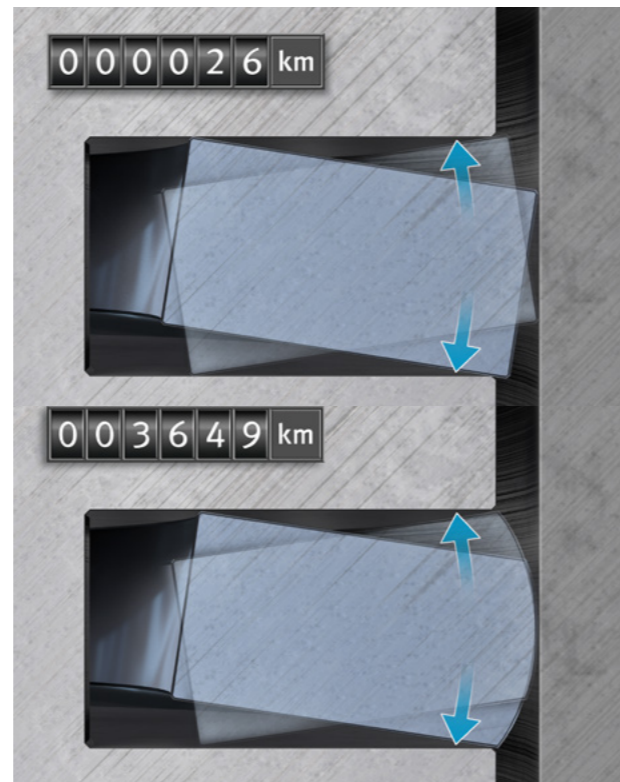


Fig. 1 : Bombement par usure de rodage

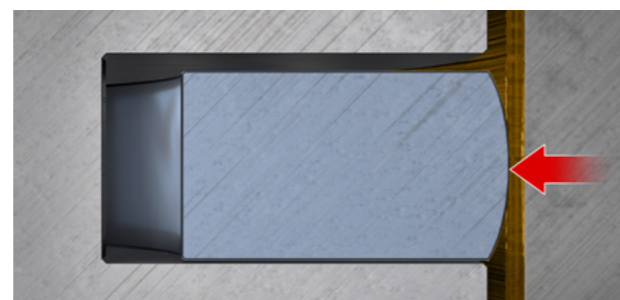


Fig. 2 : Surface de glissement bombée symétriquement



Fig. 3 : Surface de glissement bombée asymétriquement

Cette asymétrie de la surface de glissement produit un comportement différent lors de la course ascendante et descendante du segment. Durant la course ascendante, vu que la surface est plus importante, le segment est plus fortement repoussé par l'huile et la quantité d'huile raclée est moindre. Durant la course descendante, le segment de piston flotte moins, vu que la surface est plus petite, et la quantité d'huile raclée est plus importante (Fig. 4 et 5). Ainsi, les segments bombés asymétriques servent également au contrôle de la consommation d'huile, notamment en présence de conditions de fonctionnement défavorables comme sur les moteurs diesel. Ceci se produit, par exemple, après de longues phases de ralenti après un fonctionnement à plein régime, au cours duquel de l'huile est fréquemment expulsée dans le système d'échappement, avec une production de fumée bleue lors d'une nouvelle accélération.



Fig. 4 : Flottement important pendant la course ascendante

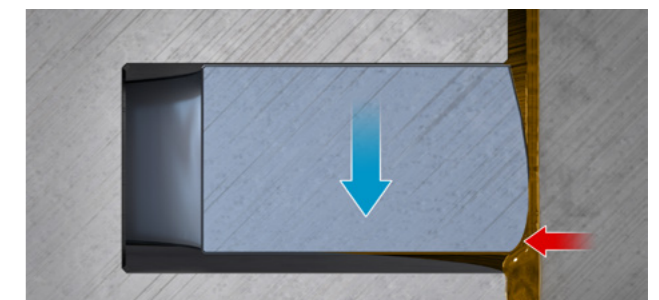


Fig. 5 : Flottement faible pendant la course descendante

### 1.5.6 TRAITEMENTS DE SURFACES

Selon, le type, les surfaces des segments de piston peuvent être nues, phosphatées ou cuivrées. Ceci influence uniquement le comportement des segments face à la corrosion. Les segments nus possèdent un joli brillant quand ils sont neufs, mais ne sont pas protégés de la formation de rouille. Les segments phosphatés présentent une surface noir mat et sont protégés de la formation de rouille par la couche de phosphate.

Les segments cuivrés sont, eux aussi, bien protégés de la rouille, et bénéficient d'une légère protection contre la carbonisation pendant le rodage. Le cuivre possède un certain effet de lubrification à sec et, de ce fait, de faibles capacités de fonctionnement en mode dégradé lors du rodage.

Cependant, les traitements des surfaces n'ont aucune influence sur le fonctionnement des segments. La couleur d'un segment de piston n'est donc en rien révélatrice de sa qualité.



## 1.6 FONCTION ET PROPRIÉTÉS

### 1.6.1 TENSION TANGENTIELLE

Le diamètre des segments de piston est plus grand en l'absence de tension que lorsqu'ils sont montés. Ceci est nécessaire pour obtenir, une fois montés, la pression d'appui nécessaire de tous côtés dans le cylindre.

La mesure de la pression d'appui dans le cylindre s'avère difficile dans la pratique. C'est pourquoi la force diamétrale qui presse le segment contre la paroi du cylindre est déterminée à l'aide d'une formule à partir de la force tangentielle. La force tangentielle est la force nécessaire pour rapprocher les bords de la coupe au jeu à la coupe (Fig. 1). La force tangentielle est mesurée à l'aide d'une bande d'acier flexible, enroulée autour du segment. On tend ensuite la bande jusqu'à atteindre le jeu à la coupe prescrit du segment de piston. La force tangentielle peut alors être lue sur le dynamomètre. La mesure des segments racleurs d'huile est toujours effectuée avec le ressort extenseur en place. Pour obtenir des mesures précises,

le dispositif de mesure est mis sous vibrations afin que le ressort extenseur puisse prendre sa forme naturelle derrière le corps du segment. Les segments à ressort à lamelles d'acier en trois parties nécessitent, de par leur configuration, une fixation axiale supplémentaire de l'ensemble faute de quoi les lamelles d'acier s'échapperaient latéralement, ce qui rendrait la mesure impossible. La mesure de la force tangentielle est représentée schématiquement sur la Fig. 1.

#### REMARQUE

L'usure radiale des segments de piston, due à la friction mixte ou à une durée de fonctionnement prolongée, entraîne une baisse de la tension tangentielle. Une mesure de la tension n'est judicieuse que sur des segments neufs, dont la coupe est encore intacte.

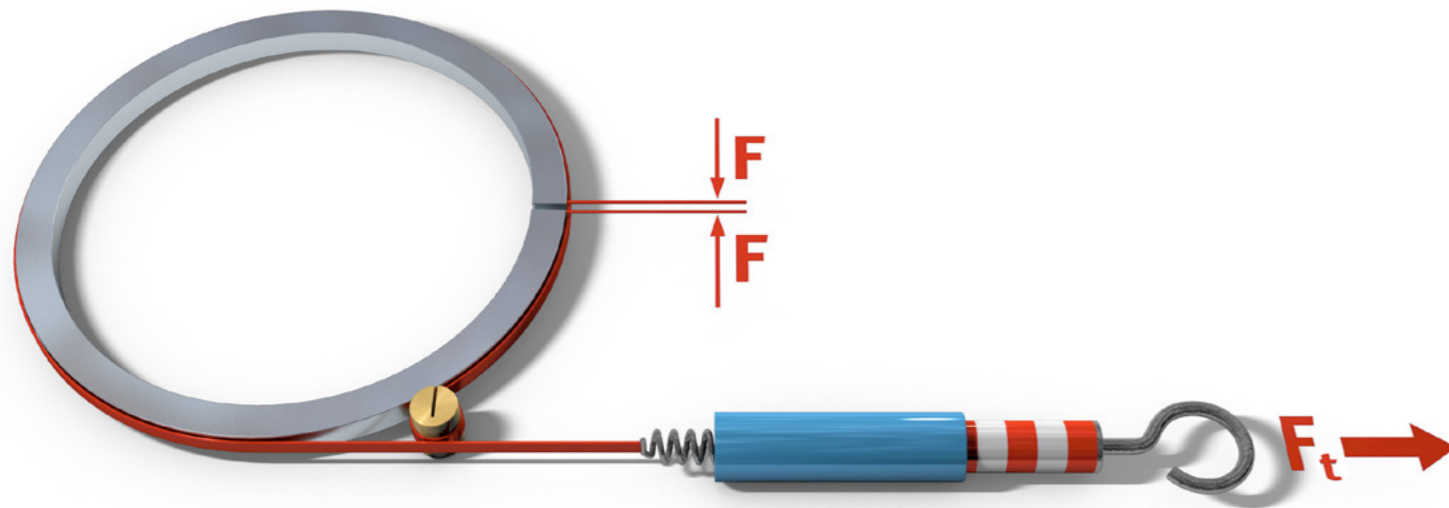


Fig. 1 : Mesure de la force tangentielle

### 1.6.2 RÉPARTITION DE LA PRESSION RADIALE

La pression radiale est fonction du module d'élasticité du matériau, de l'ouverture du segment en l'absence de tension ainsi que de la coupe du segment. La répartition de la pression radiale peut être différenciée de deux façons. La plus simple est la répartition de la pression radiale symétrique (Fig. 2). Elle concerne avant tout les segments racleurs d'huile composés d'un porte-segment flexible ou de lamelles d'acier avec une contrainte interne relativement faible. Le ressort extenseur qui se trouve derrière presse le porte-segment ou les lamelles d'acier contre la paroi du cylindre. Compte tenu du ressort extenseur qui, lorsqu'il est comprimé (segment monté), prend appui sur le dos du porte-segment ou sur les lamelles d'acier, la pression radiale agit symétriquement.

La répartition de la pression radiale symétrique a été abandonnée pour les segments de compression de moteurs à quatre temps. Elle est remplacée par une répartition en forme de poire (ovale positif) afin d'agir contre la tendance au flottement des bords de la coupe des segments à régime élevé (Fig. 3). Le flottement du segment commence toujours aux bords de la coupe et se propage sur tout le tour du segment. L'augmentation de la force d'appui aux bords de la coupe permet de le contrer, vu que les segments de piston sont plus fortement pressés contre la paroi du cylindre dans cette zone, ce qui réduit ou empêche efficacement le flottement du segment.

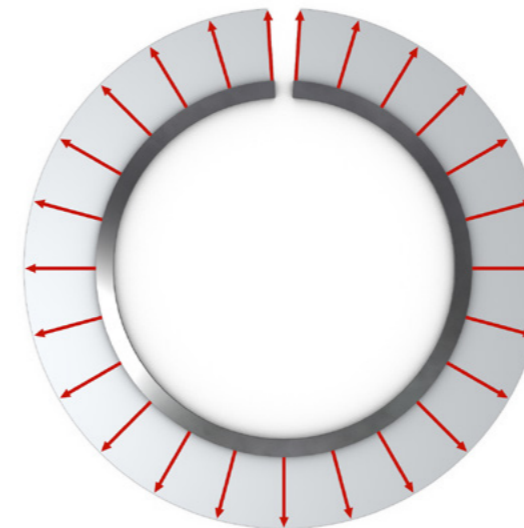


Fig. 2 : Répartition de la pression radiale symétrique

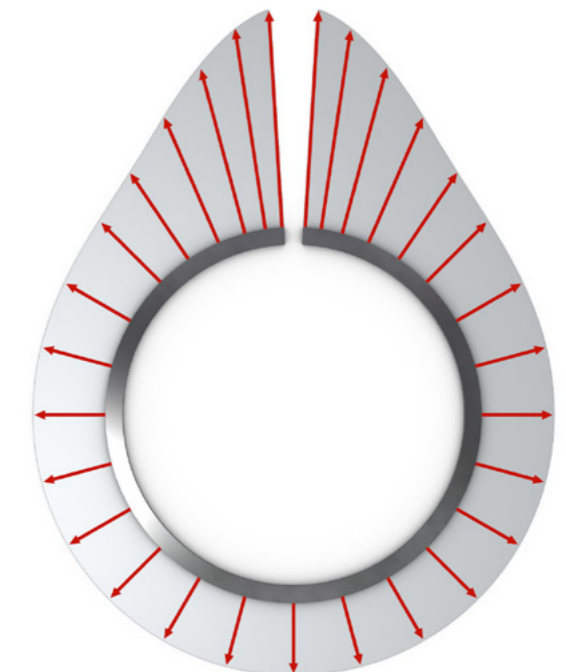


Fig. 3 : Répartition de la pression radiale en ovale positif

### 1.6.3 RENFORCEMENT DE LA PRESSION D'APPUI PAR LA PRESSION DE COMBUSTION

Le renforcement de la pression d'appui par la pression de combustion, qui agit sur les segments de compression pendant le fonctionnement du moteur, est bien plus important que la contrainte interne des segments de piston.

Pendant le cycle de travail, jusqu'à 90 % de la force d'appui totale du premier segment de compression sont produits par la pression de combustion. Comme le montre la Fig. 1, la pression s'applique derrière les segments de compression et presse ceux-ci encore plus fortement contre la paroi du cylindre. Le renforcement de la force d'appui agit principalement sur le premier segment de compression et, sous une forme atténuée, sur le deuxième segment de compression.

La pression de gaz pour le deuxième segment de piston peut être contrôlée en faisant varier le jeu à la coupe du premier segment de compression. Avec un écartement légèrement plus grand, une pression de combustion plus importante peut,

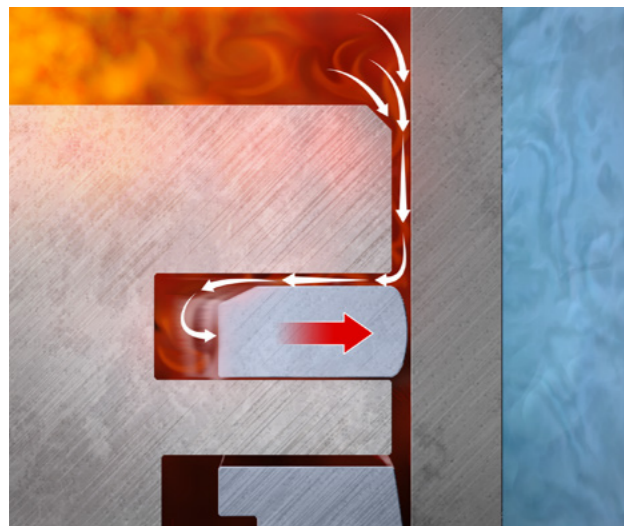


Fig. 1 : Renforcement de la pression d'appui

par exemple, passer à l'arrière du deuxième segment de compression, ce qui produit, là aussi, un renforcement de la pression. Avec un plus grand nombre de segments de compression, la pression de gaz de la combustion ne produit plus de renforcement de la pression d'appui à partir du deuxième segment de compression.

Les segments racleurs d'huile ne fonctionnent qu'avec leur contrainte interne. En raison de la forme particulière de ces segments, la pression de gaz ne peut pas renforcer la pression. La répartition de la force sur le segment de piston dépend également de la forme de la surface de glissement du segment. Dans le cas des segments coniques et des segments de compression bombés, la pression de gaz parvient également dans l'interstice d'étanchéité entre la surface de glissement du segment et la paroi du cylindre et s'oppose à la pression de gaz présente derrière le segment de piston (voir le chapitre 1.3.1 Segments de compression).

La force d'appui axiale qui agit sur un segment de compression au niveau du flanc inférieur de la gorge est uniquement due à la pression de gaz. La contrainte interne des segments n'a aucun effet en sens axial.

#### REMARQUE

Au ralenti, le moins bon remplissage des cylindres entraîne une baisse du renforcement de la pression des segments. Ceci se manifeste particulièrement sur les moteurs diesel. Les moteurs au ralenti prolongé consomment plus d'huile, car le manque de renforcement de la pression de gaz nuit à l'effet de raclage. Lors d'une accélération suite à une longue phase de ralenti, l'échappement des moteurs expulse fréquemment des nuages d'huile bleus, car de l'huile a pu s'accumuler dans le cylindre et dans le système d'échappement et n'est brûlée qu'au moment de l'accélération.

### 1.6.4 PRESSION D'APPUI SPÉCIFIQUE



Fig. 2 et Fig. 3 : Tension du segment et force d'appui spécifique

La pression d'appui spécifique est fonction de la tension du segment et de la surface d'appui du segment sur la paroi du cylindre. Il existe deux possibilités pour doubler la force d'appui : soit on double la tension du segment, soit on divise par deux la surface d'appui du segment dans le cylindre. Comme le montrent les Fig. 2 et 3, la force résultante (force d'appui spécifique = force x surface) agissant sur la paroi du cylindre est toujours la même, bien que la tension du segment ait été doublée ou divisée par deux.

Sur les moteurs récents, la tendance est à des hauteurs de segment plus réduites, vu que l'on cherche à réduire la friction interne dans le moteur. Mais ceci n'est possible qu'en diminuant la surface de contact active entre le segment et la paroi du cylindre. En divisant la hauteur de segment par deux, la tension du segment de piston, donc la friction, est également réduite de moitié.

Vu que la force résiduelle agit sur une plus petite surface, la pression d'appui spécifique sur la paroi du cylindre (force x surface) reste la même, avec la moitié de la surface et la moitié de la tension, qu'avec le double de la surface et le double de la tension.

#### ATTENTION

La tension du segment seule ne peut pas être utilisée pour évaluer la pression d'appui du comportement d'étanchéité. La taille de la surface de glissement doit toujours être prise en compte pour comparer des segments de piston.

## 1.6 FONCTION ET PROPRIÉTÉS

### 1.6.5 JEU À LA COUPE

Le jeu à la coupe (Fig.1) est une caractéristique de conception importante pour le bon fonctionnement des segments de piston. Il est comparable au jeu des soupapes d'admission et d'échappement. L'échauffement des composants s'accompagne d'une dilatation thermique naturelle qui entraîne un allongement ou un élargissement du diamètre. Selon la différence entre la température ambiante et la température de service, un jeu à froid plus ou moins important est nécessaire pour que le fonctionnement soit assuré à la chaleur de service.

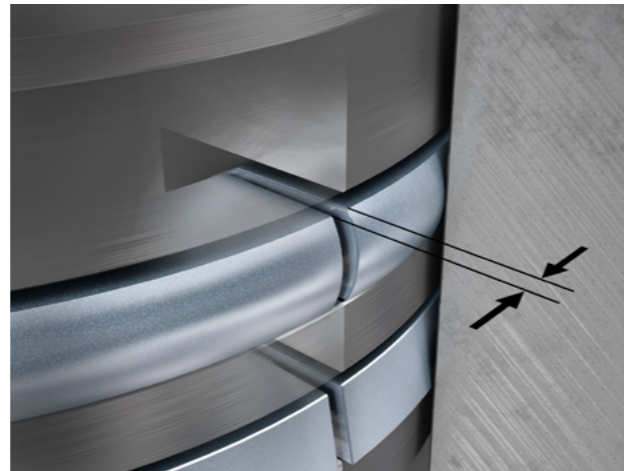


Fig. 1 : Jeu à la coupe d'un segment monté

Pour pouvoir fonctionner correctement, les segments de piston doivent pouvoir tourner librement dans leur gorge. Un segment qui se bloque dans la gorge ne peut ni assurer l'étanchéité, ni évacuer la chaleur. Grâce au jeu à la coupe, qui doit être présent également à la température de service, la circonférence du segment de piston reste toujours inférieure à celle du cylindre malgré la dilatation thermique. Si la dilatation thermique supprimait complètement le jeu à la coupe, les bords de la coupe du segment de piston seraient pressés l'un sur l'autre. Si la pression continuait d'augmenter, le segment de piston serait même obligé de se déformer pour compenser la modification de la longueur due à l'échauffement. Vu qu'un écartement en sens radial du segment de piston suite à la dilatation thermique est impossible, la modification de la longueur ne pourrait être compensée qu'en sens axial. La Fig. 2 montre la déformation du segment lorsque la place manque dans le cylindre.

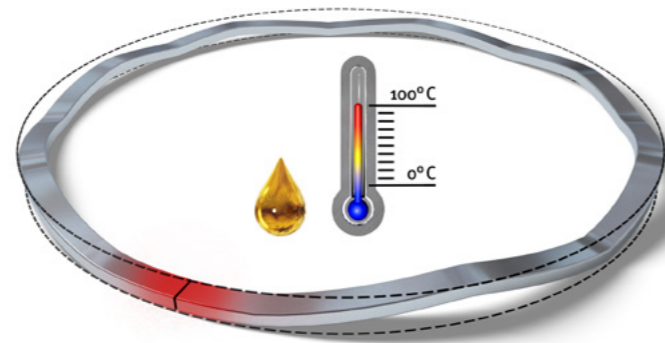


Fig. 2 : Déformation du segment de piston à la température de service

Le calcul suivant montre, à l'exemple d'un segment de piston de 100 mm de diamètre, la modification de la longueur circonférentielle du segment à la température de service.

#### Exemple de calcul

Diamètre du cylindre	$d = 100 \text{ mm}$
Température ambiante	$t_1 = 20 \text{ °C} = 293 \text{ K}$
Température de service	$t_2 = 200 \text{ °C} = 473 \text{ K}$
Coefficient de dilatation longitudinale de la fonte	$\alpha = 0,000010 \text{ K}^{-1}$

#### Circonférence du segment de piston

$$U = d \times \pi$$

$$U = 100 \times 3,14 = 314 \text{ mm}$$

$$U = l_1$$

#### Modification de la longueur du segment de piston à la température de service

$$\Delta l = l_1 \times \alpha \times \Delta t$$

$$\Delta l = l_1 \times \alpha \times (t_2 - t_1)$$

$$\Delta l = 314 \times 0,000010 \times 180 = 0,57 \text{ mm}$$

Dans cet exemple, il faut donc un jeu à la coupe d'au moins 0,6 mm pour permettre un bon fonctionnement. Toutefois, le piston et les segments de piston ne sont pas les seuls à se dilater ; le diamètre de l'alésage de cylindre augmente également sous l'effet de l'échauffement à la température de service. Le jeu à la coupe peut donc être légèrement inférieur. Cependant, la dilatation thermique de l'alésage de cylindre est bien moindre que celle du segment de piston. D'une part, la structure du bloc-moteur est plus rigide que celle du piston, et d'autre part, la surface du cylindre chauffe moins que le piston avec les segments de piston.

En outre, l'élargissement du diamètre de l'alésage de cylindre suite à la dilatation thermique n'est pas identique sur toute la zone de travail du cylindre. La partie supérieure du cylindre se dilate davantage que la partie inférieure en raison de l'impact calorifique de la combustion. Cette dilatation thermique irrégulière du cylindre entraîne par conséquent une divergence de forme du cylindre, qui devient légèrement conique (Fig. 3).

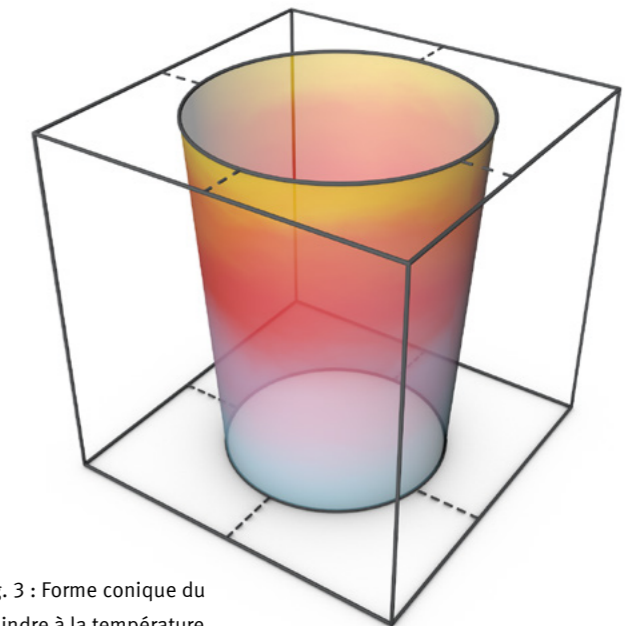


Fig. 3 : Forme conique du cylindre à la température de service

### 1.6.6 SURFACES D'ÉTANCHÉITÉ DES SEGMENTS DE PISTON

Les segments de piston n'étanchéifient pas qu'au niveau de la surface de glissement, mais également au niveau de la face inférieure. L'effet d'étanchéité à la surface de glissement concerne l'étanchéité du segment par rapport à la paroi du cylindre tandis que le flanc inférieur de la gorge concerne l'étanchéité à l'arrière du segment. Il faut donc non seulement un bon contact entre le segment et la paroi du cylindre, mais également un bon contact avec le flanc inférieur de la gorge du piston (Fig. 1). En l'absence de ce contact, l'huile et les gaz de combustion peuvent franchir le segment par l'arrière.



Fig. 1 : Étanchéité par le flanc de la gorge

Les illustrations permettent de comprendre très facilement que l'étanchéité n'est plus assurée à l'arrière du segment suite à l'usure (crasse et durée de fonctionnement prolongée) et que le passage de gaz et d'huile à travers la gorge est plus important. Il n'est donc pas judicieux de monter des segments neufs dans des gorges usées. Les irrégularités du flanc de la gorge nuisent à l'étanchéité par rapport au segment et la plus grande hauteur de la gorge laisse plus de liberté de mouvement au segment. Vu que le segment est mal guidé dans la gorge compte tenu du jeu en hauteur excessif, il se produit beaucoup plus facilement un soulèvement du segment du flanc de la gorge, un pompage d'huile (Fig. 2 et 3), un flottement du segment et une perte d'étanchéité. En outre, un bombement excessif se forme sur la surface de glissement du segment. Ceci entraîne une épaisseur trop importante du film d'huile et une consommation supérieure d'huile.



Fig. 2 : Cycle d'aspiration



Fig. 3 : Cycle de compression

### 1.6.7 ESPACE D'ÉTRANGLEMENT ET BLOW-BY

Étant donné qu'il est impossible d'obtenir une étanchéité aux gaz à 100 % avec les segments de piston utilisés dans la construction de moteurs, il se produit des fuites de gaz, également appelées gaz blow-by. Les gaz de combustion passent par les infimes interstices entre le piston et les segments de piston et pénètrent dans le compartiment du vilebrequin. La quantité de gaz de fuite est fonction de la taille de la fenêtre d'étranglement ( $x$  et  $y$  sur la Fig. 4), qui résulte du jeu à la coupe et du demi jeu de fonctionnement du piston. Contrairement à la représentation graphique, la fenêtre d'étranglement est donc en réalité infime. On estime l'émission maximale de gaz d'échappement blow-by à 0,5 % du volume d'air aspiré. Une quantité plus ou moins importante de gaz blow-by est produite en fonction de la position du segment de piston. Si les jeux à la coupe du premier et du deuxième segment de compression coïncident dans les gorges, la quantité de gaz blow-by produite est légèrement supérieure. Ceci se produit régulièrement en cours de fonctionnement, car les segments effectuent plusieurs rotations dans leurs gorges par minute. Si les jeux à la coupe se font parfaitement face, le gaz de fuite doit parcourir un trajet plus long à travers le labyrinthe d'étanchéité et les pertes de gaz diminuent. Le gaz blow-by qui entre dans le compartiment du vilebrequin est retourné par le système d'aération du carter de vilebrequin dans le système d'aspiration et amené à la combustion. La raison en est la nocivité des gaz, qui sont neutralisés par une nouvelle combustion dans le moteur. L'aération du compartiment du vilebrequin est également nécessaire dans la mesure où une surpression à l'intérieur de celui-ci entraînerait une sortie d'huile accrue au niveau des bagues d'étanchéité à lèvres à ressort du moteur.

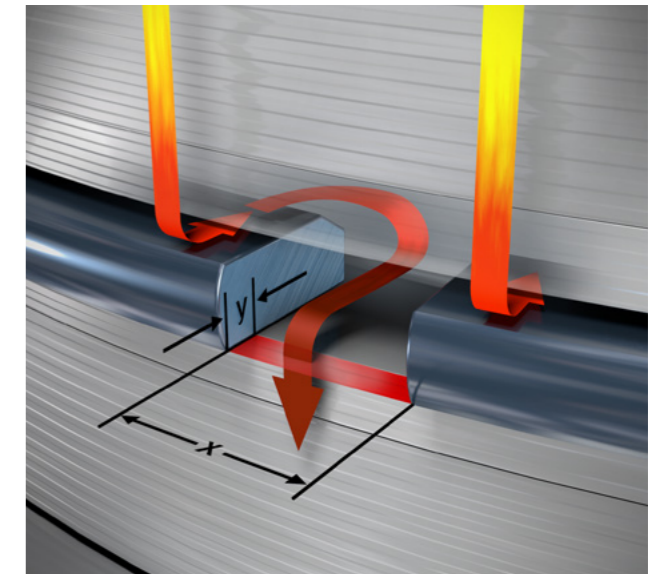


Fig. 4 : Fenêtre d'étranglement

L'augmentation de l'émission de gaz d'échappement blow-by signifie soit que les segments de piston sont fortement usés au bout d'une longue durée de fonctionnement, soit que la tête de piston présente déjà des fissures qui laissent les gaz de combustion entrer dans le compartiment du vilebrequin. Mais une mauvaise géométrie du cylindre (voir le chapitre 2.3.5 Géométrie du cylindre et circularité) entraîne également une augmentation de l'émission de gaz d'échappement blow-by.

Sur les moteurs stationnaires ou les moteurs de banc d'essai, l'émission de gaz d'échappement blow-by est mesurée et surveillée en permanence et sert d'indice de signalisation de dommages du moteur. Lorsque la quantité de gaz blow-by mesurée dépasse la valeur maximale admissible, le moteur s'arrête automatiquement. Ceci permet de prévenir les dommages graves et onéreux du moteur.

### 1.6.8 JEU EN HAUTEUR DU SEGMENT

Le jeu en hauteur du segment (Fig. 1) ne résulte pas d'une usure dans la gorge. Le jeu en hauteur est une cote de fonctionnement importante pour le bon fonctionnement des segments de piston. Le jeu en hauteur permet aux segments de bouger librement dans les gorges (voir également le chapitre 1.6.11 Déplacements des segments de piston).

Il doit être assez grand pour empêcher le segment de se bloquer à la température de service et pour que la pression de combustion qui entre dans la gorge soit suffisante pour passer derrière le segment (voir également le chapitre 1.6.3 Renforcement de la pression d'appui par la pression de combustion).

Mais à l'inverse, le jeu en hauteur du segment ne doit pas être trop grand car le guidage axial du segment est alors moindre. Ceci favorise la tendance au flottement du segment (chapitre 2.6.7 Flottement des segments) et un torsionnement excessif. Il s'ensuit une usure défavorable du segment de piston (bombement excessif de la surface de glissement du segment) et une consommation accrue d'huile (chapitre 1.6.6 Surfaces d'étanchéité des segments de piston).

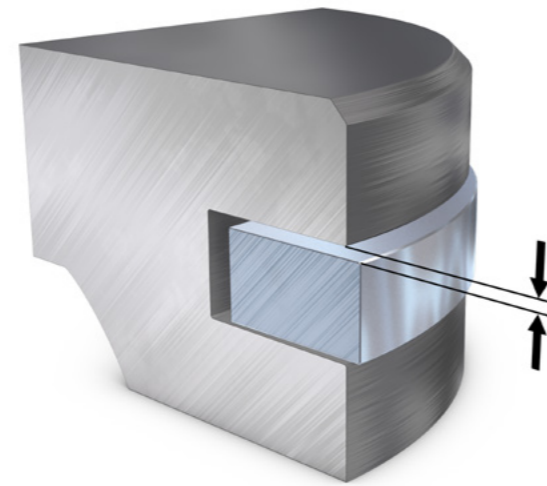


Fig. 1 : Jeu en hauteur du segment

### 1.6.9 TORSIONNEMENT DU SEGMENT

Les angles intérieurs ou les chanfreins intérieurs des pistons produisent un torsionnement du segment monté, sous tension. Lorsque le segment n'est pas monté, donc lorsqu'il est détendu, le torsionnement n'agit pas (Fig. 2) et le segment repose à plat dans la gorge.

Lorsque le segment est monté, donc tendu, il s'échappe vers le côté le plus faible, c'est-à-dire celui où il manque de la matière en raison du chanfrein intérieur ou de l'angle intérieur. Le segment se vrille ou se tord. Selon la position du chanfrein ou de l'angle au bord inférieur ou supérieur, on parle de segment de piston à torsion positive ou négative (Fig. 3 et 4).



Fig. 2 :  
Segments de piston en l'absence de tension  
– torsionnement encore sans effet



Fig. 3 :  
Torsion positive

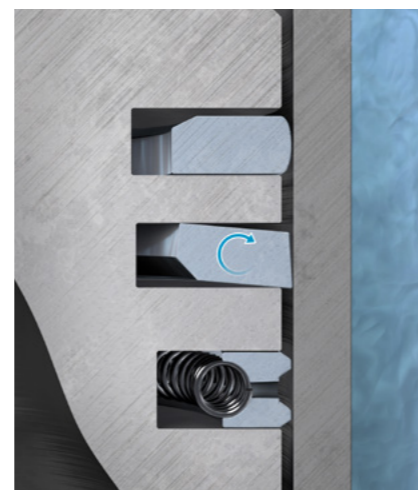


Fig. 4 :  
Torsion négative

### TORSION DU SEGMENT SOUS CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

Dans le cas des segments à torsion positive et négative, le torsionnement agit lorsqu'aucune pression de combustion n'agit sur le segment (Fig. 5). Lorsque la pression de combustion entre dans la gorge, le segment de piston est pressé à plat sur le flanc inférieur de la gorge, ce qui procure un meilleur contrôle de la consommation d'huile (Fig. 6).

Les segments rectangulaires et coniques à torsion positive ont, par principe, un bon comportement au raclage d'huile. Toutefois, sous l'effet de la friction sur la paroi du cylindre durant la course descendante du piston, le segment peut se soulever légèrement du flanc inférieur de la gorge, et de l'huile peut alors entrer dans l'interstice d'étanchéité et augmenter la consommation d'huile.

Le segment à torsion négative étanchéifie à l'extérieur de la face inférieure du segment et à l'intérieur de la face supérieure du segment par rapport à la gorge. L'huile ne peut donc pas entrer dans la gorge. C'est pourquoi la consommation d'huile peut être influencée positivement avec des segments à torsion négative, notamment en service en charge partielle et en cas de dépression dans la chambre de combustion (régime de décélération). Sur les segments coniques à torsion négative, l'angle au niveau de la surface de glissement est supérieur d'env. 2° à celui des segments coniques normaux. Ceci est nécessaire dans la mesure où le torsionnement négatif annule partiellement l'effet de l'angle.



Fig. 5 :  
Sans pression de combustion



Fig. 6 :  
Avec pression de combustion

### 1.6.10 CAPACITÉ DE PRISE DE FORME

La capacité de prise de forme désigne la faculté d'un segment de s'adapter à la forme de la paroi du cylindre pour obtenir un bon effet d'étanchéité. La capacité de prise de forme d'un segment dépend de l'élasticité du segment ou du corps du segment (segments raclers d'huile en deux parties) ou des lamelles d'acier (segments raclers d'huile en plusieurs parties) ainsi que de la pression d'appui du segment/du corps du segment sur la paroi du cylindre. La capacité de prise de forme est d'autant meilleure que le segment/le corps du segment est élastique et que la pression d'appui est élevée. Les segments de hauteur et de coupe importantes possèdent une rigidité élevée et génèrent des forces d'inertie supérieures en raison du poids plus élevé. Leur capacité de prise de forme est donc moins bonne que celle des segments de faibles hauteur et coupe, dont les forces d'inertie sont par conséquent inférieures.

Les segments raclers d'huile en plusieurs parties présentent de très bonnes capacités de prise de forme, car ils possèdent un corps ou des lamelles d'acier très flexibles sans l'exigence d'une tension élevée.

Ainsi que cela a été décrit dans cette brochure, la force d'appui des segments raclers d'huile en plusieurs parties provient du ressort expanseur correspondant. Le corps du segment ou les lamelles d'acier sont très flexibles et s'adaptent bien.

Une bonne capacité de prise de forme est notamment nécessaire en présence d'ovalisations et d'irrégularités du cylindre dues à des divergences de forme. Elles sont causées tant par des déformations (thermiques et mécaniques) que par des erreurs d'usinage et de montage. Voir également le chapitre 2.3.5 Géométrie du cylindre et circularité.

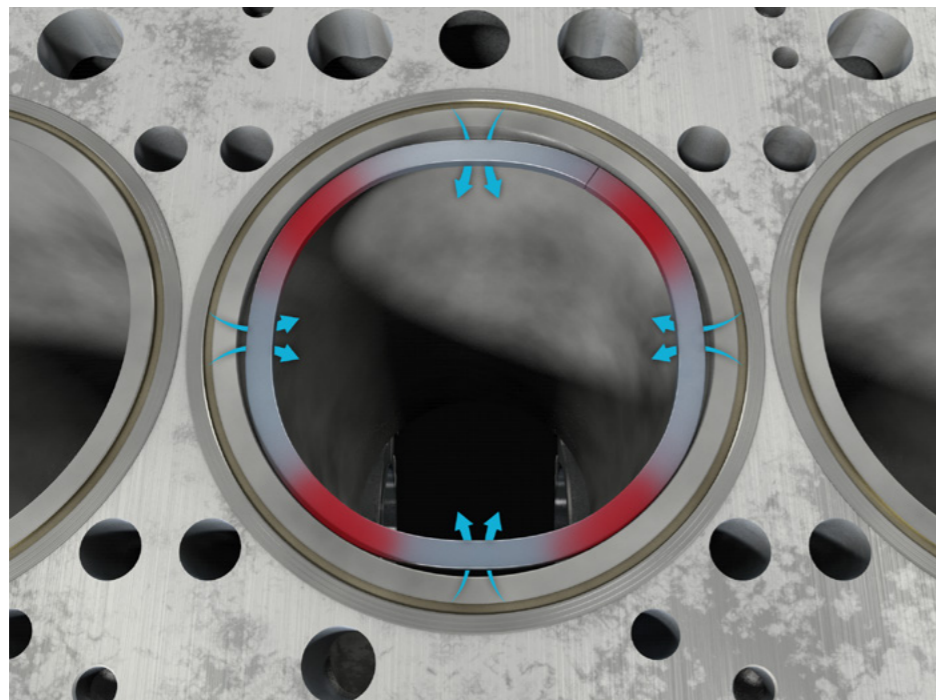


Fig. 1 : Mauvaise capacité de prise de forme

### 1.6.11 DÉPLACEMENTS DES SEGMENTS DE PISTON

#### ROTATION DES SEGMENTS

Les segments de piston doivent pouvoir tourner dans leur gorge en vue d'un rodage et d'une étanchéité parfaits. La rotation est obtenue d'une part par la structure de honage (passe croisée) et d'autre part par l'oscillation du piston en son point mort haut et bas. Les angles de honage plats engendrent une rotation moindre des segments et les angles forts engendrent un taux de rotation plus important. La rotation des segments dépend également du nombre de tours du moteur. Pour donner un ordre de grandeur, 5 à 15 rotations par minute sont des valeurs réalistes.

Sur les moteurs à deux temps, la rotation des segments est empêchée. Ceci évite également l'effet ressort des bords de la coupe dans les canaux de gaz. Les moteurs à deux temps sont utilisés principalement sur les deux-roues, les appareils de jardinage, etc. L'usure irrégulière due à l'empêchement de la rotation des segments, la possible carbonisation dans les gorges et la réduction de la durée de vie sont prises en compte. Ce type d'application est, de toute façon, prévu pour une moindre durée de vie du moteur. Les moteurs normaux de véhicules à quatre temps utilisés sur route doivent atteindre des kilométrages bien plus importants.

La rotation de 120° des coupes du segment lors du montage sert uniquement à faciliter le démarrage du moteur neuf. Par la suite, toute position des segments de piston à l'intérieur de la gorge est possible, dans la mesure où la rotation n'est pas volontairement empêchée (moteurs à deux temps).

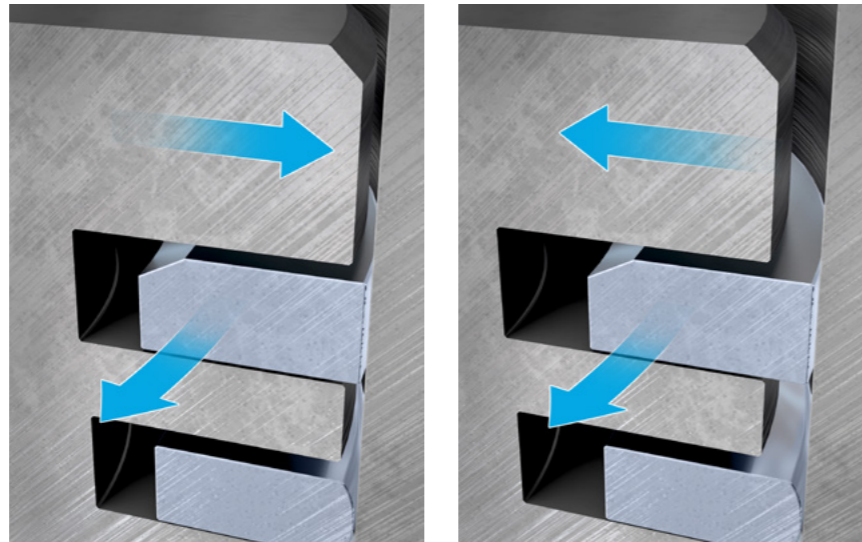
#### DÉPLACEMENT AXIAL

Idéalement, les segments reposent sur le flanc inférieur de la gorge. Ceci est important pour la fonction d'étanchéité, car les segments n'étanchéifient pas qu'aux surfaces de glissement des segments, mais également aux faces inférieures des segments. Le flanc inférieur de la gorge empêche le passage de gaz ou d'huile à l'arrière du segment. La surface de glissement du segment de piston étanchéifie l'avant par rapport à la paroi du cylindre (voir à partir du chapitre 1.6.6 Surfaces d'étanchéité des segments de piston).

Suite à la course ascendante et descendante du piston et à l'inversion de direction, les segments subissent également des forces d'inertie qui les font se soulever du flanc de la gorge. Un film d'huile à l'intérieur de la gorge amortit le soulèvement des segments de piston du flanc inférieur de la gorge occasionné par les forces centrifuges. Des problèmes apparaissent principalement en cas d'élargissement des gorges par l'usure et, par voie de conséquence, de jeu en hauteur du segment excessif. Le segment se soulève alors de sa surface d'appui sur le piston et un flottement du segment se produit en débutant principalement aux bords de la coupe. Il s'ensuit une perte d'étanchéité du segment de piston et une forte consommation d'huile. Ceci se produit avant tout au cours du cycle d'aspiration, lorsque, suite à la course descendante du piston et à la dépression produite dans la chambre de combustion, les segments se soulèvent du fond de la gorge et que l'huile est aspirée dans la chambre de combustion en passant par l'arrière du segment. Au cours des autres cycles, la pression de la chambre de combustion presse les segments sur la face inférieure du segment.

### DÉPLACEMENT RADIAL

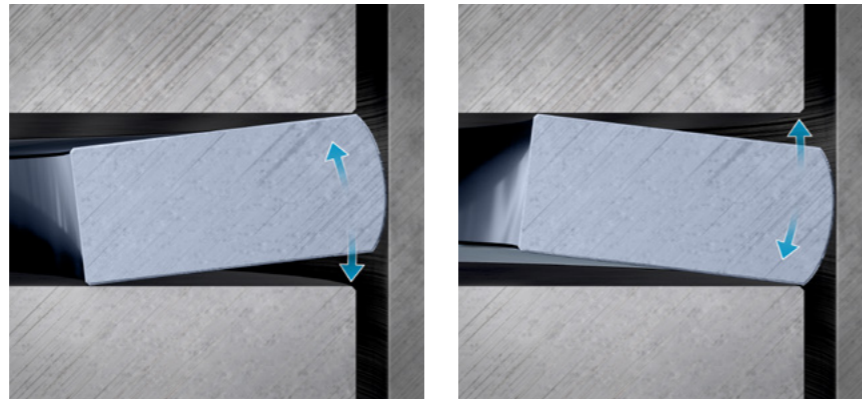
En fait, les segments n'effectuent pas de va-et-vient en sens radial, mais, par son inversion dans l'alésage de cylindre, le piston change d'appui d'une paroi du cylindre à l'autre. Ceci se produit tant au point mort haut du piston qu'au point mort bas. Il en découle un déplacement radial du segment à l'intérieur de la gorge de segment de piston. Ceci entraîne l'écrasement d'une couche de calamine en formation (notamment dans le cas des segments trapézoïdaux) ainsi qu'une rotation du segment en relation avec la passe croisée.



Déplacement radial du segment de piston

### TORSION DU SEGMENT

Les forces d'inertie, le torsionnement du segment et le jeu en hauteur du segment produisent un déplacement de celui-ci, comme le montre la figure. Ainsi que cela a été indiqué au chapitre 1.5.5 Formes bombées des surfaces de glissement, les segments de piston adoptent une forme bombée avec le temps.



Torsionnement du segment

## 2 MONTAGE ET MAINTENANCE

### 2.1 ÉVALUATION DES COMPOSANTS USAGÉS

Les segments de piston font partie d'un système d'étanchéité composé des pistons, des cylindres, de l'huile moteur et des segments et ne peuvent, à ce titre, remplir leur fonction que dans la mesure où la fonction des autres composants le permet. En effet, si le degré d'efficacité d'un composant d'étanchéité est amoindri par l'usure, le degré d'efficacité global du système d'étanchéité diminue en conséquence.

La réutilisation de partenaires de glissement du segment usagés (piston et cylindre) doit être bien réfléchi. Le système d'étanchéité ne peut être meilleur que son composant le plus faible. Il est donc inutile de tenter de rectifier un moteur par le seul remplacement des segments de piston. Si les segments de piston sont usés, les partenaires de glissement des segments le sont probablement aussi. Remplacer simplement les segments en réutilisant un piston usé ou une chemise de cylindre usée ne donnera pas les résultats escomptés. Vouloir supprimer les pertes de puissance ou les consommations d'huile excessives est donc une entreprise vouée à l'échec et dont le succès ne peut, au mieux, être que de courte durée.

Les causes de cette situation sont décrites, entre autres, au chapitre 1.6.6 Surfaces d'étanchéité des segments de piston.



## 2.2 ÉVALUATION DES PISTONS USAGÉS

### 2.2.1 MESURE ET ÉVALUATION DES GORGES

Si des segments de piston neufs doivent être montés sur un piston usagé, la réutilisabilité du piston sera fonction du jeu en hauteur du segment. Introduire le segment de piston correspondant dans la gorge nettoyée, conformément à la Fig. 1, et mesurer à l'aide d'un calibre d'épaisseur. Pour mesurer un segment de piston neuf dans un piston usagé, la méthode représentée sur la figure est préférable au montage du segment sur le piston. Le montage et le démontage répétés du segment sur le piston peuvent entraîner une déformation matérielle qui entrave le fonctionnement du segment.



Fig. 1 : Mesure du jeu en hauteur du segment

#### ⚠ ATTENTION

La cote d'usure se rapporte aux bords extérieurs de la gorge à mesurer, c'est-à-dire qu'il ne doit pas être possible d'introduire le calibre d'épaisseur de 0,12 mm d'épaisseur entre le segment de piston et la gorge, comme le montre la Fig. 2. Dans ce cas, la gorge est déjà usée.

Jeu en hauteur du segment (mm)	Utilisabilité du piston
0,05 – 0,10	✓ piston utilisable
0,11 – 0,12	! prudence accrue requise
> 0,12	✗ le piston est usé et doit être remplacé

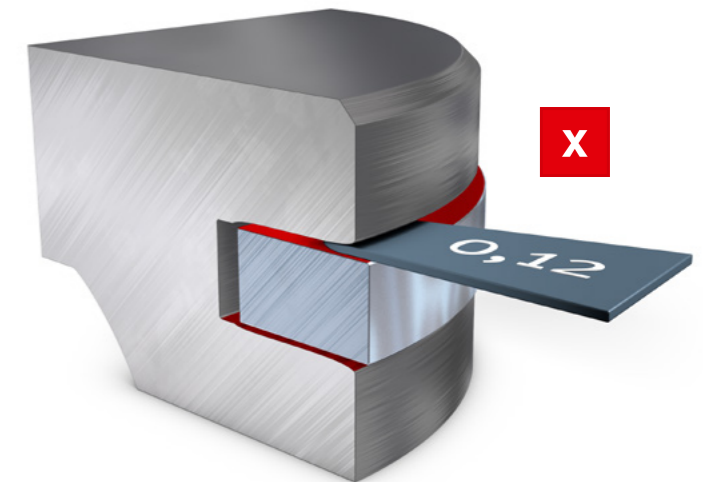


Fig. 2 : Gorge usée

Il n'est pas possible de vérifier le jeu en hauteur des segments trapézoïdaux montés et non sous tension. Compte tenu de la forme trapézoïdale, le bon jeu en hauteur du segment ne s'établit dans la gorge trapézoïdale que lorsque le segment de piston est comprimé à la taille du cylindre ou monté dans le cylindre.

Une mesure est donc très difficile. Le contrôle doit, par conséquent, se limiter à un contrôle visuel d'usure de la gorge (Fig. 3).

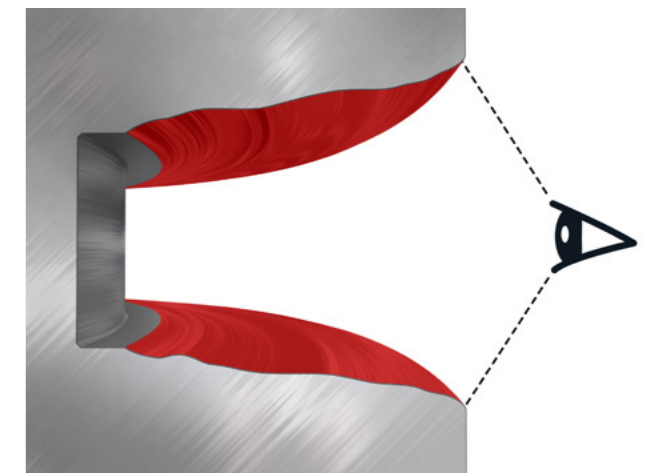


Fig. 3 : Contrôle visuel de la gorge

## 2.3 ÉVALUATION DES ALÉSAGES DE CYLINDRE USAGÉS

### 2.3.1 ZONES DE TRAVAIL DU CYLINDRE FORTEMENT BRILLANTES (CYLINDRE EN FONTE GRISE)

Les surfaces de cylindre fortement brillantes, lisses comme un miroir, dont les stries de honage ont complètement disparu, sont le résultat soit de l'usure naturelle après une longue durée de fonctionnement, soit des effets de la crasse et de la friction mixte au bout d'une brève durée de fonctionnement.

La suppression de toutes les stries de honage par l'usure est un indice sûr, révélateur de l'usure d'un alésage de cylindre. Une mesure à l'aide d'instruments correspondants est inutile. Ces cylindres doivent dans tous les cas être changés (chemises de cylindre) ou réalésés et honés (blocs-moteur).

Des zones brillantes localisées sur la surface de travail du cylindre au bout d'une durée de fonctionnement comparative-ment courte (la structure de honage est également entièrement éliminée à cet endroit) prouvent qu'il s'est produit, au niveau des zones brillantes, une friction mixte, donc une usure accrue à l'intérieur du cylindre. Ces zones brillantes localisées peuvent avoir deux causes principales.

### 2.3.2 ZONES BRILLANTES LOCALISÉES DUES À DES DÉFORMATIONS DU CYLINDRE

Des déformations du cylindre produisent des ovalisations en des points indéterminés du cylindre (Fig. 1). La position des zones brillantes correspond à l'endroit où s'est produit la déformation. Les segments de piston passent sur ces contractions et y enlèvent plus de matière. Suite à la contraction, le passage du segment de piston et le contact ponctuel consécutif

avec la paroi du cylindre entraînent un manque de lubrification et une friction mixte.

#### Causes

- Déformations thermiques par surchauffes locales suite à une mauvaise transmission de la chaleur (encrassement) à l'agent refroidisseur
- Non-respect des couples de serrage prescrits, utilisation de joints toriques inadaptés ou autres déformations dues à une distorsion

#### Remède

- Nettoyage approfondi et, le cas échéant, rectification de l'alésage du cylindre de base dans le cas des alésages de cylindre humides et secs
- Respect précis des consignes de serrage lors du montage de la culasse
- Nettoyage régulier des ailettes de refroidissement sur les cylindres à ailettes refroidis par air
- Garantie d'un fonctionnement conforme du système de refroidissement (vitesse de circulation, propreté)
- Utilisation des bagues d'étanchéité prescrites (dimensions, composition de la matière)

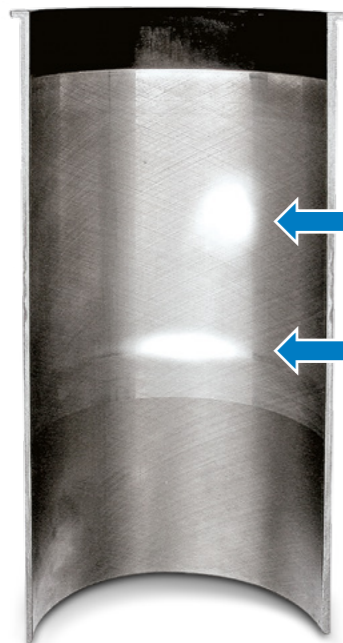


Fig. 1 : Zones brillantes localisées

### 2.3.3 ZONES BRILLANTES ET POLIES DANS LA PARTIE SUPÉRIEURE DU CYLINDRE (BORE POLISHING)

La partie supérieure, où passe le cordon de feu, de la zone de travail du cylindre (Fig. 2), présente des zones à nu. Ceci est dû à des dépôts durs sur le cordon de feu consécutivement à une combustion irrégulière, à une mauvaise qualité de l'huile ou à des températures de combustion basses, suite à des phases de ralenti fréquentes ou à un service en charge partielle. La couche de calamine (Fig. 3) entraîne une usure par abrasion de la paroi du cylindre, un endommagement du film d'huile, une friction mixte, une usure des segments du piston accrue et, par voie de conséquence, une consommation d'huile élevée.

#### Remède

- Fonctionnement conforme du moteur
- Utilisation des qualités d'huile prescrites
- Utilisation de carburants de marque
- Entretien conforme aux prescriptions, vérification et réglage du système d'injection



Fig. 2 : Zones brillantes et polies dans la partie supérieure du cylindre

Fig. 3 : Couche de calamine sur le cordon de feu

### 2.3.4 USURE DE FIN DE COURSE

L'usure de fin de course (Fig. 1) se produit après une durée de fonctionnement prolongée aux points d'inversion des segments de piston au point mort haut et bas. Dans cette zone, la vitesse du piston est réduite, et celui-ci s'arrête même brièvement au point d'inversion. Ceci nuit à l'effet de lubrification vu que le segment de piston cesse brièvement de flotter sur le film d'huile par manque de vitesse relative et qu'il se produit un contact métallique avec la paroi du cylindre.

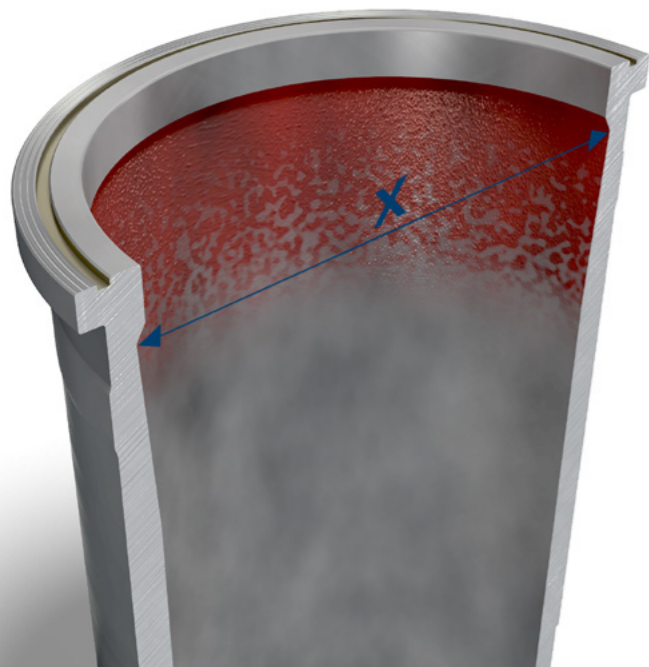


Fig. 1 : Usure de fin de course

C'est au niveau de la zone d'inversion du segment de piston, à proximité du point mort haut du piston, que l'usure de fin de course est la plus importante, car la surface du cylindre y est exposée à la chaleur de combustion, ce qui nuit à la lubrification.

L'importance de l'usure de fin de course détermine la possibilité de réutiliser la chemise de cylindre ou le bloc-moteur ou non. Si l'usure de fin de course est supérieure aux valeurs indiquées dans le tableau, la chemise de cylindre doit être changée ou le bloc-moteur être à nouveau honé. Si une usure de même importance se produit à un autre endroit du cylindre, les cotes d'usure ci-après s'appliquent également.

La Fig. 3 montre ce qui se passe lorsqu'un piston neuf est utilisé dans un alésage de cylindre usé. Vu que le piston neuf ne présente aucune usure des gorges et que les arêtes des segments de piston sont encore tranchantes, l'arête des segments de piston cogne durant le fonctionnement contre le bord d'usure du cylindre. Il s'ensuit des forces mécaniques élevées, une forte usure et un battement des segments de piston, le tout accompagné d'une consommation élevée d'huile.

Type de moteur	Limite d'usure de fin de course « X »
Moteurs à essence	≥ 0,1 mm
Moteurs diesel	≥ 0,15 mm

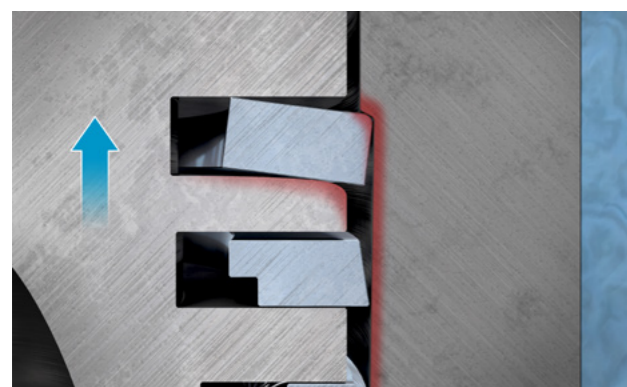


Fig. 2 : Cognement du segment de piston avec un piston usagé



Fig. 3 : Cognement du segment de piston avec un piston neuf

### 2.3.5 GÉOMÉTRIE DU CYLINDRE ET CIRCULARITÉ

Pour obtenir la meilleure étanchéité possible des segments de piston, la géométrie du cylindre doit être parfaite. Les divergences de forme du cylindre, les ovalisations, les erreurs de cote et les déformations dans les alésages de cylindre entraînent des problèmes d'étanchéité des segments de piston.

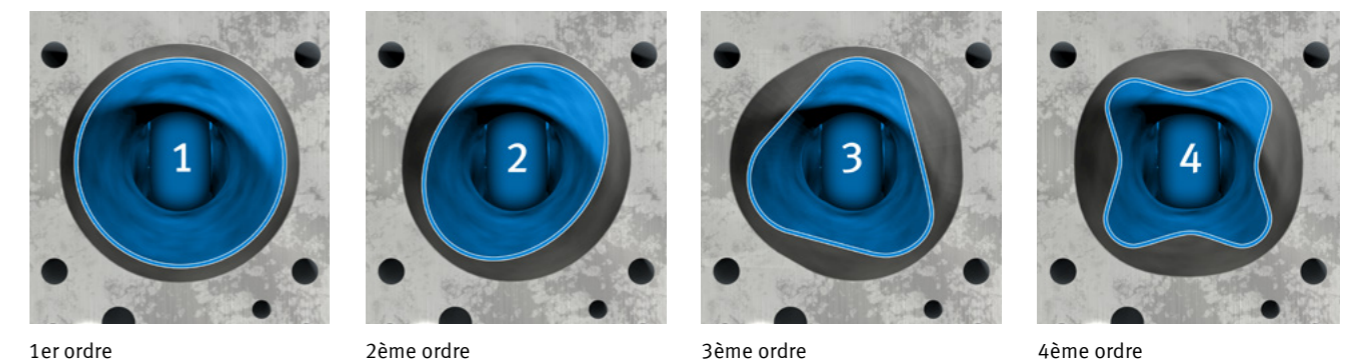
Il se produit alors une sortie d'huile plus importante dans le cylindre, une augmentation de l'émission de gaz d'échappement blow-by ainsi que des problèmes de température et de puissance. Ceux-ci sont, quant à eux, responsables d'une usure prématurée et de dommages sur les pistons.

#### CLASSIFICATION DES OVALISATIONS DES CYLINDRES

Les ovalisations de la géométrie d'alésage sont classifiées en fonction de leur ordre. Un alésage de cylindre parfait, sans aucune ovalisation ni divergence de forme en sens axial, est un alésage du 1er ordre. Les alésages ovales, fréquemment dus à des erreurs d'usinage ou à une mauvaise dissipation thermique, sont appelés ovalisations du 2ème ordre. Les ovalisations triangulaires du 3ème ordre sont généralement le résultat d'une superposition de déformations du 2ème et du 4ème ordre. Les ovalisations du 4ème ordre, à savoir les défauts carrés, sont généralement dus à des déformations liées au serrage des vis de culasse.

La cote d'une ovalisation peut varier entre zéro et quelques centièmes de millimètre. Compte tenu des jeux de montage et de fonctionnement réduits des pistons sur certains moteurs, les déformations de plus d'un centième de millimètre (0,01 mm) peuvent déjà être excessives. Les segments de piston ne sont capables d'étanchéifier correctement que des faibles ovalisations du 2ème ordre, donc des alésages de cylindre légèrement ovales et des formes légèrement trapézoïdales en sens axial. Avec des ovalisations du 3ème et du 4ème ordre, fréquemment dues à des déformations liées au

vissage et/ou à des erreurs d'usinage, les segments de piston arrivent rapidement aux limites de leur fonction d'étanchéité. Le problème d'étanchéité dans le cas des alésages de cylindre non circulaires est encore plus crucial avec les pistons récents, sur lesquels les hauteurs des segments sont proches du millimètre, voire même inférieures. La réduction des hauteurs de segments au niveau de la conception vise à diminuer les pertes par friction internes aux moteurs, donc à réduire la consommation de carburant. La diminution des surfaces d'appui de ces segments sur la paroi du cylindre exige une tension du segment de piston inférieure. Sinon, la pression superficielle des segments serait excessive et les propriétés tribotechniques se dégraderaient. Si les géométries d'alésage sont correctes, cette réduction au niveau de la conception de la tension du segment de piston n'a pas de conséquences négatives. L'étanchéité des segments est très bonne, les pertes par friction qu'ils occasionnent sont faibles et leur durée de vie élevée. Avec des cylindres ovalisés et déformés, la tension inférieure des segments de piston fait que ceux-ci ne s'adaptent pas ou ne s'adaptent que très lentement à la paroi du cylindre et qu'ils ne sont donc pas capables de remplir la fonction d'étanchéité prescrite.



1er ordre

2ème ordre

3ème ordre

4ème ordre

### 2.3.6 CAUSES DES OVALISATIONS ET DÉFORMATIONS DES ALÉSAGES DE CYLINDRE

Les causes des ovalisations et déformations des alésages de cylindre peuvent être les suivantes :

- Déformations thermiques qui se produisent en cours de fonctionnement suite à une mauvaise dissipation thermique due à des défauts de circulation du liquide de refroidissement ou, sur les moteurs refroidis par air, à des ailettes de refroidissement encrassées, maculées d'huile et/ou à des problèmes de ventilation. Les surchauffes locales de la surface de travail du cylindre entraînent une plus forte dilatation thermique dans cette zone, donc des divergences par rapport à la forme idéale du cylindre
- Déformations thermiques liées à la conception qui se produisent durant le fonctionnement du moteur suite à des différences de dilatation thermique
- Déformations thermiques dues à une mauvaise lubrification et à un mauvais refroidissement pendant l'usinage des cylindres
- Ovalisations dues à des pressions d'usinage excessives ou à l'utilisation de mauvais outils de honage
- Déformations dues à une tension des cylindres suite à des irrégularités de forme et à un serrage incorrect des vis

La Fig. 1 montre une déformation d'un cylindre du 4<sup>ème</sup> ordre qui, pour des raisons de conception, se produit également avec un serrage conforme des vis de culasse.

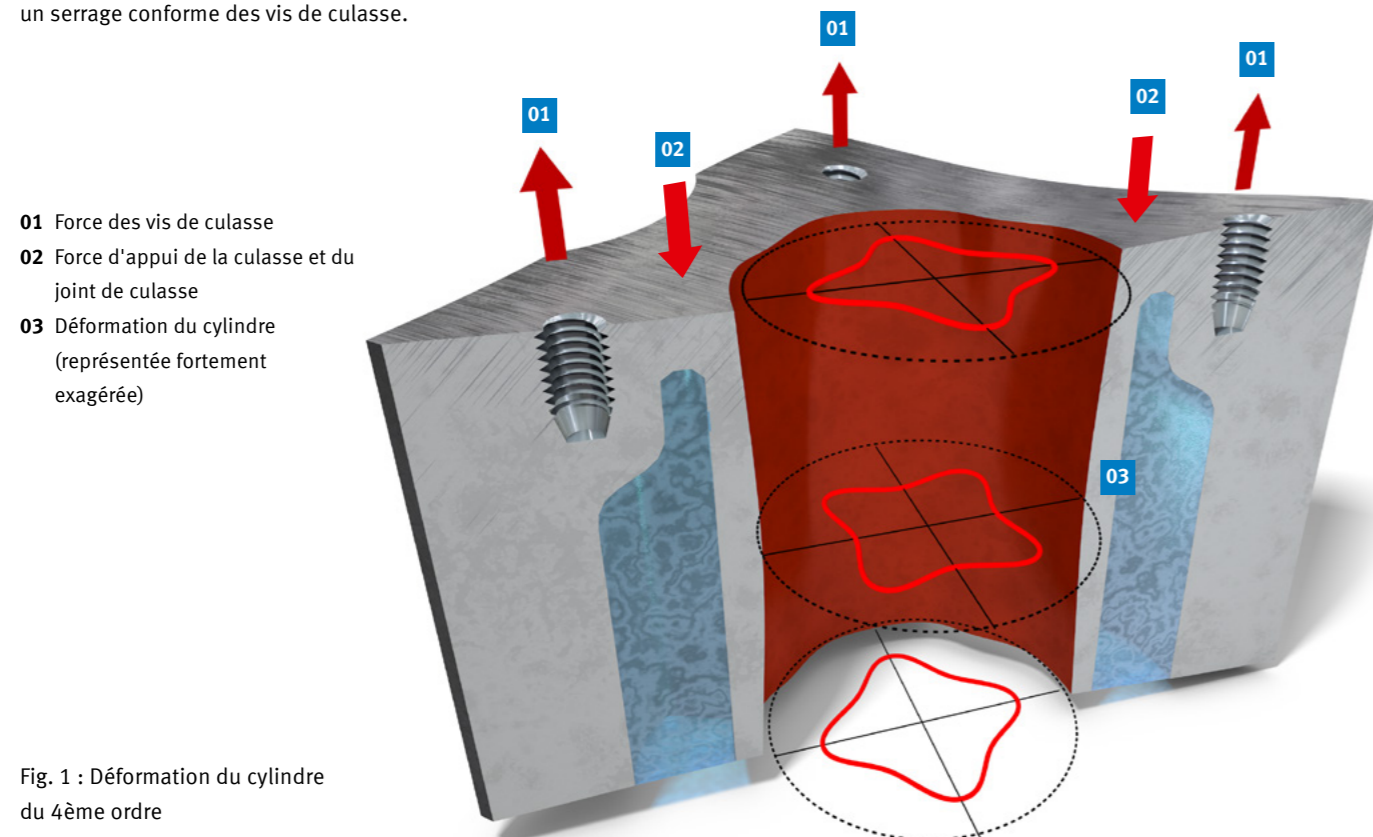


Fig. 1 : Déformation du cylindre du 4<sup>ème</sup> ordre

### 2.3.7 RÉUSINAGE D'ALÉSAGES DE CYLINDRE USAGÉS

Lors du remplacement de pistons ou de segments de piston, on utilise souvent des brosses de honage ou des pierres de honage chargées par ressort (Fig. 2 et 3). Cependant, cette opération d'usinage a peu à voir avec un véritable honage. Elle consiste seulement à nettoyer et à rendre légèrement rugueuse la zone de travail du cylindre plus ou moins usée, mais ne permet pas d'améliorer la géométrie du cylindre. Vu que les outils de ponçage sont chargés par ressort, ils suivent chaque ovalisation et chaque déformation. La géométrie du cylindre ne peut pas être améliorée. En outre, la faible pression d'appui ne permet pas d'obtenir des profondeurs de rugosité valables, susceptibles d'améliorer l'effet de lubrification. On obtient simplement une résistance au frottement légèrement supérieure pour les segments de piston neufs qui, ainsi, s'adaptent un peu plus rapidement à la paroi du cylindre. Cette opération ne permet pas d'éliminer ou d'améliorer l'usure existante à la surface du cylindre. Les brosses de honage ou les pierres de honage chargées par ressort ne permettent donc pas d'améliorer durablement les surfaces de travail des cylindres, mais seulement d'améliorer légèrement l'aspect visuel et de réduire un peu la durée de rodage. Cette méthode n'est donc pas à considérer comme une méthode de rectification ou de réparation.

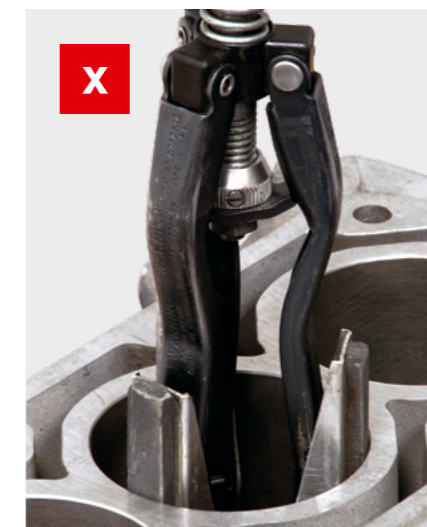


Fig. 2 : Pierres de honage chargées par ressort

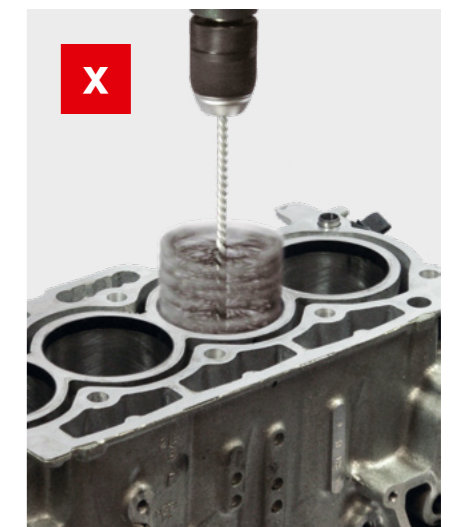


Fig. 3 : Brosses de honage

## 2.4 MONTAGE DES PISTONS ET DES SEGMENTS DE PISTON

Les plus gros problèmes et dommages concernant les segments de piston surviennent en cas de montage incorrect des segments sur les pistons. C'est là que les segments de piston subissent les plus fortes contraintes mécaniques. Un montage incorrect se répercute négativement sur la forme donnée lors de la production et sur la répartition de la pression radiale du segment. Par voie de conséquence, la fonction d'étanchéité souhaitée n'est plus remplie que partiellement, voire pas du tout.

Un segment de piston ne doit pas être écarté plus qu'il ne faut pour que le diamètre intérieur puisse passer sur le diamètre extérieur du piston. L'écarter davantage revient à déformer le segment, notamment au niveau du dos du segment (Fig. 1), ce qui entraîne des problèmes d'étanchéité considérables une fois le segment monté.

Les cassures, les détachements de la couche de revêtement (notamment dans le cas des segments au molybdène), les forces d'appui inférieures au dos du segment et la formation de fissures en forme de croissant (Fig. 2) sont autant de problèmes qui nuisent au bon fonctionnement du segment de piston ou qui entraînent une défaillance totale de celui-ci.

### ATTENTION

Ne jamais ouvrir les segments de piston pour en augmenter la tension ! Le fait d'écarter les bords de la coupe déforme le segment à un seul endroit, au dos du segment. Cela ne permet pas d'augmenter la tension du segment. Bien au contraire : en cas d'écartement excessif ou de déformation, le segment perd sa forme ronde et ne peut plus remplir correctement sa fonction d'étanchéité.



Fig. 1 : Écartement excessif du segment de piston

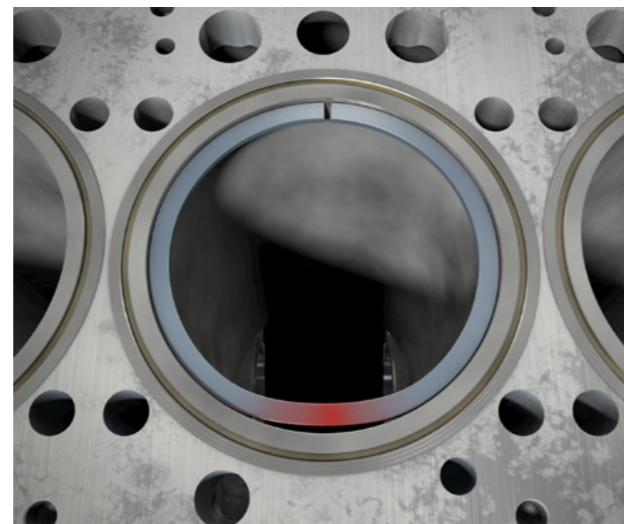


Fig. 2 : Formation de fissures en forme de croissant suite à un écartement excessif

### 2.4.1 MONTAGE ET DÉMONTAGE DES SEGMENTS DE PISTON

- Nettoyez soigneusement les pistons usagés de la crasse qui y adhère. Assurez-vous en particulier que les gorges ne contiennent pas de calamine et de crasse. Le cas échéant, nettoyez les orifices de drainage d'huile avec un foret ou un outil approprié.
- Attention de ne pas endommager les flancs des gorges en retirant la calamine. Le flanc inférieur de la gorge est une surface d'étanchéité. Les détériorations par des éraflures peuvent entraîner, lors du fonctionnement du moteur, une forte consommation d'huile ou une augmentation de l'émission de gaz d'échappement blow-by.
- Utilisez impérativement une pince à segment de piston pour le montage et le démontage des segments. D'autres accessoires, tels que les boucles de fil métallique ou les tournevis, endommagent le segment de piston et le piston.
- Ne montez jamais les segments à la main (exception : les segments à lamelles d'acier). Vous risquez non seulement de casser, de plier et de déformer le segment, mais également de vous blesser par la cassure du segment ou aux arêtes tranchantes de celui-ci.

### ATTENTION

Le montage rapide du segment de piston à la main sans le casser démontre, certes, la bonne dextérité du mécanicien, mais endommage généralement le segment de piston dès le montage.



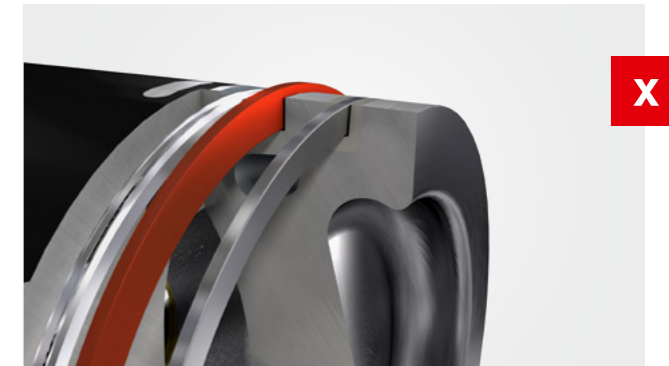
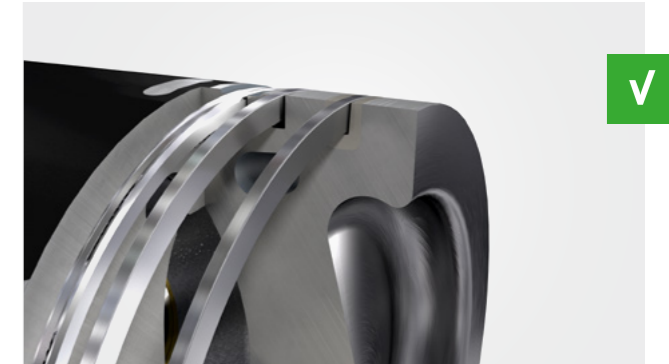
Kit de montage pour segments de piston  
N° d'article 12 00001 16 900 (voitures particulières)  
N° d'article 12 00002 16 900 (véhicules utilitaires)



- Ne montez jamais le segment sur le piston de la manière représentée. Si le segment se déforme et ne repose plus à plat dans la gorge, il ne tourne plus dans celle-ci, s'use unilatéralement ou n'assure plus une bonne étanchéité. Dans le cas d'un segment à revêtement en molybdène, la couche de molybdène peut s'effriter ou casser, ce qui est pire. Si la perte de la couche de glissement ne se produit pas dès le montage, elle se produira au plus tard pendant le fonctionnement du moteur. La couche de glissement se détache, endommage le piston et le cylindre et le piston détériore l'alésage de cylindre car des gaz de combustion brûlants passent entre le piston et la paroi du cylindre. Les morceaux détachés endommagent le piston et les surfaces de travail du cylindre.
- Évitez le montage et le démontage inutiles des segments de piston. Les segments se déforment légèrement à chaque montage. Ne démontez pas les segments de pistons pré-montés, par exemple pour les remesurer.
- Respectez l'ordre de montage des segments : montez d'abord le segment racleur d'huile, puis le deuxième segment de compression, puis le premier segment de compression.



- Vérifiez si le segment disparaît entièrement dans la gorge sur tout le tour, c'est-à-dire que la surface de glissement du segment ne doit pas dépasser de la jupe du piston. Ceci est important dans la mesure où la fonction du segment n'est pas assurée en l'absence de jeu au fond de la gorge (mauvais segment ou fond de la gorge carbonisé).



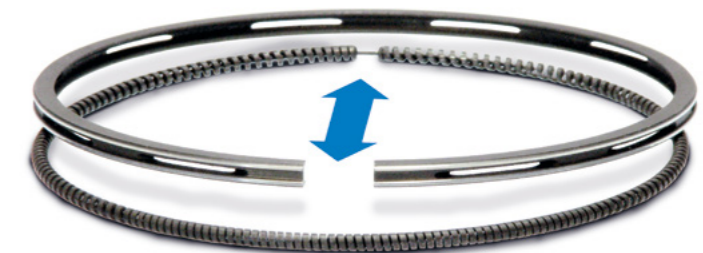
- Observez les repères de montage. « Top » signifie que cette face du segment doit être dirigée vers le haut, vers la chambre de combustion. En cas de doute ou en l'absence d'un repère « Top », montez le segment avec l'inscription vers le haut.



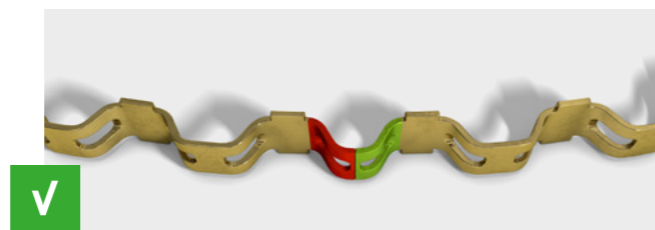
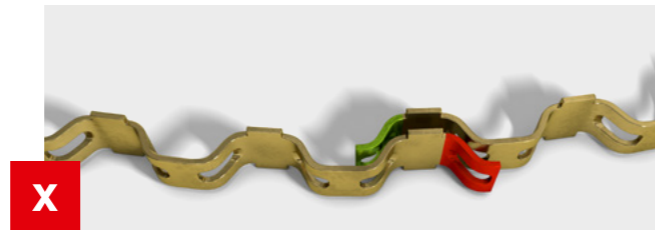
- Vérifiez si les segments tournent facilement dans les gorges (rotation).



- Lors du montage de segments racleurs d'huile en deux parties, observez toujours la position du ressort spiroïdal. Les extrémités du ressort spiroïdal doivent toujours se trouver à l'opposé de la coupe du segment.



- Dans le cas des segments en trois parties, la bonne position du ressort extenseur est indispensable pour garantir la fonction de raclage d'huile. Avant de monter les pistons, contrôlez toujours la position des ressorts extenseurs, y compris sur les pistons à segments pré-montés. Les extrémités du ressort sont détendues pendant le transport et peuvent glisser l'une sur l'autre. Les deux repères de couleur aux extrémités d'un ressort doivent être visibles. S'ils ne le sont pas, le ressort se chevauche et le segment ne fonctionne pas. Toutes les coupes du segment racleur d'huile en trois parties (les deux lamelles d'acier et le ressort extenseur) doivent être tournées de 120° l'une par rapport à l'autre lors du montage.



- Tournez les coupes d'un segment de piston prêt à monter de sorte qu'elles soient décalées d'environ 120° entre elles. Ceci aidera le piston ou les segments lors du premier démarrage du moteur. Explication : au premier démarrage du moteur, la compression est légèrement plus faible vu que les segments de piston ne sont pas encore rodés. Le décalage des bords de la coupe des segments évite une production excessive de gaz blow-by au premier démarrage du moteur et des difficultés de démarrage du moteur.



## 2.4.2 MISE EN PLACE DU PISTON DANS L'ALÉSAGE DU CYLINDRE

- Nettoyez soigneusement la surface d'étanchéité du bloc-moteur pour éliminer les dépôts de joint si elle n'a pas été réusinée lors de la rectification.
- Nettoyez soigneusement tous les trous filetés pour éliminer la crasse, l'huile et le liquide de refroidissement éventuellement encore présents.
- Effectuez tous les travaux de nettoyage avant d'introduire les pistons dans les cylindres.
- Humectez toutes les surfaces du piston avec de l'huile moteur fraîche, sans oublier l'axe de piston et le palier de bielle.
- Observez la direction de montage du piston (repères de montage sur la tête de piston, poches de soupape).
- Nettoyez une nouvelle fois l'alésage de cylindre avec un chiffon et humectez-le également avec de l'huile moteur.
- Contrôlez l'absence de détériorations et de bosses sur votre bande de serrage des segments de piston et remplacez l'outil si nécessaire.
- Assurez-vous que la bande de serrage ou le manchon de montage conique repose à plat sur la surface d'étanchéité de la culasse lors du montage du piston.
- Ne montez pas les pistons dans le moteur sans un outil de montage (danger de blessure, danger de rupture des segments).





Fig. 1 : Trop grand chanfrein sur l'alésage de cylindre – le segment de piston se détend lors du montage entre la bande de serrage des segments de piston et le cylindre et le piston se bloque



Fig. 2 : Petit chanfrein sur l'alésage de cylindre – le segment de piston glisse sur l'interstice

- Le montage du piston ne doit pas nécessiter de pression importante. S'il n'est pas possible de pousser un piston dans le cylindre, contrôler impérativement la bande de serrage. Ne tournez pas l'ouverture de la bande pour la faire coïncider avec les bords de la coupe des segments.
- Si un manche de marteau est utilisé pour le montage, seul le poids propre du marteau doit agir sur la tête de piston. Ne jamais utiliser le marteau pour enfoncer le piston de force dans le cylindre. Même si les segments de piston ne se cassent pas dès le montage, ils peuvent très bien se déformer et ne pas remplir correctement leur fonction pendant le fonctionnement du moteur.
- Un montage effectué en force nuit non seulement aux segments, mais peut également endommager le piston. Ceci concerne en particulier les pistons de moteurs à essence. Sur ceux-ci, les cordons de feu ou entre segments sont très fins et se cassent ou se fissurent facilement sous l'effet d'un coup. Les conséquences en sont une perte de puissance et des réparations coûteuses à brève échéance.
- Évitez que de la crasse ou du sable tombe dans le cylindre après le montage du piston. Posez ou enfoncez éventuellement des chiffons propres sur/dans les alésages pour prévenir tout encrassement évitable. Ceci est notamment important si vous travaillez dans un environnement poussiéreux et/ou à ciel ouvert.

## 2.5 MISE EN SERVICE DU MOTEUR ET RODAGE

### 2.5.1 GÉNÉRALITÉS

Quand on parle de rodage du moteur, on pense généralement à l'adaptation entre eux de tous les composants mobiles. Ceci est fondamentalement exact et concerne tout particulièrement les segments de piston. Compte tenu des fonctions qui leur incombent, les segments de piston sont les composants les plus sollicités et ils doivent s'adapter, non seulement à la surface de leur partenaire, mais également assurer par après une parfaite étanchéité. Les segments de piston sont, par conséquent, les composants qui profitent le plus d'un bon rodage effectué dans les règles. Tous les composants alimentés en huile sous pression sont loin de subir des contraintes aussi importantes que les segments de piston lors du rodage.

Les clients et les techniciens ont souvent des avis divergents en ce qui concerne la mise en service et le rodage des moteurs rectifiés. Certains pensent qu'un rodage de 500 à 1 500 km est nécessaire tandis que d'autres sont d'avis qu'une durée de rodage est inutile. Cette dernière opinion se fonde notamment sur les indications de certains constructeurs de moteurs qui ne prévoient pas de rodage particulier du moteur. Les deux avis sont justes et justifiables, à condition de faire la différence entre moteurs neufs sortant d'usine et moteurs rectifiés.



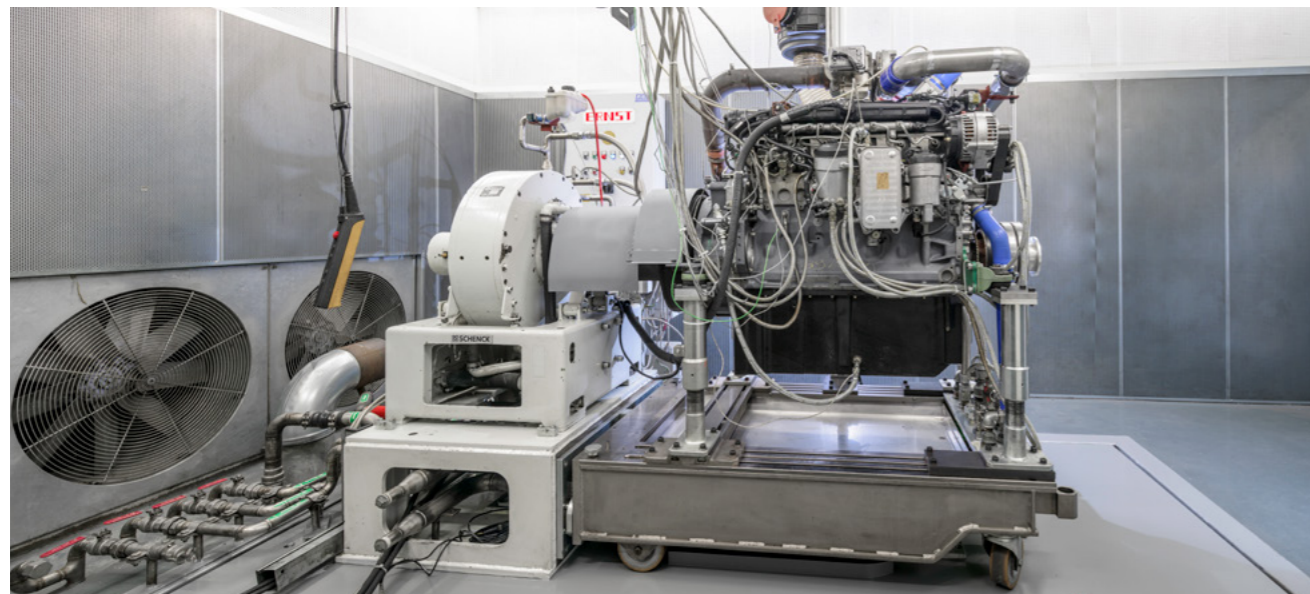
### 2.5.2 RODAGE DES MOTEURS NEUFS

Les moteurs neufs bénéficient aujourd'hui de processus de production ultramodernes. La précision de fabrication des partenaires de glissement est telle que l'adaptation qui, dans le temps, se faisait normalement pendant la période de rodage du moteur, est réalisée d'origine à l'aide de procédés de fabrication spéciaux des composants. Outre des procédés de fabrication spéciaux (par exemple pour les zones de travail des cylindres), on a également recours à un usinage de haute précision des autres partenaires de glissement. Il s'agit essentiellement d'opérations de rodage à la pâte abrasive qui ont pour but de débarrasser les surfaces des très fines bavures et des irrégularités superficielles consécutives à l'usinage. Dans le temps, cette adaptation n'était pas effectuée et les partenaires de glissement devaient s'adapter pendant la période de rodage. Mais ceci allait de pair avec une perte de matière considérable. Dès les premières heures de service, les segments de piston perdaient par exemple une part importante de leurs réserves d'usure. Aujourd'hui, alors qu'on se bat pour le moindre milligramme d'émission de polluants, on veut des moteurs qui respectent d'emblée leurs valeurs de consommation de carburant définies, donc les limites d'émissions polluantes.

Un rodage du moteur au cours duquel les surfaces de glissement doivent commencer par s'adapter entre elles sous l'effet de la friction et avec une usure supérieure à la moyenne,

est quasiment impensable dans la construction de moteurs moderne. Il est vrai que le consommateur attend aujourd'hui d'un moteur des performances considérablement supérieures aux performances considérées comme optimales il y a 25 ans. Enfin, un véhicule neuf effectue un véritable marathon de démarrages à froid en passant par les différents centres logistiques et transports avant sa remise au client. Il n'est pas rare qu'un moteur subisse 150 démarrages à froid sans jamais atteindre sa température de service. Sans oublier, dans le même ordre d'idée, le transport par bateau vers d'autres pays et continents. Dans ces conditions, un moteur qui aurait encore besoin d'un rodage partirait vraiment sur de mauvaises bases.

L'assouplissement des consignes de rodage des véhicules neufs s'explique également par le fait que, compte tenu de la densité du trafic actuel, les véhicules ne sont plus que rarement poussés à leurs limites. Même sur une autoroute sans limitation de vitesse, il est aujourd'hui pratiquement impossible de rouler à la vitesse maximale du véhicule ou d'exploiter la puissance maximale du moteur sur une durée prolongée. Dans le temps, un conducteur roulant à bonne allure au volant d'un véhicule de 30 kW dont la vitesse maximale était moindre, parvenait sans problème à faire tourner son véhicule à pleine charge pendant une durée prolongée sur une route nationale normale.

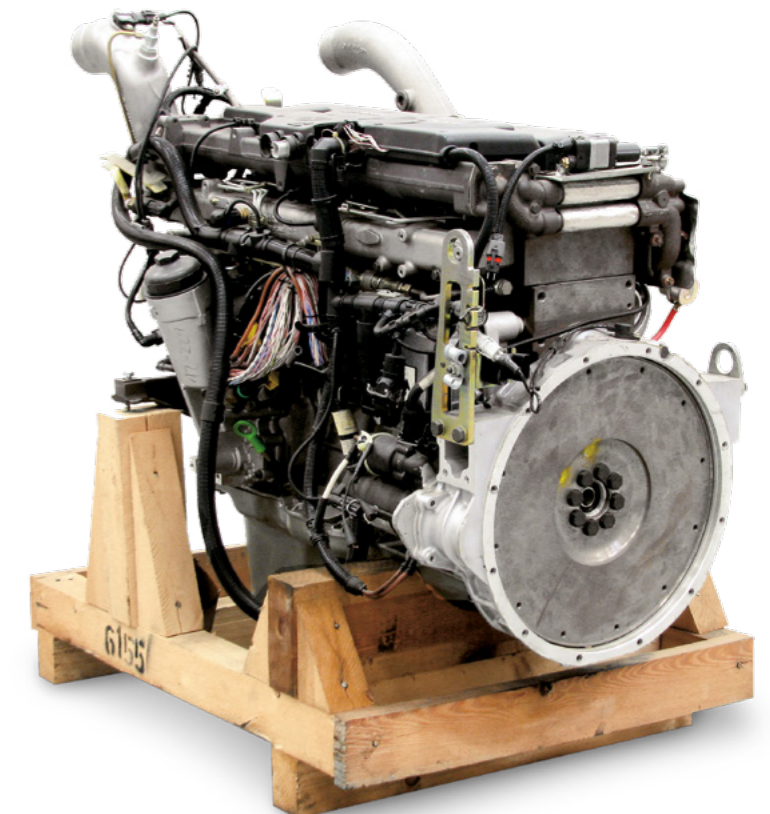


Tests de rodage et d'usure sur banc d'essai moteur

### 2.5.3 RODAGE DES MOTEURS RECTIFIÉS OU RÉPARÉS

Contrairement aux moteurs neufs sortant d'usine, les moteurs rectifiés équipés de chemises de cylindre neuves ou dont les alésages de cylindre ont été alésés et honés à la surcote immédiatement supérieure, nécessitent un rodage. Dans la pratique, selon le parc de machines dont elle dispose et son équipement, une entreprise de rectification de moteurs ne pourra pas toujours travailler avec la même précision et propreté qu'au cours de la production chez le constructeur.

Après une rectification, un moteur usagé ne sera plus jamais comme neuf. Souvent, des pièces neuves et des pièces usagées sont combinées et les moteurs ne sont pas révisés à fond pour raison financière. C'est après un réusinage des alésages de cylindre, des culasses ou des vilebrequins que le rodage est le plus nécessaire. Il est souvent impossible de réunir des paramètres d'usinage identiques à ceux de la production initiale car les valeurs ne sont pas toujours connues ou parce que les machines dont on dispose n'autorisent que des usinages standards. C'est pourquoi il est recommandé de respecter les règles de rodage ci-après pour les moteurs rectifiés.



### 2.5.4 RECOMMANDATIONS DE RODAGE DES MOTEURS RECTIFIÉS

- Roder dans tous les cas le moteur sur route ou sur un banc d'essai moteur
- Ne pas charger le véhicule au maximum
- Faire tourner le moteur en faisant varier constamment le régime, sans dépasser les 2/3 du régime maximal
- Passer les rapports rapidement, éviter les sous-régimes, ne pas tirer les rapports
- Ne pas effectuer de longs trajets en montée (charge trop élevée)
- Ne pas effectuer de longs trajets en descente (charge insuffisante et régime de décélération défavorable)
- Ne pas utiliser le frein moteur
- Ne pas rouler sur autoroute et à vitesse maximale - éviter les embouteillages
- Les trajets interurbains et la circulation en ville fluide sont l'idéal - éviter toutefois la circulation en ville par température extérieure élevée et aux heures de pointe avec de nombreux arrêts aux feux et temps d'attente

#### ATTENTION

Des prescriptions de rodage doivent être respectées pour les véhicules neufs. Il en est de même pour les moteurs rectifiés. En l'absence de banc d'essai permettant d'effectuer un programme de rodage défini, roder le moteur sur route.

#### CONTRÔLE RÉGULIER DU NIVEAU D'HUILE PENDANT LA PHASE DE RODAGE

La consommation d'huile peut augmenter durant la phase de rodage. Il est conseillé de contrôler le niveau d'huile au bout de 50 à 100 km et de faire l'appoint au besoin. En cas de chute nette du niveau d'huile indiqué sur la jauge d'huile, continuer de contrôler le niveau d'huile en raccourcissant les intervalles. Ne pas dépasser le niveau maximum.

#### VIDANGE D'HUILE AU BOUT DE 1 000 KM

Bien qu'une vidange d'huile ne soit, depuis longtemps, plus nécessaire sur les véhicules modernes neufs au bout des

premiers 500 à 1 000 km, cette vidange est recommandée dans le cas des moteurs rectifiés. Le circuit d'huile du moteur contient fréquemment de la crasse provenant du dommage antérieur du moteur ou du réusinage de pièces. À cela s'ajoute l'érosion métallique issue du rodage des pièces remplacées du moteur. Ces salissures favorables à l'usure doivent être éliminées après le rodage par une vidange d'huile.

#### ATTENTION

Le filtre à huile doit également être remplacé à l'occasion de cette vidange d'huile.

#### ATTENTION

Une marche au ralenti pendant des heures a des effets très dommageables sur le moteur !

Un moteur ne se rode pas au ralenti. Bien au contraire, il peut même subir des dommages. Au ralenti, les paliers et les pistons sont mal alimentés en huile. La lubrification est mise en cause car la pompe à huile refoule peu d'huile au ralenti. Le passage d'huile à travers les paliers est réduit et de surcroît au mauvais moment. C'est justement là où l'adaptation des composants entre eux entraîne un échauffement accru dû à la chaleur de frottement, que l'huile nécessaire à la lubrification et au refroidissement manque.

Suite au manque d'huile, les canaux d'alimentation en huile et les conduites peuvent ne pas être correctement purgés et rincés. L'érosion métallique ou la crasse résiduelle provenant de la rectification ou d'un dommage antérieur, encore présente dans le système d'alimentation en huile, n'est pas éliminée assez rapidement des coussinets et de la paroi du cylindre. Elle reste présente au point d'incidence et y occasionne une nouvelle usure.

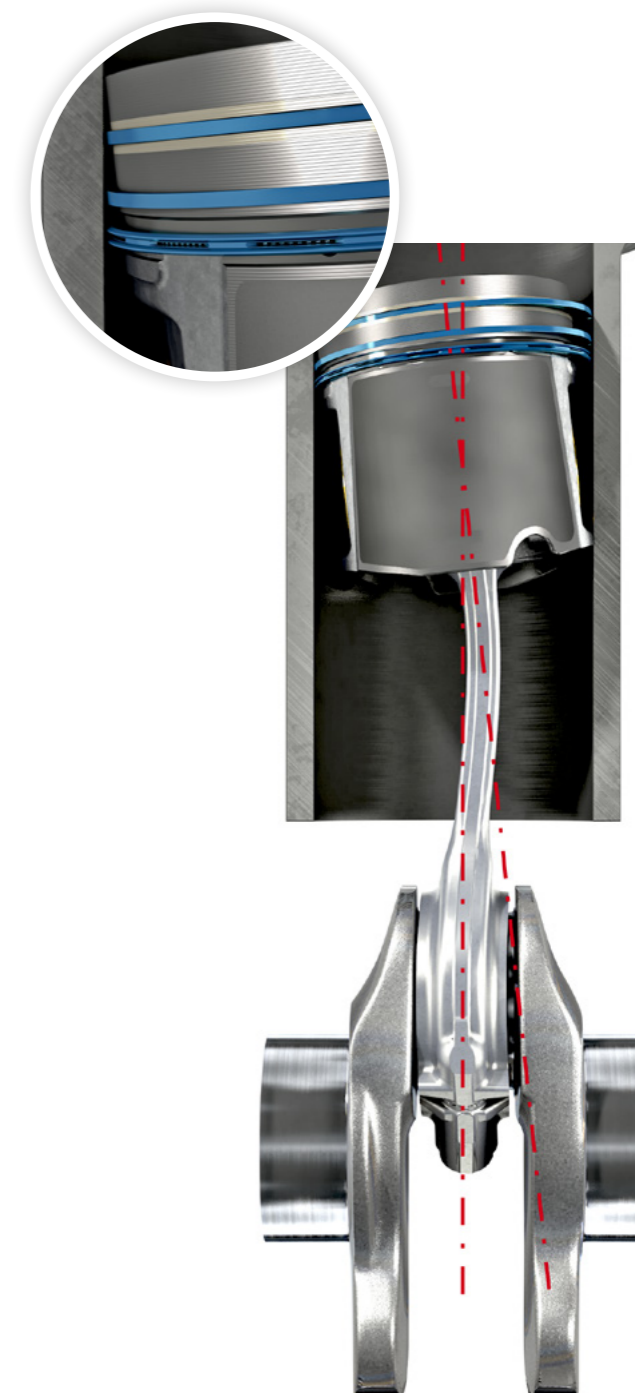
Ne pas oublier non plus le système d'alimentation en carburant. Dans le cas, notamment, des moteurs diesel équipés d'injecteurs neufs ou rectifiés, il est important de bien rincer ceux-ci. Cependant, les quantités de carburant injectées au ralenti sont très faibles. Le cas échéant, une aiguille d'injecteur un peu dure risque de ne pas s'ouvrir ou de ne pas pulvériser correctement le carburant.

## 2.6 PROBLÈMES D'ÉTANCHÉITÉ ET DOMMAGES SUR LES SEGMENTS DE PISTON

### 2.6.1 COURSE DÉSAJAXÉE DU PISTON

Les dommages d'un moteur entraînent régulièrement une déformation/torsion des bielles. Si le parallélisme du petit et du grand œil de bielle n'est pas vérifié lors de la rectification ou si une bielle déformée n'est pas redressée, il se produira une course désaxée du piston dans le cylindre pendant le fonctionnement du moteur. Le déplacement des segments de piston dans le cylindre n'est pas circulaire, mais de forme elliptique. Ceci occasionne de graves problèmes d'étanchéité. D'un côté du cylindre, les segments de piston sont en contact par le bord inférieur et de l'autre, par le bord supérieur. Si le segment peut encore tourner dans la gorge, il va très rapidement se bomber. Ce bombement est sensiblement supérieur au bombement voulu au niveau de la conception. Le film de lubrification devient donc considérablement plus épais et un bon raclage de l'huile est impossible. La course désaxée du piston entraîne également au niveau des segments un effet de pompage de même qu'une entrée plus importante d'huile dans la chambre de combustion.

Souvent, la course désaxée empêche les segments de piston de tourner et ceux-ci se détendent dans l'ellipse. Il s'ensuit une usure radiale irrégulière souvent responsable d'une cassure des segments de piston.



## 2.6.2 ALÉSAGE OVALE

Dans les cylindres dont les alésages sont ovales, la tension inférieure des segments de piston fait que ceux-ci ne s'adaptent pas ou ne s'adaptent que très lentement à la paroi du cylindre et qu'ils ne sont donc pas capables de remplir la fonction d'étanchéité prévue.

## 2.6.3 BLOCAGE DES SEGMENTS ET ENTRAVES À LA ROTATION

Sur les moteurs à quatre temps, les problèmes d'étanchéité surviennent fréquemment lorsque les segments ne peuvent pas se déplacer librement dans les gorges. Les dommages au niveau des pistons et des cylindres sont alors inévitables (surchauffe et grippage des pistons). Compte tenu de leur forme, les segments trapézoïdaux (voir le chapitre 1.3.1 Segments de compression) sont peu sensibles au collage ou au blocage dans les gorges.

### Causes de blocage des pistons et prévention

- Les segments ne doivent pas se bloquer en sens axial dans la gorge. La planéité des segments de piston doit être garantie. Il faut dans tous les cas éviter de déformer les segments de piston par un montage incorrect sur le piston (voir le chapitre 2.4.1 Montage et démontage des segments de piston).
- Les cotes de la gorge doivent être adaptées au segment de piston.
- Les gorges ne doivent pas contenir de crasse ou autres dépôts (Fig. 1).
- L'huile moteur doit être conforme aux spécifications du constructeur du moteur. Une mauvaise huile favorise la carbonisation et le collage des segments dans leurs gorges.
- Fonctionnement du moteur avec de l'huile végétale et des carburants alternatifs.
- Tiges de bielle déformées, donc course désaxée des pistons dans l'alésage de cylindre.



Fig. 1 : Dépôt de crasse dans la gorge

## 2.6.4 CRASSE

La pénétration de crasse dans le moteur est l'une des causes les plus fréquentes d'usure prématurée du moteur et, par voie de conséquence, des segments de piston. Les dommages dus à la crasse ont deux causes principales :

### 1ère cause

La crasse est amenée dans le cylindre avec l'air d'aspiration. Ceci se produit toujours si l'entretien du filtre à air est négligé. Lorsque le véhicule roule sans filtre à air ou que le système d'admission n'est pas étanche, la crasse franchit le filtre à air et entre dans la chambre de combustion. La crasse présente dans la chambre de combustion pénètre donc également dans les gorges des segments de piston où elle se mélange à l'huile qui s'y trouve en formant une pâte abrasive (Fig. 2). Les segments de piston sont alors meulés dans la hauteur et les gorges des segments de piston s'élargissent (Fig. 3). L'usure occasionnée par la crasse sur les segments de piston agit principalement en sens axial sur les faces des segments. Dans le sens radial (sur la surface de glissement), le segment s'use certes également en raison de la friction mixte, mais bien moins que sur les faces. Des traces de rayures en spirales sur les faces de segments sont un indice fréquent de présence de crasse dans les gorges. La crasse, principalement composée de sable fin, grave, en conjugaison avec la rotation des segments et à l'oscillation du piston, des motifs caractéristiques dans la face du segment.

Vu que les segments sont en contact principalement sur le flanc inférieur de la gorge durant le fonctionnement, l'usure se produit surtout sur la face supérieure du segment. C'est là aussi que se trouvent les traces de rayures en spirales (Fig. 4 et 5).

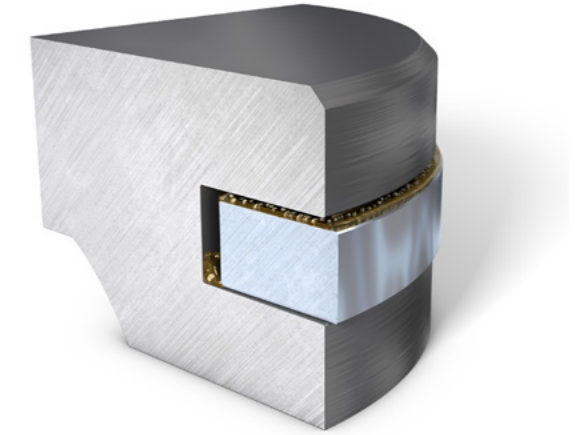


Fig. 2 : Les dépôts de crasse et d'huile dans la gorge forment une pâte abrasive.

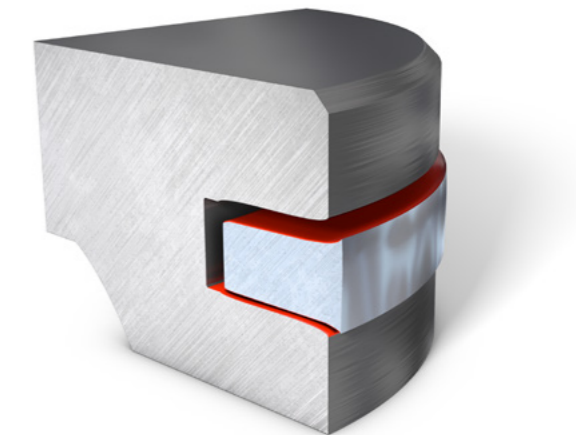


Fig. 3 : Élargissement de la gorge par le meulage vertical du segment de piston

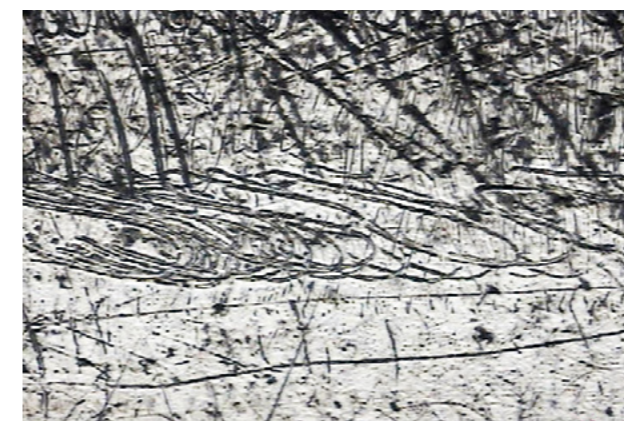


Fig. 4 et 5 : Exemples de traces de rayures en spirales sur la face supérieure du segment

**2ème cause**

La crasse est encore présente dans le circuit d'huile suite à un dommage antérieur et/ou à une réparation/rectification mal exécutée. La crasse commence alors à user les parois des cylindres et les pistons en partant du compartiment du vilebrequin. Les impuretés parviennent également à tous les paliers du moteur au travers de circuits d'huile encrassés. L'huile est certes filtrée par le filtre à huile, mais le circuit d'huile n'est fréquemment pas nettoyé correctement. La crasse déjà présente côté propre du circuit d'huile, arrive aux paliers et y entraîne une usure prématurée et des dommages.

Fréquemment, lors d'un dommage d'un moteur, le filtre à huile est obstrué par les résidus d'érosion au point que la vanne by-pass s'ouvre. L'huile moteur arrive alors aux points de lubrification sans être filtrée. Cet état de fait est pris en compte dans le concept de moteur afin de prévenir les dommages majeurs suite à une perte d'huile totale dans les paliers.

Souvent après un dommage d'un moteur, le radiateur d'huile et ses conduites d'huile contiennent une grande quantité de crasse. Il n'est donc pas acceptable de raccorder un moteur neuf ou rectifié à un radiateur d'huile qui n'a pas été nettoyé et de mettre le moteur en service.

**ATTENTION**

Si un radiateur d'huile est encrassé suite à un dommage d'un moteur, un nettoyage est souvent peu efficace. Il vaut mieux, dans ce cas, utiliser un radiateur d'huile neuf pour exclure le risque de dommage que représente l'utilisation de l'ancien radiateur d'huile.

**2.6.5 EXCÈS DE CARBURANT**

Après les dommages dus à la crasse, les dommages et l'usure dus à des excès de carburant sont la deuxième cause de dommages au niveau des segments de piston. Dans le cas d'un excès de carburant, le film d'huile sur la paroi du cylindre est détérioré au point qu'il se produit un frottement métallique des segments de piston sur la paroi du cylindre et que ceux-ci perdent rapidement de leur épaisseur de paroi radiale. Un contact métallique entre les segments de piston et la paroi du cylindre (Fig. 1) ne doit être que bref et exceptionnel (par exemple lors d'un démarrage à froid) et n'est pas tolérable durant le fonctionnement du moteur. La durée de vie des pistons, des segments de piston et des alésages de cylindre en souffre considérablement et s'en trouve fortement réduite. Les partenaires de glissement sont normalement toujours séparés par un film d'huile (Fig. 2). Le film d'huile doit donc être plus épais que les irrégularités des surfaces des partenaires de glissement.

Durant le fonctionnement du moteur, les dysfonctionnements de combustion entraînent fréquemment une accumulation et une condensation du carburant sur la paroi du cylindre. Le film d'huile est alors dilué ou éliminé. La friction mixte qui en résulte entraîne une usure totale des segments de piston en quelques milliers de kilomètres seulement. La puissance diminue et la consommation d'huile du moteur augmente.

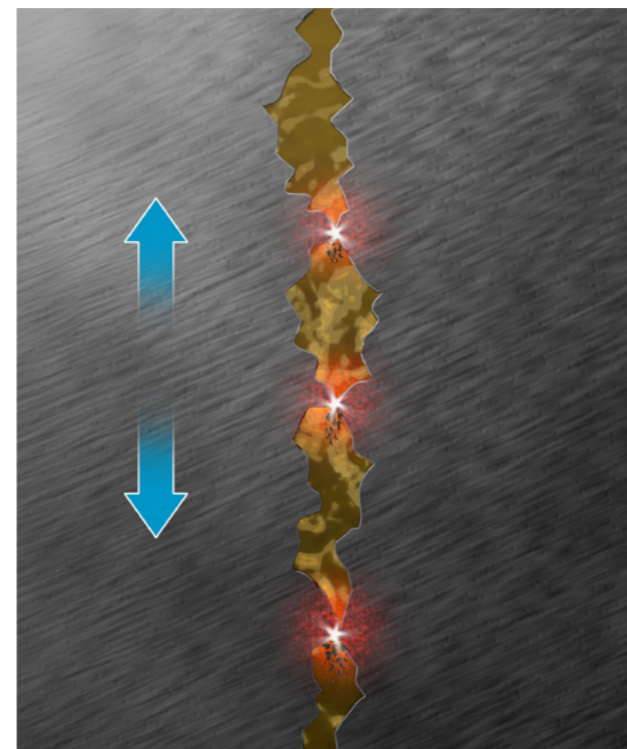


Fig. 1 : Friction mixte – contact métallique entre le segment de piston et la paroi du cylindre

La friction mixte entraîne une très forte usure axiale des segments de piston et de la surface du cylindre. Celle-ci est très facilement reconnaissable aux deux lèvres du segment raqueur d'huile. La Fig. 3 montre un segment raqueur d'huile neuf et un autre, usé par friction mixte. Les deux lèvres du raqueur sont complètement parties. Le moteur dont provient le segment souffrait d'une consommation d'huile excessive. Une telle usure radiale, qui ne touche pas que les segments raqueurs d'huile, est presque toujours due à un excès de carburant.

Lorsque l'usure n'est pas d'intensité égale sur tous les pistons, il ne peut s'agir que d'une usure par friction mixte due à un excès de carburant. Ce cas se produit même très fréquemment et prouve que l'usure des segments n'est pas la conséquence d'une mauvaise qualité supposée du matériel ou d'un mauvais usinage des cylindres. En effet, l'usure de tous les pistons et segments de piston serait alors identique et ne toucherait pas uniquement certains cylindres.

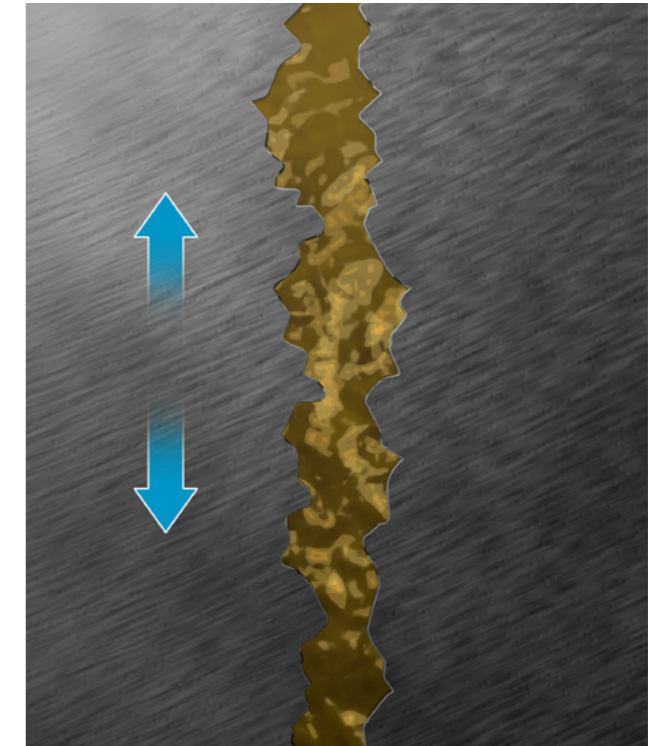


Fig. 2 : Épaisseur suffisante du film d'huile – pas de contact métallique

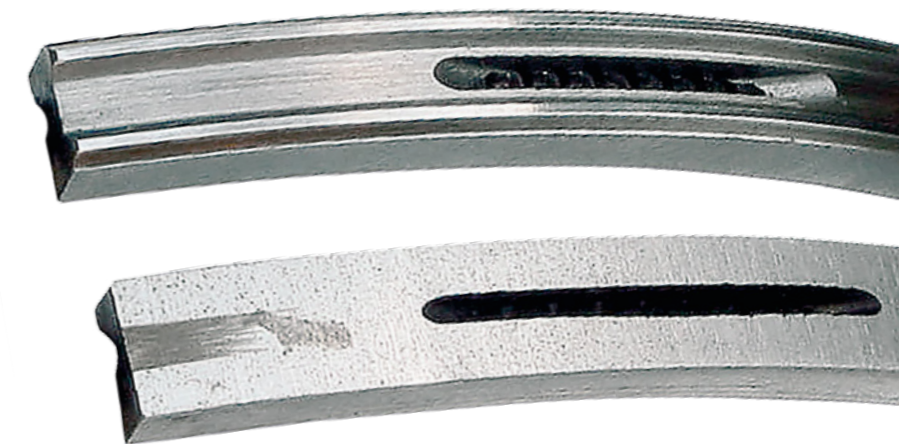


Fig. 3 : Segment raqueur d'huile neuf et usé

L'usure par friction mixte due à un excès de carburant touche tant les moteurs à essence que les moteurs diesel.

Dans le cas du moteur à essence, les petits trajets fréquents (notamment dans le cas des anciens moteurs à carburateur) et les ratés d'allumage sont les causes principales. Les moteurs à essence nécessitent, pour démarrer et durant la phase d'échauffement, une quantité de carburant très supérieure à celle nécessaire à la chaleur de service. En cas de petits trajets fréquents, le carburant condensé et adhérent sur la paroi du cylindre peut, le cas échéant, se vaporiser et se mélanger à l'huile moteur. Il se produit alors une dilution de l'huile et une friction mixte suite à la perte de viscosité de l'huile moteur. Sur un moteur à essence, un excès de carburant peut également être dû à des bougies d'allumage ou des bobines d'allumage défectueuses, vu l'absence d'inflammation et de combustion du carburant.

Sur les moteurs diesel, la quantité de carburant injectée s'enflamme au contact de l'air fortement comprimé dans la chambre de combustion. En l'absence de compression (mauvais remplissage) ou si le carburant est de mauvaise qualité, il se produit un retard d'auto-allumage, une combustion incomplète et une accumulation de carburant liquide dans la chambre de combustion.

#### Autres causes d'excès de carburant dans le cas du moteur diesel

- Injecteurs défectueux et non étanches
- Défauts de la pompe d'injection et de son réglage
- Conduites d'injection mal posées et fixées (vibrations)
- Défauts mécaniques (piston qui cogne contre la culasse) consécutifs à une mauvaise cote de dépassement du piston suite au réusinage des surfaces d'étanchéité et à l'utilisation de joints de culasse d'une mauvaise épaisseur
- Mauvais remplissage dû à un filtre à air bouché
- Mauvais remplissage dû à un turbocompresseur défectueux ou usé
- Mauvais remplissage dû à des segments de piston usés ou cassés
- Mauvaise qualité du carburant (mauvais auto-allumage et combustion incomplète)



#### ATTENTION

Avec ce type de dommage, il faut également voir si l'usure touche certains cylindres ou tous les cylindres. Si tous les cylindres sont concernés, la cause sera plutôt globale, comme une mauvaise qualité du carburant ou un mauvais remplissage. Si certains cylindres seulement sont touchés, des injecteurs, des conduites d'injection, des bougies d'allumage ou des câbles haute tension défectueux peuvent être en cause.

## 2.6.6 RUPTURES DE SEGMENTS

Les ruptures de segments sont dues soit à une usure excessive, soit à un flottement des segments, soit à des erreurs de montage des segments.

Les ruptures des segments de piston en cours de fonctionnement ne se produisent pas sans des conditions extrêmes. Lors du montage des segments sur le piston, la contrainte mécanique est considérablement plus importante qu'en fonctionnement. Lors de la mise en place sur le piston, les segments de piston doivent supporter une contrainte de flexion bien plus élevée que pendant le montage dans le cylindre. Un segment qui présenterait des défauts structurels ou matériels casserait dès la mise en place.

Si des segments de piston cassés sont trouvés dans un moteur juste après la réparation d'un piston, ils ont généralement été endommagés ou cassés par un montage incorrect du piston ou par l'utilisation d'outils de montage inappropriés.

Les segments peuvent casser en service après une durée de fonctionnement prolongée. Ceci se produit lorsque l'épaisseur de paroi radiale ou axiale a déjà fortement diminué sous l'effet de l'usure. Le plus souvent, le segment se met à flotter en raison du jeu en hauteur du segment excessif et ne peut plus résister à la contrainte qui agit sur lui. Le segment se brise alors généralement en de nombreux petits fragments.

Mais un segment ne doit pas nécessairement avoir subi un affaiblissement de l'épaisseur du matériau pour casser. Si des dysfonctionnements de combustion se produisent en cours de fonctionnement, les segments peuvent casser suite à la contrainte élevée sans être usés. La pénétration accidentelle d'huile ou d'eau dans la chambre de combustion peut également être la cause de ruptures de segments. Les liquides ne sont pas compressibles. Si le volume de liquide est supérieur au volume de la chambre de compression, soit le liquide est contraint de s'échapper au niveau du piston, soit le piston ou les segments de piston cassent. De même, la tige de bielle peut se déformer ou la paroi du cylindre/la chemise de cylindre casser.



Segment de piston cassé

## 2.6.7 FLOTTEMENT DES SEGMENTS

Un flottement des segments peut se produire en particulier sur les moteurs à essence à charge moyenne et régime élevé. On appelle flottement tant le soulèvement d'un segment de piston de sa surface d'appui inférieure que la perte d'effet d'étanchéité du segment suite à une perte de contact radial avec la paroi du cylindre (collapsus). Les deux entraînent une perte de puissance et une forte consommation d'huile vu que la fonction d'étanchéité est dégradée, voir supprimée.

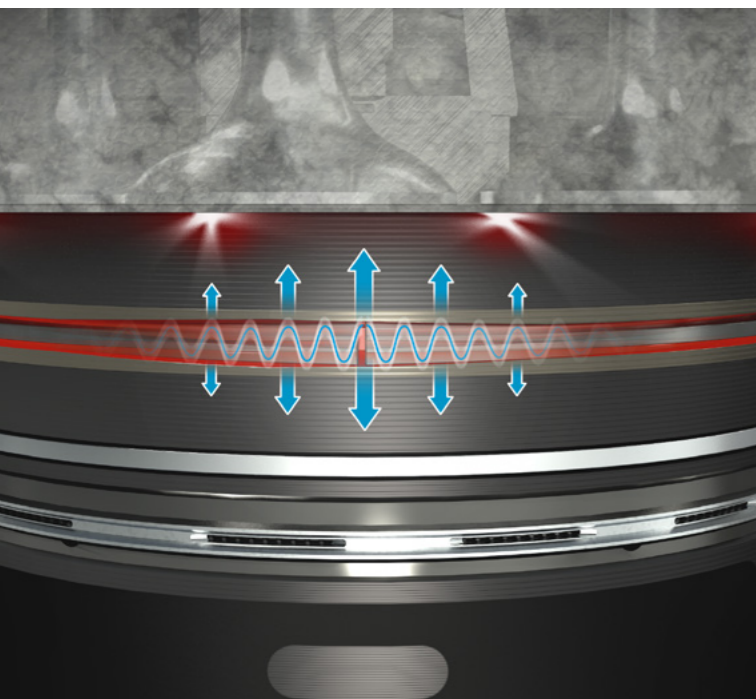


Fig. 1 : Flottement du segment par contact mécanique entre le piston et la culasse

### FLOTTEMENT AXIAL DES SEGMENTS

Le flottement axial du segment commence généralement aux bords de la coupe, vers l'intérieur du segment. Compte tenu de leur exposition, les bords de la coupe ont tendance à se soulever de la surface d'appui inférieure si les conditions de fonctionnement sont défavorables. Les bords de la coupe se mettent à vibrer et transmettent les vibrations à l'ensemble du segment de piston.

#### ATTENTION

Les segments de faible hauteur ont moins tendance au flottement en raison de forces d'inertie inférieures. Une pression d'appui supérieure aux bords de la coupe agit contre la tendance au flottement.

#### Causes de flottement axial des segments

- Jeu en hauteur du segment trop important
- Perte de tension du segment (usure), d'où une moins bonne pression aux bords de la coupe, notamment sur les segments de piston à répartition de la pression radiale en forme de poire (voir également le chapitre 1.6.2 Répartition de la pression radiale)
- Contact mécanique entre le piston et la culasse suite à des erreurs de rectification, notamment sur les moteurs diesel (Fig. 1)
- Combustion détonante suite à des défauts dans la gestion du moteur (constitution du mélange, allumage) et à une qualité du carburant insuffisante (indice d'octane trop bas, additifs diesel)
- Gorges de segment de piston usées
- Volume de gaz en fond de gorge trop faible suite à des dépôts de calamine dans le fond de la gorge (cause : températures de combustion trop élevées) et/ou mauvaise qualité d'huile moteur

### FLOTTEMENT RADIAL DES SEGMENTS

Une augmentation excessive de la pression de gaz sur la surface de glissement des segments pendant la combustion (Fig. 2) détruit brièvement le rapport de forces, le segment de piston se soulève de la surface de glissement et ne peut plus assurer correctement l'étanchéité. La répétition permanente de ce processus conduit au flottement du segment de piston.

#### Causes de flottement radial des segments

- Segments de piston usés (diminution de l'épaisseur de paroi radiale) et perte consécutive de force d'appui du segment de piston sur la paroi du cylindre ainsi que baisse de rigidité du segment
- Alésages de cylindre excentriques et pénétration consécutive accrue de la pression de combustion dans l'interstice d'étanchéité entre la surface de glissement du segment et l'espace du segment
- Déplacement oblique du piston suite à la déformation de la tige de bielle : le segment décrit une trajectoire légèrement ovale suite à son déplacement oblique à l'intérieur de l'alésage de cylindre. Ainsi, une quantité supérieure de gaz de combustion entre dans la zone du cordon de feu et entre le segment de piston et la paroi du cylindre sur le côté du cylindre où le piston est moins en contact
- Usure bombée excessive sur la surface de glissement du segment de piston suite à un jeu en hauteur du segment trop important
- Arêtes du segment endommagées suite à un honage incorrect (constitution d'un voile métallique) : le segment est déchiré et effiloché au niveau des arêtes (concerne surtout les segments en fonte simples, sans revêtement de la surface de glissement), du gaz pénètre dans l'interstice d'étanchéité et soulève le segment de piston de la surface de glissement.



Fig. 2 : Pression de gaz sur la surface de glissement du segment

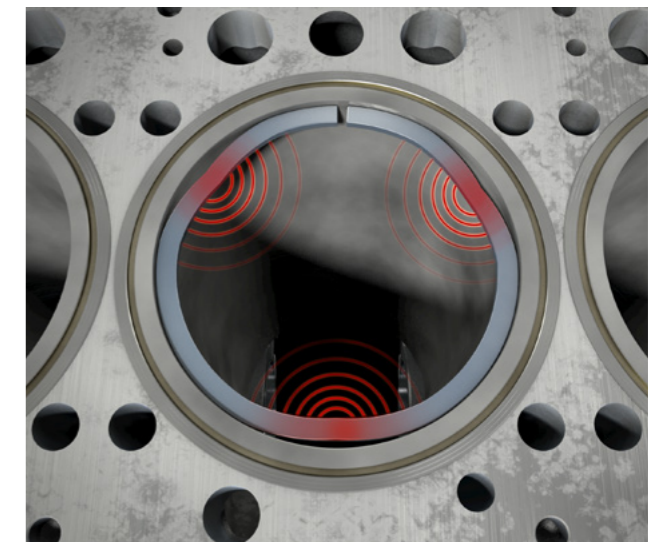


Fig. 3 : Soulèvement du segment de piston de la surface de glissement

## 2.7 LUBRIFICATION ET CONSOMMATION D'HUILE

### 2.7.1 GÉNÉRALITÉS

Le piston d'un moteur à quatre temps est fondamentalement lubrifié par l'huile projetée par le vilebrequin. Toutefois, les flasques du vilebrequin ne plongent normalement pas dans le carter d'huile. Ceci ferait mousser l'huile et entraînerait des pertes de puissance. L'huile nécessaire à la lubrification de la paroi du cylindre sort normalement des paliers des coussinets de ligne et de bielle. Vu que le vilebrequin tourne, cette huile est répartie sous forme de gouttelettes dans tout le compartiment du vilebrequin, donc projetée également sur la paroi du cylindre lorsque le piston se trouve dans la partie supérieure de celui-ci.

Dans le cas des moteurs fortement sollicités ou des moteurs sur lesquels la pulvérisation d'huile au niveau des paliers est très faible, la lubrification de la paroi du cylindre est assurée en recourant à des tiges de bielle creuses, qui projettent également de l'huile sur la paroi du cylindre sur le côté pression du piston (Fig. 1).

De telles mesures sont inutiles sur les moteurs qui possèdent un refroidissement des pistons par gicleur pour améliorer la dissipation thermique des pistons. Grâce au refroidissement direct par huile, une quantité suffisante d'huile retourne à l'intérieur du piston et lubrifie ainsi la paroi du cylindre.

Selon le nombre de tours, la pression d'huile et la conception, les quantités d'huile présentes sur la paroi du cylindre sous forme de gouttelettes doivent être raclées et réparties par les segments racleurs d'huile. Afin d'avoir un effet de lubrification optimal et une faible consommation d'huile, l'épaisseur du film de lubrification sur la paroi du cylindre doit être comprise entre 1 et 3  $\mu\text{m}$ . Un film de lubrification plus fin entraîne une friction mixte et une usure importante des composants. Un film de lubrification plus épais entraîne généralement une consommation d'huile supérieure. Les causes d'un film d'huile trop fin ou trop épais sont décrites, entre autres, au chapitre 1.5.5 Formes bombées des surfaces de glissement.



Fig. 1 : Des orifices de projection d'huile dans la bielle garantissent la lubrification de la surface de glissement

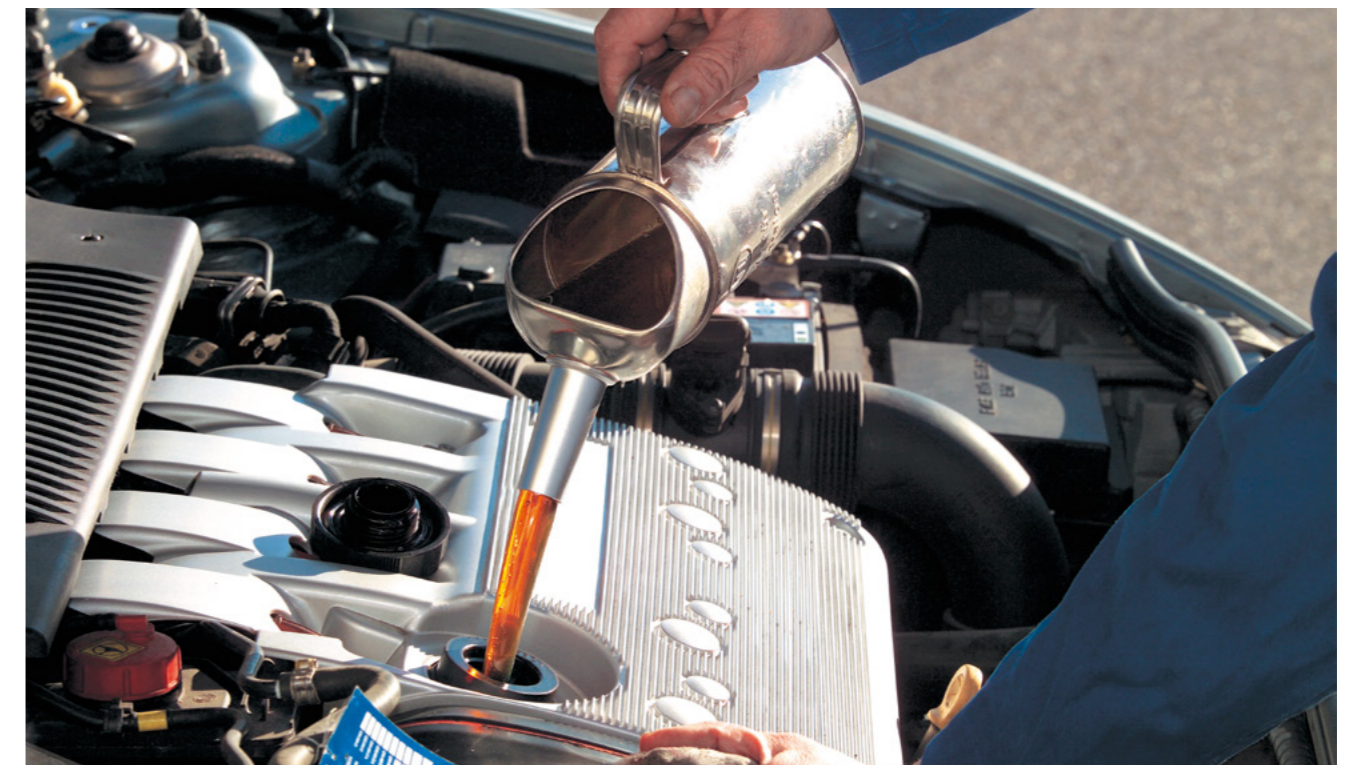
### 2.7.2 HUILE MOTEUR

L'huile moteur est la plus importante constituante du moteur. Sans une lubrification et un refroidissement des composants par l'huile, un moteur à combustion tel que nous le connaissons et l'utilisons aujourd'hui ne pourrait pas fonctionner. L'huile sépare les partenaires de glissement par un fin film et empêche, par la lubrification, la friction métallique, donc l'usure des partenaires de glissement. L'huile moteur assure en outre une fonction de transport de la chaleur et de la crasse à l'intérieur du moteur.

#### Fonctions importantes de l'huile moteur

- Lubrification (séparation de surfaces métalliques en mouvement l'une par rapport à l'autre)
- Refroidissement (évacuation de la chaleur)
- Évacuation de la crasse
- Stabilité par rapport aux effets de cisaillement (dus, par exemple, aux arêtes vives des segments de piston)
- Étanchéité de la chambre de combustion par rapport au carter de vilebrequin et entre les canaux d'admission et d'échappement et l'actionnement des soupapes au travers des guides soupape

- Fixation des substances externes solides, poussières, résidus d'érosion et résidus de combustion tels que suie ou cendres
- Protection contre la corrosion des pièces du moteur par rapport aux résidus de combustion agressifs par la formation de couches protectrices à la surface du métal
- Neutralisation de résidus de combustion acides par transformation chimique
- Transmission de forces dans les tendeurs de chaîne hydrauliques et les poussoirs de soupape
- Propreté des pièces du moteur par séparation des dépôts de combustion et produits de vieillissement de l'huile moteur avec des savons solubles dans l'huile
- Protection contre l'usure (des pièces du moteur qui se déplacent l'une par rapport à l'autre)
- Neutralisation des résidus de combustion indésirables





L'huile moteur se compose d'une huile de base et d'additifs. Des additifs sont ajoutés à l'huile de base pour en améliorer les propriétés. La teneur en additifs et leur composition sont fonction des exigences auxquelles l'huile doit faire face.

#### Exemples des effets ou influences des additifs

- Viscosité et fluidité
- Effet tensioactif
- Faculté de neutralisation
- Neutralité par rapport aux matériaux d'étanchéité
- Faible tendance à mousser
- Longue durée d'utilisation, intervalles de vidange d'huile espacés
- Faible consommation d'huile
- Faible consommation de carburant
- Tolérance de carburant
- Respect de l'environnement

L'huile moteur s'use par vieillissement et contamination. Les additifs contenus dans l'huile sont consommés et des résidus de combustion agressifs et de la crasse contaminent l'huile. Le vieillissement de l'huile est, en partie, dû aux températures élevées.

L'huile moteur est composée de molécules d'hydrocarbures à chaînes longues. La viscosité de l'huile est fonction de la longueur des chaînes moléculaires. Les molécules longues ont une viscosité supérieure à celle des molécules courtes. Les chaînes moléculaires longues sont hachées durant le fonctionnement du moteur en morceaux plus courts par effets de cisaillement. Ceci se répercute négativement sur la viscosité et les propriétés lubrifiantes. Dans les situations extrêmes, l'huile est moins résistante et n'offre plus les propriétés lubrifiantes souhaitées.

Il est inutile de faire subir à l'huile moteur une filtration fine à l'aide de mesures de filtration spéciales, externes au moteur, pour tenter d'éliminer autant d'impuretés que possible. Le problème réside dans l'huile elle-même et non pas dans la crasse qu'elle véhicule.

Remarque : dans certains pays, on filtre l'huile avec des chiffons avant de la revendre.

Durant le processus de combustion, il se forme des acides et autres substances nocives qui décomposent l'huile peu à peu. En outre, sous l'effet d'une chaleur élevée, une partie des composants de l'huile à basse température d'ébullition se vaporise, ce qui modifie également la composition. L'utilisation de filtres dits surfin, sensés permettre d'utiliser l'huile à vie sans effectuer de vidange, est donc sujette à caution.

Il faut, de toute façon, faire régulièrement l'appoint d'huile et rajouter de coûteux additifs étant donné que tout moteur consomme naturellement de l'huile et ne contiendrait tôt ou tard plus d'huile. Économiquement, l'installation de tels systèmes additionnels a donc peu de sens pour le propriétaire du véhicule.

#### Résumé

Tant l'huile de base que les additifs se dégradent avec le temps, d'où la nécessité de changer régulièrement l'huile (vidange d'huile). La vidange d'huile et le remplacement du filtre permettent d'éliminer les résidus de combustion nocifs, présents dans le moteur, et de les rendre inoffensifs. Une huile fraîche lubrifie et nettoie mieux et renouvelle les réserves face à toutes les influences nocives auxquelles l'huile est exposée.



## 2.7.3 GÉNÉRALITÉS SUR LA CONSOMMATION D'HUILE

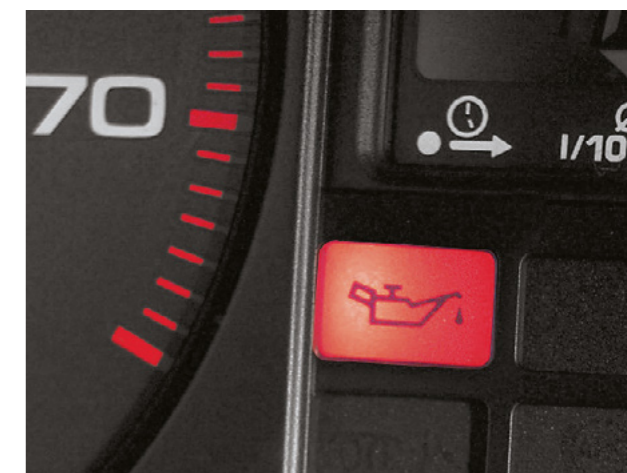
Pour le professionnel, le terme de consommation d'huile désigne la quantité d'huile qui entre dans la chambre de combustion et y est brûlée, mais pas l'huile qui se fraie un chemin à travers les joints et goutte à l'extérieur du moteur. On parle alors de perte d'huile et non pas de consommation d'huile.

#### Les causes principales de consommation d'huile sont les suivantes

- Défaut du turbocompresseur (paliers défectueux, conduites de refoulement d'huile bouchées)
- Défaut des pompes d'injection mécaniques (éléments de pompes usés)
- Joints de queue de soupape et guides soupape usés
- Défaut du système d'étanchéité piston - segment de piston - alésage de cylindre (voir le chapitre suivant)

#### REMARQUE

Vous trouverez davantage d'informations à ce sujet dans notre brochure « Consommation d'huile et perte d'huile »



## 2.7.4 CONSOMMATION D'HUILE PAR L'ENSEMBLE PISTON-SEGMENT DE PISTON-ALÉSAGE DE CYLINDRE

#### CONSOMMATION D'HUILE NORMALE OU LIÉE À LA CONCEPTION

L'huile qui passe du compartiment du vilebrequin à la chambre de combustion en franchissant l'ensemble piston-segment de piston-alésage de cylindre est brûlée, d'où une consommation d'huile. Compte tenu de la conception du moteur à combustion et du système d'étanchéité piston - segment de piston - alésage de cylindre, une certaine consommation d'huile est « normale » pendant le fonctionnement du moteur.

L'huile moteur est présente sur la paroi du cylindre sous la forme d'un fin film d'huile (d'env. 1 à 3 µm d'épaisseur) et est exposée à la chaleur de combustion pendant la course descendante du piston au cours du cycle de travail. La chaleur des gaz de combustion entraîne, à chaque cycle de travail, une vaporisation et une combustion de faibles quantités d'huile, ce

qui se manifeste au bout d'un certain temps par une consommation d'huile. En outre, l'inversion du déplacement du piston au point mort haut et les forces d'inertie qui apparaissent alors entraînent une éjection de l'huile hors des segments de piston. Cette quantité d'huile est brûlée lors de la combustion du cycle de travail suivant.

#### CONSOMMATION D'HUILE ÉLEVÉE ET EXCESSIVE

Une consommation d'huile excessive, occasionnée seulement par le système d'étanchéité piston-segment de piston-alésage de cylindre, a toujours des causes dont la responsabilité primaire n'incombe pas aux segments de piston. Certes, les segments de piston sont impliqués, mais ils ne sont pas la cause.

**Causes d'une surconsommation d'huile due à un mauvais effet d'étanchéité des segments de piston**

- Usure des segments (diminution des épaisseurs de paroi radiale et axiale)
- Honage incorrect
- Usure abrasive par la crasse (chapitre 2.6.4 Crasse)
- Cylindres ovales et/ou excentriques (voir également le chapitre 2.3.5 Géométrie du cylindre et circularité)
- Usure des pistons (gorges des segments) par la crasse et une longue durée de fonctionnement
- Usure des cylindres (excentriques, polis, déformés)
- Course désaxée des pistons suite à la déformation des tiges de bielle (voir le chapitre 2.6.1 Course désaxée des pistons)
- Mauvaise spécification d'huile
- Huile usée et trop vieille
- Friction mixte par excès de carburant (voir le chapitre 2.6.5 Excès de carburant)
- Flottement des segments (voir le chapitre 2.6.7 Flottement des segments)
- Surfaces d'étanchéité rayées (flancs inférieurs des gorges) suite à un nettoyage incorrect des gorges
- Segments coincés dans les gorges par la crasse, la calamine ou la déformation des segments (manipulation incorrecte)
- Absence de jeu de fond de gorge suite à des segments incorrects ou à des carbonisations (mauvaise spécification d'huile)
- Mauvaise composition de la segmentation, mauvaises hauteurs de segment, mauvaise épaisseur de paroi radiale, mauvaise forme (segment rectangulaire dans une gorge trapézoïdale et inversement)
- Montage incorrect de segments racleurs d'huile (erreur de montage du ressort extenseur)

**2.7.5 DÉTERMINATION DES CONSOMMATIONS D'HUILE (VALEURS COMPARATIVES)**

La consommation d'huile peut être déterminée de différentes manières. Lors d'un test du moteur sur banc d'essai, la consommation d'huile est indiquée en « g/kWh ». Les bons systèmes d'étanchéité atteignent des consommations d'huile comprises entre 0,5 et 1 g/kWh. Ce type de quantification ne convient pas dans la pratique, car il n'est possible ni de constater la consommation d'huile au gramme près, ni de mesurer la puissance en mode de conduite.

C'est pourquoi la consommation d'huile est fréquemment indiquée en l/1 000 km ou en % de la consommation de carburant. Cette dernière s'est imposée compte tenu de sa précision supérieure à l'indication en l/1 000 km. La raison en est que les moteurs peuvent également fonctionner en mode stationnaire et que les moteurs de véhicules connaissent des temps de fonctionnement au ralenti parfois considérables (bouchons, arrêts aux feux, opérations de chargement, fonctionnement de la climatisation). À cela s'ajoutent les temps durant lesquels le moteur doit continuer de tourner pour permettre le fonctionnement de groupes auxiliaires tels que des grues de chargement ou des pompes, sans que le véhicule parcoure le moindre kilomètre.

**2.7.6 QUANT PARLE-T-ON DE SURCONSOMMATION D'HUILE ?**

Dans la pratique, la notion de consommation d'huile élevée varie fortement d'un pays à l'autre. Croire ou espérer qu'un moteur ne consomme pas ou ne doit pas consommer d'huile est une erreur largement répandue, pour les raisons indiquées.

Tout constructeur de moteurs a des valeurs indicatives ou des valeurs limites de consommation d'huile pour chacun de ses moteurs. Si une consommation élevée d'huile est suspectée, il faut se référer à la valeur indicative ou à la valeur limite de consommation d'huile du constructeur du moteur. Dans de nombreux cas, les manuels d'atelier et les manuels de service contiennent des informations relatives à la consommation d'huile d'un moteur.

En l'absence d'indications précises de la part du constructeur du moteur, on estime que la consommation d'huile d'un véhicule utilitaire est de 0,25 à 0,5 % de la consommation de carburant effective. Cette valeur est légèrement inférieure pour les petits moteurs de voitures particulières. Leur consommation d'huile est de l'ordre de 0,1 à 0,5 % de la consommation de carburant.

Par principe, les moteurs diesel consomment plus d'huile que les moteurs à essence. De même, les moteurs suralimentés nécessitent également plus d'huile pour la lubrification du turbocompresseur.

Toutefois, il est clair que la consommation d'huile est très basse après la phase de rodage et qu'elle augmente avec la durée de vie du moteur. Les valeurs minimales concernent donc plutôt les moteurs neufs et les valeurs maximales les moteurs qui ont déjà dépassé les 2/3 de leur durée de vie. Il ne faut pas espérer non plus que la consommation d'huile soit inférieure à la valeur maximale sur un moteur ayant subi seulement des réparations partielles (par exemple le remplacement de pistons ou de segments de piston). C'est bien souvent le contraire. Toutes les pièces d'un moteur s'usent. Si seulement 10 % de ces pièces sont remplacées, l'amélioration escomptée d'une réparation partielle sera, au mieux, de 10 % également.

**EXEMPLE DE CALCUL POUR UN VÉHICULE UTILITAIRE**

Un véhicule utilitaire consomme environ 40 l de carburant aux 100 km, soit 400 l de carburant pour 1000 km.

- 0,25 % de 400 l de carburant donnent une consommation d'huile de 1 l.
- 0,5 % de 400 l de carburant donnent une consommation d'huile de 2 l.

**EXEMPLE DE CALCUL POUR UNE VOITURE PARTICULIÈRE**

Une voiture particulière consomme environ 8 l de carburant aux 100 km, soit 80 l de carburant pour 1000 km.

- 0,1 % de 80 l de carburant donnent une consommation d'huile de 0,08 l.
- 0,5 % de 80 l de carburant donnent une consommation d'huile de 0,4 l.

## 2.7.7 DÉFINITION ET COMPORTEMENT FACE À LA CONSOMMATION D'HUILE

### EN MATIÈRE DE CONSOMMATION D'HUILE, IL FAUT DISTINGUER DIFFÉRENTES INDICATIONS

#### CONSOMMATION D'HUILE NORMALE

La consommation d'huile est conforme aux quantités indiquées par le constructeur, c'est-à-dire qu'elle se situe entre les valeurs indiquées au chapitre précédent. Il n'y a ni anomalie, ni motif de réclamation.

#### CONSOMMATION D'HUILE ÉLEVÉE

La consommation d'huile d'un véhicule utilitaire est deux à trois fois supérieure à la consommation d'huile normale. Dans le cas des moteurs de voitures particulières, environ 0,5 à 1 l/1 000 km. Le moteur fonctionne normalement et il n'y a pas forcément de signes d'échappement de fumée bleue.

##### **Incidence**

Véhicules qui ont déjà dépassé les 2/3 de la durée de vie normale du moteur. Moteurs neufs réparés et rectifiés, qui sont encore en phase de rodage. Moteurs fonctionnant dans des conditions défavorables (températures ambiantes élevées, petits trajets fréquents, fonctionnement au ralenti, remorquage, etc.).

##### **Mesures correctives**

Elles ne sont pas ou pas impérativement nécessaires, mais une observation et un contrôle du niveau d'huile/un appoint réguliers sont nécessaires pour empêcher le niveau d'huile de passer sous le minimum en cours de fonctionnement. Le cas échéant, rechercher la cause de la consommation d'huile élevée. Outre le moteur proprement dit, il peut s'agir d'organes complémentaires tels que le turbocompresseur, les pompes d'injection mécaniques et les pompes à vide, ou encore d'une répartition égale sur tous les organes complémentaires. Le cas échéant, la consommation d'huile peut être corrigée à l'aide de réparations ciblées. En cas de dommage d'un organe complémentaire qui contribue fortement à la consommation d'huile, la consommation d'huile a probablement augmenté brusquement.

Toutefois, de telles hausses de la consommation d'huile ne sont pas à craindre dans le cadre de l'usure normale des composants. Des anomalies dans la préparation du mélange/l'injection de carburant, qui se manifestent par une fumée noire sortant du dispositif d'échappement, contribuent elles aussi fortement à l'usure des pistons et des cylindres, donc à une augmentation de la consommation d'huile, et doivent par conséquent être impérativement corrigées.

#### CONSOMMATION D'HUILE EXCESSIVE

La consommation d'huile d'une voiture particulière est supérieure à 1,5 l et celle d'un véhicule utilitaire lourd à plus de 5 l. La consommation d'huile peut être constatée non seulement à l'aide de la jauge d'huile, mais aussi visuellement par l'émission de fumée bleue (notamment en régime de décélération). La quantité d'huile d'appoint occasionne des coûts non négligeables qui justifient une inspection minutieuse, une réparation ou une rectification du moteur.

##### **Incidence**

Moteurs complètement usés et moteurs qui ont été mal ou insuffisamment rectifiés. Dans le cas des dommages des moteurs tels que grippages des pistons, ruptures des pistons, dommages du turbocompresseur, dommages des culasses ou en cas de panne d'autres organes complémentaires lubrifiés par huile.



## 2.7.8 BIEN CONTRÔLER ET CONSTATER LE NIVEAU D'HUILE ET LA CONSOMMATION D'HUILE

### MESURE DU NIVEAU D'HUILE

Le contrôle du niveau d'huile donne souvent lieu à des erreurs de lecture responsables d'une mauvaise interprétation de la consommation d'huile effective. Le véhicule doit être immobilisé sur une surface plane et il faut laisser à l'huile cinq minutes après l'arrêt du moteur pour retourner dans le carter d'huile et s'égoutter correctement. Tenir la jauge à huile vers le bas après l'avoir retirée pour éviter que l'huile coule en arrière le long de la jauge, ce qui fausserait la valeur mesurée.

S'il manque réellement de l'huile, faire l'appoint par petites quantités (par étapes de 0,1 l). Si l'huile est versée trop rapidement et en trop grande quantité, le niveau d'huile sera trop élevé. Si le vilebrequin plonge dans le carter d'huile suite au niveau d'huile élevé, l'huile sera brassée, projetée et arrivera en grande quantité sous forme de gouttes vers l'aération du moteur. Vu que l'aération du moteur est reliée au système d'aspiration, l'huile va entrer dans la chambre de combustion et être brûlée.

Lors du remplissage d'un moteur après une vidange d'huile, verser non pas la quantité de remplissage indiquée, mais s'arrêter également au repère minimum. Démarrer ensuite le moteur jusqu'à ce que la pression d'huile se soit établie. Après avoir coupé le moteur, attendre à nouveau quelques minutes pour que l'huile moteur ait le temps de retourner dans le carter d'huile. Ensuite seulement, remesurer le niveau d'huile et faire l'appoint jusqu'au repère maximum.

### MESURE DE LA CONSOMMATION D'HUILE SUR LA ROUTE

- Bien mesurer le niveau d'huile et faire l'appoint jusqu'au repère maximum.
- Rouler 1 000 km et noter également la consommation de carburant.
- Remesurer le niveau d'huile après 1 000 km et faire l'appoint jusqu'au repère maximum. La quantité rajoutée correspond à la consommation d'huile sur 1 000 km.
- Une autre méthode plus précise consiste à déterminer le rapport de la quantité d'huile rajoutée et de la comparer aux valeurs indiquées ci-dessus.
- Évacuer et mesurer l'huile avant et après le parcours de mesure n'est pas concluant dans la pratique. Les pertes d'huile dans les récipients et autres faussent les mesures et les rendent imprécises.

### QUANTITÉS DE REMPLISSAGE D'HUILE

Les quantités d'huile indiquées dans le manuel du véhicule ou dans le manuel de service doivent être considérées avec une très grande prudence. Souvent, il n'est pas fait de différence entre la quantité nécessaire au premier remplissage (pour un moteur sec, sans huile) et la quantité d'une vidange (avec/sans changement de filtre à huile).

Le fait est que, lors d'une vidange d'huile, une certaine quantité d'huile moteur reste dans le moteur (dans les conduites, les collecteurs, les radiateurs d'huile, la pompe à huile, les organes et sur les surfaces). Si la quantité nécessaire au premier remplissage est utilisée lors de la vidange d'huile, le niveau d'huile sera bien trop haut. Mais l'inverse peut également se produire. La quantité indiquée pour une vidange d'huile est trop faible. Le moteur va manquer d'huile après le démarrage. Si le remplissage n'est pas effectué correctement et en l'absence de contrôle ultérieur, ceci sera fréquemment interprété comme une consommation d'huile. Veillez dans tous les cas à utiliser une huile de la bonne viscosité. Une huile peu visqueuse (fluide) est consommée plus rapidement qu'une huile plus visqueuse. Utilisez uniquement l'huile prescrite et homologuée par le constructeur du moteur.

## 2.7.9 RÉCLAMATIONS PORTANT SUR LE CONSOMMATION D'HUILE ET REMÈDES

En toute logique, une réclamation concernant une consommation d'huile excessive n'est justifiée que si le véhicule a été entretenu dans les règles et si les intervalles d'entretien ont toujours été respectés. En outre, les bonnes pièces de rechange et l'huile moteur prescrite doivent avoir été utilisées. La consommation d'huile n'augmente pas d'un coup. Un moteur continue de fonctionner même avec une consommation d'huile élevée. Souvent, les négligences d'entretien et l'usure accrue qui en découle ne se manifestent que sur des véhicules âgés. L'argent économisé au niveau de l'entretien du moteur finit par être dépensé sous la forme d'une consommation d'huile élevée et de réparations prématurées.

Le succès des réparations visant à supprimer une consommation d'huile élevée dépend fortement du temps et des moyens investis. C'est donc le propriétaire du véhicule ou le réparateur qui détermine la qualité du résultat. Mais une chose est sûre : seul, le montage de segments de piston neufs sur un moteur usé permettra à celui-ci de fonctionner pendant encore un certain temps, mais cela n'améliorera pas la consommation d'huile.



# TRANSFERT DE SAVOIR-FAIRE LA COMPÉTENCE D'UN EXPERT

## FORMATIONS DANS LE MONDE ENTIER

### En direct du fabricant

Tous les ans, environ 4 500 mécaniciens et techniciens profitent de nos formations et des séminaires que nous organisons sur place, dans le monde entier, ou dans nos centres de formation de Neuenstadt, Dormagen et Tamm (Allemagne).

## INFORMATIONS TECHNIQUES

### Des informations issues de la pratique pour la pratique

Avec nos Product Information, Service Information, brochures techniques et posters, vous êtes à chaque instant à la pointe de la technique.

## VIDÉOS TECHNIQUES

### Transmission des connaissances par vidéo

Dans nos vidéos, vous trouverez des instructions de montage pratiques et des explications système concernant nos produits.

 YouTube

## PLEINS FEUX SUR LES PRODUITS EN LIGNE

### Nos solutions clairement expliquées

Au travers d'éléments interactifs, d'animations et de clips vidéo, apprenez tout ce qu'il faut savoir sur nos produits pour le moteur.

## BOUTIQUE EN LIGNE

### Votre accès direct à nos produits

Commande 24 h sur 24. Contrôle rapide de la disponibilité. Recherche produits exhaustive par moteur, véhicule, dimensions, etc.

## NEWS

### Informations régulières par e-mail

Inscrivez-vous vite en ligne à notre newsletter gratuite pour recevoir régulièrement des informations sur les nouveaux produits, les publications techniques et de nombreux autres sujets.

## INFORMATIONS PERSONNALISÉES

### Spécialement pour nos clients

Par notre intermédiaire, vous profitez d'informations et de services complets sur notre large gamme de prestations tels que du matériel de promotion des ventes personnalisé, des aides à la vente, un support technique et bien d'autres choses encore.



## TECHNIPEDIA

### Informations techniques concernant le moteur

Avec Technipedia, nous vous offrons un accès à notre savoir-faire. Vous y trouverez les connaissances techniques de nos experts directement.

## L'APPLI MOTORSERVICE

### Un accès mobile à notre savoir-faire technique

Vous y trouverez rapidement et facilement les informations et les services les plus à jour relatifs à nos produits.

## MÉDIAS SOCIAUX

### Toujours à jour



**HEADQUARTERS :**

**MS Motorservice International GmbH**

Wilhelm-Maybach-Straße 14-18  
74196 Neuenstadt, Germany  
[www.ms-motorservice.com](http://www.ms-motorservice.com)

**MS Motorservice France S.A.S.**

Bâtiment l'Etoile – Paris Nord II  
40 avenue des Nations  
93420 Villepinte, France  
Téléphone : +33 149 8972-00  
Télécopie : +33 149 8972-01  
[www.ms-motorservice.fr](http://www.ms-motorservice.fr)



[www.ms-motorservice.com](http://www.ms-motorservice.com)

© MS Motorservice International GmbH – 50 003 958-03 – FR – 10/18 (102018)