



# SOLIDES, LIQUIDES ET GAZ

par John S. Evans, lic. en sciences



John Evans, directeur du diagnostic chez WearCheck

Dans ce bulletin nous évoquerons les solides, les liquides et les gaz et la manière dont ils sont liés aux poussières, à l'eau et à l'air, les trois contaminants les plus fréquemment rencontrés dans l'huile. Nous examinerons ce qu'ils sont, quelle est leur origine, les dommages qu'ils entraînent, la manière de les détecter et celle de les empêcher de causer des problèmes.

Nous avons appris en classe que la matière existe sous trois formes : solide, liquide et gazeuse. Il en existe en réalité une quatrième, le plasma, mais nous risquons fort peu de rencontrer cette forme de matière au quotidien. Un plasma est une masse de particules chargées appelées ions. C'est surprenant, mais les utilisateurs faisant appel à l'analyse de l'huile risquent plus qu'ils ne le pensent d'entrer en contact avec du plasma. Le type de spectromètre qui analyse l'huile à la recherche de particules métalliques d'usure, de contaminants et d'additifs d'huile est un spectromètre par torche à plasma, dit spectromètre ICP (acronyme de Inductively Coupled Plasma). Il existe dans le plasma des températures extrêmement élevées, qui permettent aux atomes,

de fer ou de silicium par exemple, d'émettre une lumière d'une fréquence caractéristique mesurable, utilisée pour déterminer la concentration des atomes présents dans l'huile.

Je pense que nous avons assez parlé physique pour cette fois. Retournons donc aux trois formes de matières qui nous sont familières : les solides, les liquides et les gaz. Un bloc de glace est solide ; si nous le chauffons un peu, il fond et se transforme en eau, donc en liquide, et si nous chauffons davantage, celle-ci se transforme en vapeur, c'est-à-dire en gaz.

L'un des problèmes majeurs rencontrés dans l'analyse de l'huile est la contamination, et les contaminants de l'huile peuvent être solides, liquides ou gazeux. Ce bulletin évoquera chacun des trois contaminants les plus courants de l'huile : les poussières, l'eau et l'air. Nous savons tous que les poussières et l'eau sont des contaminants mais tout le monde ne considère pas l'air comme un problème, parce qu'il est en quelque sorte éthéré par nature.

## CONTAMINANTS SOLIDES

Commençons par le contaminant le plus fréquent de l'huile : les poussières, ou sable, grains, saletés, poussières de l'air, grosses poussières, saletés, quel que soit le nom qu'on leur donne. C'est ce que l'on trouve dans son jardin ou sur la plage de Durban. C'est également quelque chose de très dur, très abrasif et particulièrement destructeur d'un point de vue mécanique, si on les retrouve dans votre huile. Le bon vieux sable des routes est plus dur que l'acier inoxydable.

Les particules de poussière ont des tailles extrêmement variables, des grosses poussières visibles à l'œil nu aux particules microscopiques, inférieures au micron. Un grain de sable mesure en général 500 microns, soit un demi-millimètre. Les particules de poussière provenant d'une usine de ciment peuvent avoir une taille de 5 microns. À titre de référence grossière, l'épaisseur d'un cheveu humain est d'environ 50 microns.

Parce que les particules de poussière peuvent être relativement petites, elles restent facilement en suspension dans l'huile : comme nous le verrons, ce sont les particules de 10 à 20 microns qui sont les plus dommageables et celles-ci ne sédimentent pratiquement jamais. Ce qui signifie que cette huile peut très facilement devenir une pâte abrasive.

On pourrait penser que mettre une poignée de sable de mer dans le réservoir d'un moteur est un moyen de sabotage efficace du moteur. Eh bien, oui et non, car la taille des particules de poussière est cruciale. Les particules qui font le plus de dégâts sont celles dont la grosseur est pratiquement identique au jeu existant entre deux surfaces en mouvement. Généralement, dans un moteur, ce jeu sera de 10 à 20 microns, soit le quart ou la moitié de l'épaisseur d'un cheveu humain.

Des exemples sont donnés dans le tableau suivant :

<b>Système mécanique</b>	<b>Fourchette de jeu normal</b>
Entre segment et chemise	0,3 à 7,0 microns
Gros paliers d'extrémité	0,5 à 20 microns
Paliers de vilebrequin	0,8 à 50 microns
Soupapes de distribution	0,1 à 1,0 micron
Petits paliers d'extrémité	0,5 à 15 microns
Engrenages	0,1 à 1,5 micron
Paliers lisses	0,5 à 100 microns
Roulements à rouleaux	0,1 à 3,0 microns
Pompes à palettes	5,0 à 15 microns
Pompes à engrenages	0,5 à 5,0 microns
Pompes à piston	5,0 à 40 microns

Cela signifie que les particules de plus de 25 microns environ sont, dans la plupart des cas, trop grosses pour passer entre les surfaces en mouvement et y provoquer des dégâts. Les particules de moins de cinq microns passeront directement à travers sans provoquer aucun dégât. Ce sont les particules qui restent coincées entre les surfaces métalliques et provoquent une usure abrasive à trois corps qui sont responsables de tous les dommages. Alors oui, une poignée de sable peut faire des ravages dans un moteur, mais les grains devront d'abord être broyés pour causer des dégâts vraiment sérieux.

Heureusement, l'analyse de l'huile peut détecter la contamination par les poussières de diverses manières. La composition chimique des poussières communes ou de la terre des jardins est bien connue et il s'agit généralement d'un mélange d'oxydes de silicium et d'aluminium.

Le spectromètre ICP, cité dans le paragraphe d'introduction de ce bulletin, peut facilement mesurer avec précision la teneur de ces éléments dans l'huile. Une augmentation du silicium est habituellement une indication que des poussières sont présentes dans l'huile. Un mot de mise en garde ici : les poussières ne sont pas la seule source de silicium dans un échantillon d'huile. Les agents antimoussants de l'huile contiennent du silicium de même que les garnitures et joints d'étanchéité à base de silicone. Le silicium entre également dans la composition chimique des liquides de refroidissement et est parfois allié à de l'aluminium pour réduire le coefficient d'expansion des pistons. Pour que l'augmentation du taux de silicium soit provoquée par une pénétration de poussières, elle doit s'accompagner d'une élévation de l'aluminium, un autre composant principal des poussières.

Le décompte des particules permet également de détecter une pénétration des poussières, en particulier des grosses poussières.

Le compteur de particules émet un rayon laser qui traverse l'échantillon d'huile et les particules projettent une ombre sur un détecteur, où elles peuvent être dénombrées. L'instrument ne peut pas distinguer entre poussières et particules d'usure métalliques par exemple, mais une fois qu'un décompte de particules élevé a été décelé, l'huile peut être filtrée à travers une membrane et les débris restants peuvent être examinés au microscope. S'il s'agit bien de poussières, une intervention de maintenance corrective peut être exécutée avant que l'usure ne devienne grave.

Bien que l'analyse d'huile soit performante concernant la détection de pénétration de poussières, il vaut toujours mieux, et de loin, que les poussières restent à l'extérieur. C'est un truisme en maintenance que de dire que cela coûte dix fois plus cher de nettoyer l'huile sale que d'empêcher les poussières d'y pénétrer. Veillez à utiliser des reniflards de la meilleure qualité, à bien entretenir les joints et les garnitures, considérez toutes les fuites d'huile comme un problème sérieux et appliquez une hygiène scrupuleuse pour l'huile.

Il existe de nombreux autres contaminants solides que l'on retrouve dans l'huile, notamment les suies, les débris d'usure, les contaminants de procédé ou environnementaux et les résidus de l'huile. La poussière, cependant, est le contaminant le plus courant et le plus destructeur.

### **CONTAMINANTS LIQUIDES**

Passons aux contaminants liquides. Il peut s'agir de liquides de refroidissement, carburants, graisses, d'autres huiles et de sous-produits de la dégradation de l'huile, mais l'eau est de loin le contaminant le plus fréquent.

L'eau est dommageable d'un point de vue mécanique parce qu'elle peut entraîner une corrosion et la formation de rouille, mais elle peut également avoir une interaction chimique avec l'huile et la dégrader selon un processus appelé hydrolyse.

Après les poussières, l'eau est le contaminant le plus courant et la plupart des gens ne se rendent pas compte à quel point l'eau peut être agressive, attaquant à la fois la machine et le lubrifiant. La liste ci-dessous montre les divers modes d'attaque de l'eau :

- Usure par érosion
- Frottement des soupapes
- Cavitation
- Corrosion
- Fragilisation par l'hydrogène
- Dépôts de boues et de suies
- Appauvrissement de l'additif
- Augmentation de la viscosité
- Perte de résistance du film tensioactif
- Formation d'acide
- Prolifération fongique et bactérienne
- Dépôts de cires
- Émulsions
- Augmentation de l'occlusion d'air
- Formation de mousse
- Sédimentation
- Précipitation de l'additif

La liste des manières dont l'eau peut faire des dégâts est assez impressionnante et toutes se rencontrent relativement fréquemment.



L'eau peut pénétrer de diverses manières dans un système de lubrification, par contamination lors d'un appoint ou au cours des interventions de maintenance normales.

Les compartiments d'huile respirent et l'eau peut donc s'y former sous forme de condensation. Des fuites internes de liquide de refroidissement peuvent se produire dans les composants refroidis à l'eau. Le lavage ou le nettoyage à la vapeur d'un composant peut introduire de l'eau dans le système de même que des joints, garnitures et reniflards endommagés peuvent laisser l'eau pénétrer.

Rappelez-vous que si l'huile peut sortir, les poussières et l'eau peuvent pénétrer. Une fois encore, traitez toutes les fuites d'huile comme un problème sérieux. Rappelez-vous également qu'aucun système n'est jamais totalement étanche, sinon il serait impossible de prélever un échantillon d'huile !

Vous connaissez sans aucun doute le dicton selon lequel l'huile et l'eau ne se mélangent pas. Eh bien, ce n'est vrai que jusqu'à un certain point. De très faibles quantités d'eau sont capables de se dissoudre dans l'huile, ce qui signifie que l'eau peut exister dans l'huile sous trois formes distinctes : dissoute, en émulsion ou libre.

La quantité d'eau qui peut être dissoute dans l'huile dépend du type de l'huile, de la composition chimique de ses additifs, de l'âge de l'huile, de son niveau de dégradation et du nombre, du type et de la concentration des contaminants. La chimie est loin d'être simple. Le tableau suivant donne une idée de la quantité d'eau qui peut se dissoudre dans les différents types d'huile :

Type d'huile	Niveau de dissolution	En émulsion	Libre
Moteur	Jusqu'à 2000 ppm	2000 à 5000 ppm	> 5000 ppm
Hydraulique	Jusqu'à 200 ppm	200 à 1000 ppm	> 1000 ppm
Engrenages	Jusqu'à 500 ppm	500 à 2000 ppm	> 2000 ppm
Turbine	Jusqu'à 150 ppm	150 à 500 ppm	> 500 ppm



Notez qu'une partie par million (ppm) équivaut au 1/10 000<sup>e</sup> d'un pour cent et que donc 1000 ppm représentent 0,1 %.

Comme pour les poussières, la contamination par l'eau est très facilement détectée dans un échantillon d'huile. L'eau peut faire des ravages de diverses manières mais elle peut également être détectée par divers moyens au laboratoire.

Tous les échantillons font l'objet d'un dépistage d'eau. Nous pouvons le faire parce que les tests concernés sont peu coûteux, simples, rapides et efficaces. Tous les échantillons moteur subissent une analyse FTIR (pour Fourier Transform Infra Red, par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier) pour détecter les sous-produits de la combustion et la dégradation de l'huile. Ce test peut également servir à dépister la présence d'eau ainsi qu'à quantifier celle-ci. Comme le test est exécuté sur l'ensemble des échantillons moteur de toute façon, le dépistage de l'eau est réalisé sans supplément de coût, de temps ni de main-d'œuvre, et sa limite de détection est d'environ 500 ppm. Toutes les molécules vibrent et le principe de fonctionnement du spectromètre FTIR est de mesurer la fréquence de ces vibrations.

Tous les autres types d'échantillons sont soumis à ce qui s'appelle un test de crépitement. Quelques gouttes d'huile sont placées sur une plaque chauffée à 150 °C. À cette température, l'eau bout mais pas l'huile et, si de l'eau est présente dans l'huile, elle bout et remonte à la surface de l'huile, en grésillant et en crépitant. Un bon technicien doit être capable de détecter la présence d'eau jusqu'à 500 ppm (0,05 %) et de nombreux échantillons peuvent être ainsi dépistés, rapidement, précisément et à bon marché. C'est également un test facilement réalisable en atelier.



Si un échantillon est positif aux tests de dépistage, une détermination précise de la quantité d'eau peut être effectuée.

Si le test de dépistage indique que la quantité d'eau présente est d'environ 1 % ou moins, l'échantillon est soumis à un titrage Karl Fischer. Dans ce test, l'échantillon d'huile est chauffé pour éliminer toute l'humidité présente dans l'huile. Les vapeurs entrent dans un récipient de réaction où elles sont automatiquement titrées avec des réactifs spéciaux conçus pour détecter l'eau. L'instrument peut alors donner une mesure numérique de la quantité d'eau présente. L'instrument est extraordinairement précis et peut mesurer l'eau jusqu'à 10 ppm (1/1000<sup>e</sup> d'un pour cent). Pour la plupart des applications industrielles et automobiles, l'eau est mesurée avec une précision de 0,1 %, ou 1000 ppm, et est signalée en conséquence. Si une précision supérieure est requise, elle peut être obtenue à l'aide d'un kit d'échantillonnage spécial. Une précision supérieure est importante pour les compresseurs de réfrigération et les huiles isolantes.

Si le test de dépistage indique que la quantité d'eau présente pourrait être supérieure à 1 %, une partie de l'échantillon est prélevée, pesée et mise en réaction avec un produit chimique appelé hydrure de calcium. Lorsque ce produit chimique entre en contact avec l'eau, il réagit et libère de l'hydrogène gazeux dont le volume peut être mesuré à l'aide d'un simple manomètre et qui sera proportionnel à la quantité d'eau présente.

Enfin, si l'huile est lourdement contaminée par de l'eau (>25 %), il suffit de placer l'échantillon dans une éprouvette graduée et de mesurer la hauteur des deux couches pour avoir une estimation correcte de la quantité d'eau présente.

Il convient de noter que certaines huiles ignifuges contiennent de l'eau, généralement à une teneur d'environ 40 %. Ces huiles sont transparentes et il n'existe aucune séparation entre les couches d'eau et d'huile. Mesurer la quantité d'eau dans ces lubrifiants donne en fait une indication de l'état de l'huile au lieu d'indiquer que la présence d'eau est une mauvaise chose.

Les mêmes règles, pratiques et précautions s'appliquent pour empêcher la pénétration de l'eau et des poussières. Une autre possibilité pourrait être l'installation de reniflards hygroscopiques pour éliminer l'eau avant qu'elle ne pénètre dans le système de lubrification.

### **CONTAMINATION PAR L'AIR**

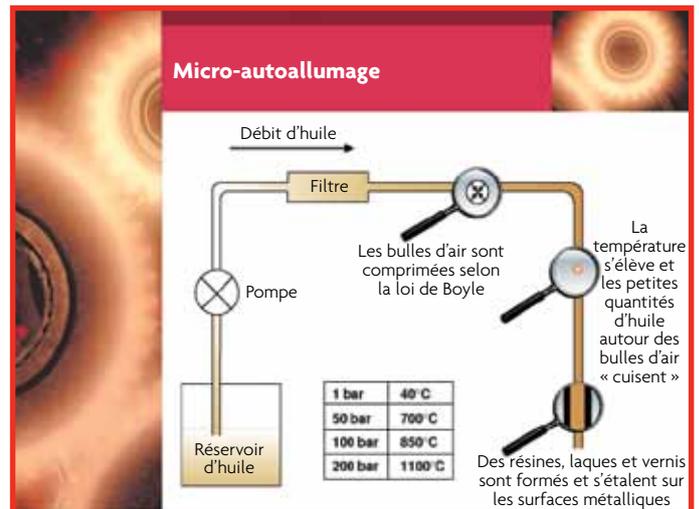
Venons-en maintenant à notre dernier contaminant, l'air, que la plupart des gens ne considèrent pas comme tel. Il peut cependant être aussi destructeur que les poussières ou l'eau. Comme l'eau, l'air peut exister sous diverses formes dans le lubrifiant : dissout, occlus, en mousse et libre.

Jusqu'à environ 10 % d'un volume d'huile peut être dû à de l'air dissout. Ceci ne doit normalement pas constituer une raison de s'alarmer, mais peut entraîner un fonctionnement spongieux des systèmes hydrauliques. L'air occlus, qui est probablement le plus dommageable, consiste en minuscules bulles d'air transportées par l'huile, à laquelle elles confèrent souvent un aspect trouble.

La mousse constitue une couche stable de bulles d'air plus grosses à la surface de l'huile et peut provoquer la corrosion, des bouchons de vapeur ainsi qu'une compressibilité élevée et, si elle peut ne pas constituer un problème en soi, elle peut indiquer une occlusion d'air excessive. La mousse peut également représenter jusqu'à 30 % d'un volume d'huile. La mousse est souvent davantage un problème cosmétique qu'une cause de problème mécanique grave. L'air libre est simplement une grande poche d'air piégée dans un tronçon mort, quelque part dans le système, et s'il ne constitue habituellement pas une indication d'un problème, il peut contribuer à la corrosion et aux bouchons de vapeur.

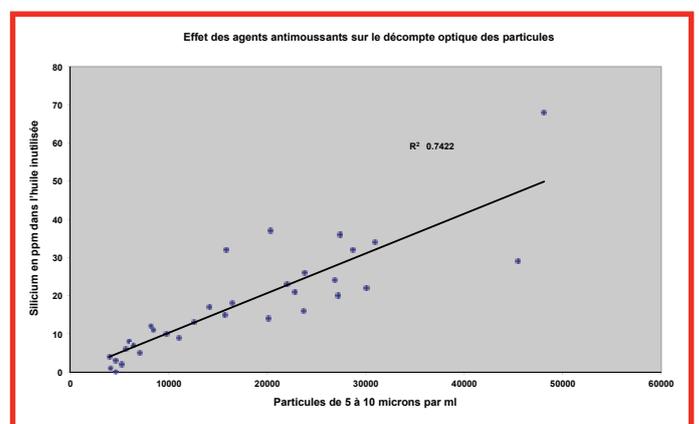
Il existe un certain nombre de causes de la contamination par l'air, mais la plus courante est probablement la présence d'eau. L'eau abaisse la tension superficielle de l'huile, permettant aux bulles d'air de se fractionner en bulles d'un volume inférieur, qui restent facilement en suspension dans l'huile. D'autres contaminants peuvent avoir un effet similaire, en particulier les substances particulaires sous forme de très fine poudre. D'autres causes sont la perte de désactivation des agents antimoussants, l'utilisation d'une huile d'une viscosité non adaptée à une application particulière, une mauvaise forme de réservoir et les fuites au niveau des conduites d'aspiration, peut-être la cause la plus fréquente.

L'occlusion d'air peut avoir un certain nombre d'effets négatifs sur les propriétés lubrifiantes de l'huile. L'air contient de l'oxygène et augmenter la quantité d'air augmente le potentiel d'oxydation de l'huile. Il peut également augmenter la dégradation thermique de l'huile. Les très petites bulles d'air peuvent être comprimées par action mécanique en de très faibles volumes qui, à leur tour, peuvent générer des températures très élevées. Le mince film d'huile qui entoure une bulle d'air sera alors carbonisé dans un processus appelé micro-autoallumage, qui produit un vernis. La présence d'air réduit également les propriétés de transfert de chaleur de l'huile, entraînant une surchauffe. L'air dégrade les films d'huile, provoquant une usure en remplaçant les couches de lubrifiant. Comme nous l'avons déjà mentionné, la contamination par l'air peut entraîner un mauvais contrôle hydraulique. Certains mélanges d'huile peuvent aussi créer des problèmes d'air.



L'un des agents antimoussants les plus courants est un produit chimique appelé polydiméthylsiloxane (PDMS). Ce produit chimique contient du silicium, ce qui explique pourquoi l'huile fraîchement sortie du fût contient entre 5 et 15 ppm de silicium. Il ne s'agit pas de poussière mais d'un additif mélangé à l'huile par la société pétrolière. Il est important de noter que ce composé est ajouté en extrêmement petites quantités pour exécuter la tâche prévue, à peine 10 ppm. Il est également important de remarquer qu'un surdosage de cet additif peut réellement entraîner des problèmes de libération d'air. C'est l'un de ces additifs qui doivent être parfaitement dosés.

Le PDMS possède un poids moléculaire très élevé et peut former des groupes de molécules appelés micelles. Ceci provoque ce que l'on appelle parfois « l'effet en œil de poisson » et l'additif peut en réalité être détecté par un compteur de particules. Le graphique suivant montre une relation évidente entre le décompte des particules d'une taille de 5 à 10 microns et la quantité de silicium dans une sélection d'huiles provenant de notre bibliothèque sur les huiles neuves. Il est également le seul additif qui puisse éventuellement être éliminé de l'huile à l'aide d'une filtration ultrafine.

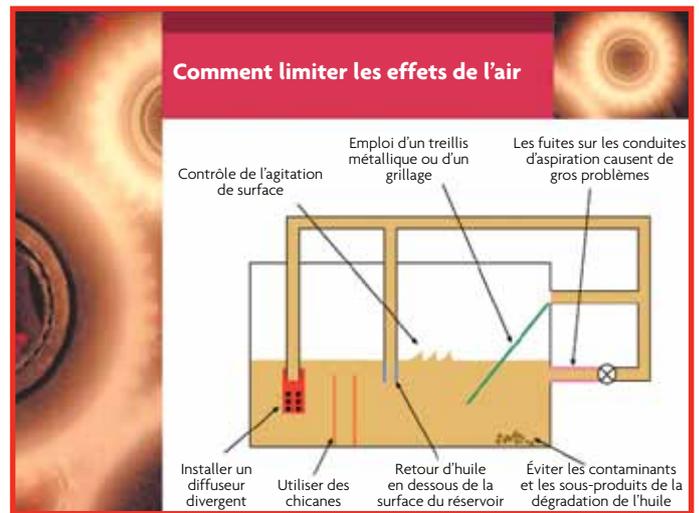


Le PDMS possède une très faible tension superficielle et c'est ce que l'on appelle un agent tensioactif. Il se fixe lui-même à l'interface entre huile et air et la désintègre, entraînant l'effondrement de la mousse. En cas de surdosage, de nombreuses grosses molécules se fixent elles-mêmes sur les bulles d'air, ce qui fait couler celles-ci dans l'huile, avec pour résultat de mauvaises propriétés de libération de l'air.

Lorsqu'une mousse ou une occlusion d'air se produisent, la réaction réflexe est d'en blâmer l'huile au lieu de rechercher une contamination ou une source mécanique au problème. Invariablement, la cause est soit l'eau, soit l'entrée d'air dans le système par les conduites d'aspiration. S'en prendre à l'huile ne requiert toutefois aucun dépannage. Le PDMS est également disponible en additif de supplément que les propriétaires d'équipement peuvent utiliser en appoint des carters après une vidange partielle. Il est d'une importance vitale, si l'épuisement de l'additif est à l'origine de la mousse, que le dosage soit absolument précis et la plupart des chantiers n'ont pas les capacités nécessaires pour ajouter un volume de l'ordre de 10 ppm ou assurer une dispersion correcte de l'additif. Le surdosage entraînera de mauvaises propriétés de l'huile du point de vue de la libération de l'air et en fait, on peut faire empirer les choses.

Il existe deux tests complètement distincts à exécuter sur un échantillon d'huile pour mesurer les propriétés air/huile. Le premier est un test antimoussant dans lequel, en réalité, l'huile est placée dans un mélangeur, puis l'on examine la quantité de mousse se formant à la surface de l'échantillon avant de mesurer le temps que prend la mousse pour s'effondrer. Dans le cas du test de libération de l'air, on mesure le temps que prend la teneur d'air occlus pour tomber à 0,2 %.

Maintenir l'air en dehors de l'huile revient essentiellement à une bonne conception du système et du réservoir. Assurez-vous de ne pas avoir de fuite sur les conduites d'aspiration, contrôlez l'agitation en surface, utilisez un diffuseur divergent sur la conduite d'échappement, utilisez un treillis métallique sur la conduite de retour, qui idéalement doit se trouver à un niveau inférieur à la surface du réservoir, limitez l'importance de la dégradation et de la contamination de l'huile et installez des chicanes au fond du carter. Un délai prolongé de présence dans le carter signifie également que l'air a tout le temps d'être libéré.



Ce bulletin démontre clairement l'un des plus importants principes de la maintenance préventive : une fois l'huile contaminée, cela coûte dix fois plus cher de la nettoyer que d'empêcher les contaminants d'y pénétrer. Si vous pouvez garder votre huile propre et sèche, vous avez la certitude d'avoir de nombreuses années, heures ou kilomètres de fonctionnement sans problème.

Des copies des bulletins techniques antérieurs se trouvent sur le site Web de WearCheck: [www.wearcheck.co.za](http://www.wearcheck.co.za)

## SE RASSEMBLER POUR AIDER LA PLANÈTE

Si vous préférez recevoir les futurs numéros de WearCheck Monitor et du Bulletin technique par courrier électronique au lieu de les recevoir sous leur forme imprimée, veuillez en adresser la demande par courrier électronique à: [support@wearcheck.co.za](mailto:support@wearcheck.co.za). Cette option s'applique également aux rapports imprimés.

**Siège du KwaZulu-Natal**  
9 Le Mans Place,  
Westmead, KZN, 3610  
PO Box 15108,  
Westmead, KZN, 3608  
t +27 (0) 31 700 5460  
f +27 (0) 31 700 5471  
e [support@wearcheck.co.za](mailto:support@wearcheck.co.za)  
w [www.wearcheck.co.za](http://www.wearcheck.co.za)



**Agences**

Johannesburg	+27 (0) 11 392 6322
Le Cap	+27 (0) 21 981 8810
Port Elizabeth	+27 (0) 41 360 1535
East London	+27 (0) 82 290 6684
Rustenburg	+27 (0) 14 597 5706
Middelburg	+27 (0) 13 246 2966
Zambie: Lumwana	+260 (0) 977 622287
Zambie: Kitwe	+260 (0) 212 210161
EAU	+971 (0) 55 221 6671
Inde	+91 (0) 44 4557 5039



Honeywell



SABS ISO 9001

SABS ISO 14001



Les publications peuvent en reproduire des articles ou des extraits à condition de reconnaître la contribution de WearCheck, une division de Torre Industries.