

Contamination Management dans la pratique

Chapitre 2 :
De l'usinage jusqu'à
la livraison

Page 3	1	Définition du "Contamination Management"	Page 25	4.5	Réalisation d'une mesure de propreté sur un banc de rinçage
Page 5	2	Les bases du Contamination Management	Page 26	4.5.1	Détermination de la pollution totale d'un système
Page 5		2.1 Définition des types de contaminations	Page 27	5	Contamination Monitoring
Page 8		2.2 Les conséquences des contaminations particulières dans les systèmes à fluides	Page 28		5.1 Planification
Page 12		2.3 Classification de la contamination particulaire dans des fluides	Page 28		5.2 Réalisation
Page 13		2.3.1 ISO 4405 – „Fluide soumis à pression hydraulique – Contamination des fluides – Détermination de la contamination particulaire au moyen de méthodes gravimétriques“	Page 28		5.3 Examens au niveau de la ligne de fabrication ou de montage
Page 14		2.3.2 ISO 4406:1999	Page 29		5.4 Résultats
Page 15		2.3.3 NAS 1638	Page 31	6	Elaboration d'une spécification de propreté
Page 16		2.3.4 SAE AS 4059	Page 32		6.1 Structure d'une gamme d'extraction
Page 17		2.3.5 Marche à suivre lors de l'analyse des échantillons de fluide selon ISO 4406:1999, NAS 1638 et SAE AS 4059	Page 35	7	Sources de contamination lors de la fabrication ou du montage de systèmes hydrauliques
Page 19	3	Détermination de la quantité de contamination résiduelle sur des composants	Page 35		7.1 Prévention contre l'introduction de polluants lors de la fabrication et du montage de systèmes hydrauliques
Page 19		3.1 Procédé par ultrasons	Page 36		7.2 Elimination de la contamination particulaire au niveau de systèmes hydrauliques (expériences issues de la pratique) et de composants
Page 20		3.2 Procédé par rinçage	Page 36		7.2.1 Installations de nettoyage
Page 20		3.3 Procédé par agitation	Page 40		7.2.2 Contrôle du fonctionnement
Page 21		3.4 Procédés d'exploitation	Page 42		7.3 Stockage, logistique et environnement
Page 23	4	Analyse de la propreté de composants et de systèmes complets sur le banc de rinçage/d'essais	Page 42		7.4 Pièces de sous-traitance et pièces de fabrication interne
Page 23		4.1 Ecoulement turbulent	Page 43	8	Rinçage à la mise en service
Page 24		4.2 Effet dispersant	Page 45	9	Considérations de rentabilité
Page 25		4.3 Balayage de tous les canaux et de toutes les surfaces	Page 47	10	Contamination Management dans la pratique
Page 25		4.4 Régime pulsatoire lors du rinçage	Page 49		Bibliographie

1 Définition du "Contamination Management"

Le "Contamination Management" (gestion de la propreté) porte sur l'analyse et l'optimisation de process sous l'angle de la propreté des composants, des systèmes et des fluides utilisés.

Dans les systèmes hydrauliques modernes – de l'industrie automobile et de ses sous-traitants, de l'industrie hydraulique et du mobile – on utilise aujourd'hui des composants plus petits, plus légers et plus performants que p. ex. 10 ans auparavant. L'utilisation de ces composants augmente également les exigences de propreté du système, comme l'ont montré différentes études par le passé.

Environ 70 à 80 % de toutes les défaillances de systèmes hydrauliques sont imputables à une forte pollution de ces derniers. Ce taux de défaillances ne concerne pas seulement l'industrie hydraulique classique. Dans le secteur automobile, notamment, où l'utilisation de systèmes électro-hydrauliques ne cesse de se développer, le "Contamination Management" est un sujet d'actualité. Le terme "systèmes hydrauliques" ou "systèmes à fluides" est ici utilisé au sens général pour tous les secteurs d'activité (automobile, hydraulique stationnaire ou mobile). Des spécifications de propreté sont actuellement utilisées dans l'industrie automobile pour les systèmes suivants :

- Moteur (alimentation en carburant, alimentation en huile)
- Direction assistée
- Boîte de vitesses automatique/manuelle
- Systèmes à assistance électro-hydraulique (suspension, embrayage, freins, ABS, ESP)
- Centrales hydrauliques

Cette liste qui ne prétend pas être exhaustive, vise uniquement à illustrer les domaines d'application du Contamination Management.

Par le passé, des systèmes hydrauliques ont été équipés d'une filtration système qui permettait de rincer l'ensemble lors de la mise en service, puis de maintenir la propreté du fluide à un niveau constant, p. ex. par l'utilisation de filtres de mise en service avec un premier intervalle de maintenance très court, suivie du passage à la filtration système. Du fait de l'augmentation des exigences imposées aux systèmes hydrauliques (augmentation des intervalles de maintenance et pression croissante des coûts), cette procédure s'avère souvent insuffisante. Sur de gros systèmes de l'industrie hydraulique, des rinçages sont effectués lors de la mise en service afin d'amener rapidement le niveau de contamination à un niveau acceptable.

Sur de petits systèmes hydrauliques produits à un grand nombre d'exemplaires (p. ex. industrie automobile, industrie hydraulique), ceci n'est pas toujours possible. C'est pourquoi le Contamination Management démarre dès le stade de la fabrication des différents composants et englobe l'ensemble de la chaîne de processus jusqu'à la pièce finie.

Dans un souci d'optimisation, on intègre également le bureau d'études et le service développement dans ce processus afin de concevoir les composants de sorte à pouvoir les laver de manière simple et efficace. Lorsque la proportion de pièces de sous-traitance est importante, il est également judicieux d'impliquer les fournisseurs dans le Contamination Management.

L'introduction du Contamination Management dans le but de minimiser la concentration en particules à tous les niveaux, de la production jusqu'au fonctionnement du système complet, permet d'éviter des défaillances dues à une contamination particulière sur les systèmes et donc de réaliser des économies. Ceci peut passer par une réduction des coûts au niveau des outils d'usinage, par un meilleur taux d'exploitation de bancs d'essais et par une utilisation optimisée de machines de lavage.

Il en résulte ainsi les tâches suivantes pour le Contamination Management :

- Développement de systèmes optimisés en vue de les rendre faciles à nettoyer
- Optimisation et surveillance de processus de lavage et de rinçage
- Formation et sensibilisation du personnel
- Localisation et élimination de sources de contaminations
- Elaboration d'instructions d'analyse
- Création de spécifications de propreté pour les pièces élémentaires et les systèmes

Il faut examiner l'ensemble des coûts pour pouvoir illustrer le succès du Contamination Management.

Cet examen des coûts intègre les facteurs suivants :

- Coûts de la garantie et des gestes commerciaux
- Coûts énergétiques
- Coûts de reprise d'usinage
- Coûts des outils sur les machines d'usinage
- Coûts d'exploitation de machines à laver et de bancs d'essais
- Coût du temps de travail...

Dans les chapitres suivants, vous trouverez de plus amples informations sur les principes fondamentaux et les applications du Contamination Management.

Terminologie :

Contamination Management	Gestion de la propreté – Surveillance/optimisation de la propreté de composants et de fluides dans le flux des pièces et le montage de systèmes.
Système à fluides	Systèmes hydrauliques et systèmes remplis de fluides dans l'automobile (p. ex. moteurs, boîtes de vitesses, direction assistée, ABS,...).
Pollution originelle	Quantité de contaminants présente après le montage.
Contamination au rodage	Contamination particulaire induite par le rodage.
Dommages initiaux	Dommages de surface qui sont occasionnés durant le contrôle de fonctionnement/la mise en service ou le montage des systèmes.
Contamination Monitoring	Examen de processus sous l'angle de leur apport en contaminants.
Procédé de mesure en ligne	Procédé de mesure dans lequel l'échantillon à analyser est directement transmis du système à un appareil de mesure, p. ex. un compteur de particules automatique sur une installation hydraulique.
Procédé de mesure off-line	Procédé de mesure dans lequel un échantillon est prélevé dans le système et mesuré à un autre endroit, p. ex. l'analyse en laboratoire d'un prélèvement d'huile.

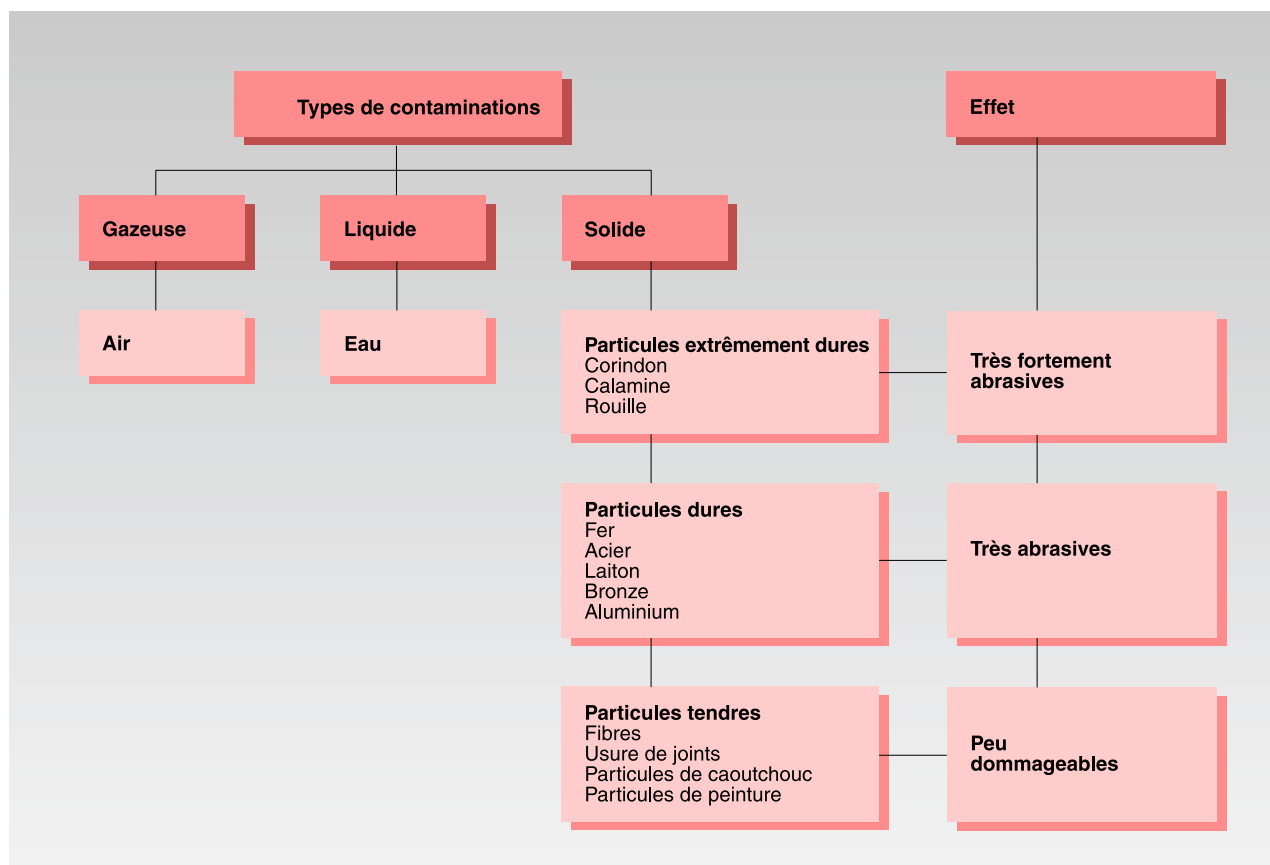
2 Les bases du "Contamination Management"

2.1 Définition des types de contaminations

Dans les systèmes à fluides, on rencontre les types de contaminants les plus variés. Il s'agit ici de gaz (p. ex. de l'air), de liquides (p. ex. de l'eau) et d'impuretés solides.

La figure suivante donne une vue d'ensemble des types de contaminants :

Fig. 1 Types de contaminations



Comme le montre la fig. 1, nous subdivisons les types de contaminations solides en trois sous-groupes de particules : les particules extrêmement dures, dures et tendres. Les particules dures et extrêmement dures peuvent provoquer d'importants dommages dans des systèmes à fluides si elles ne sont pas retirées le plus rapidement possible. Des mesures préventives permettent de réduire la pénétration de contaminants dans les systèmes.

Les particules dures sont souvent indiquées à part dans les spécifications. Des maxima correspondants sont fixés pour les dimensions qu'une telle particule dure peut présenter : p. ex. la plus grande particule abrasive ne doit pas être supérieure à 200 µm ou 200 x 90 µm ou il ne doit pas y avoir de particules > 200 µm.

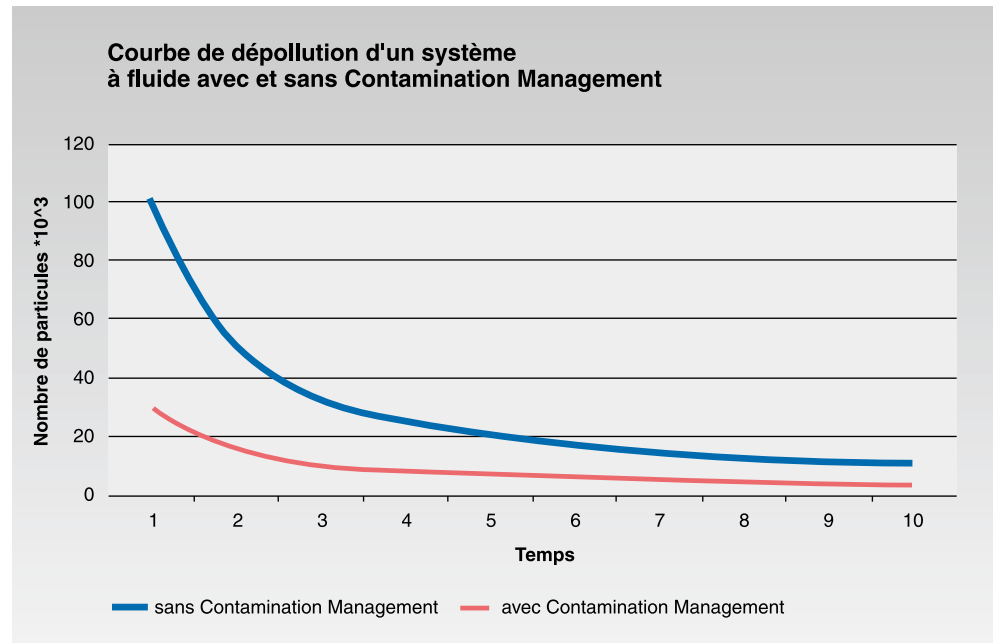
Outre la dureté des particules étrangères, leur nombre et la distribution des tailles jouent également un rôle important dans la fréquence des défauts des systèmes.

Sur les systèmes neufs, la distribution des tailles de particules diffère de celle de systèmes ayant déjà tourné quelques heures.

Sur les systèmes neufs, on trouve une accumulation de contaminants grossiers jusqu'à quelques millimètres de long dont la taille diminue continuellement au fur et à mesure du fonctionnement ou qui sont éliminés par une filtration. Après quelques heures de fonctionnement, les particules sont pour la plupart si petites qu'elles ne sont plus visibles à l'œil nu.

Lors de la mise en service initiale de systèmes à fluides, il se produit en plus une contamination particulière due aux frottements et dans laquelle les crêtes rugueuses sont éliminées au cours du rodage. Le Contamination Management ne peut éviter cet apport de contaminants, mais la contamination de base étant plus faible, le système présente une plus faible usure au démarrage.

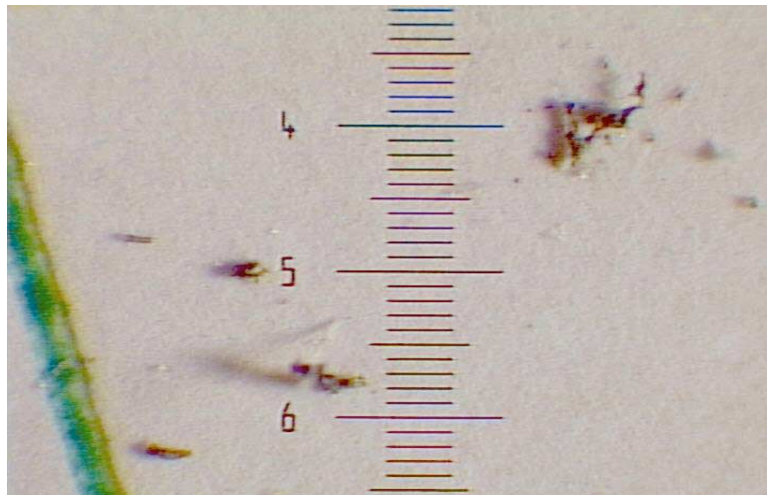
Fig. 2



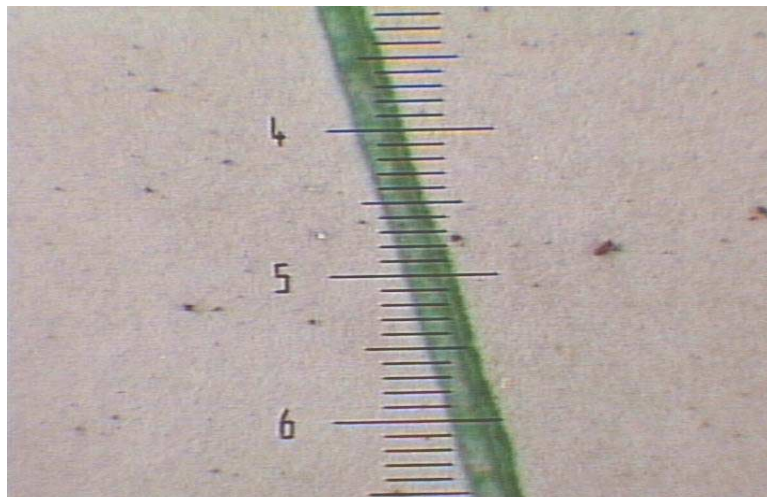
Le diagramme ci-dessus montre que le niveau de polluants sans Contamination Management sur toute la durée de la mise en service du système est supérieur au niveau atteint avec le Contamination Management et donc que l'occurrence de dommages initiaux sur les surfaces est elle aussi supérieure.

Les observations au microscope suivantes montrent des échantillons de particules typiques rencontrés dans des systèmes à fluides.

Fig. 3



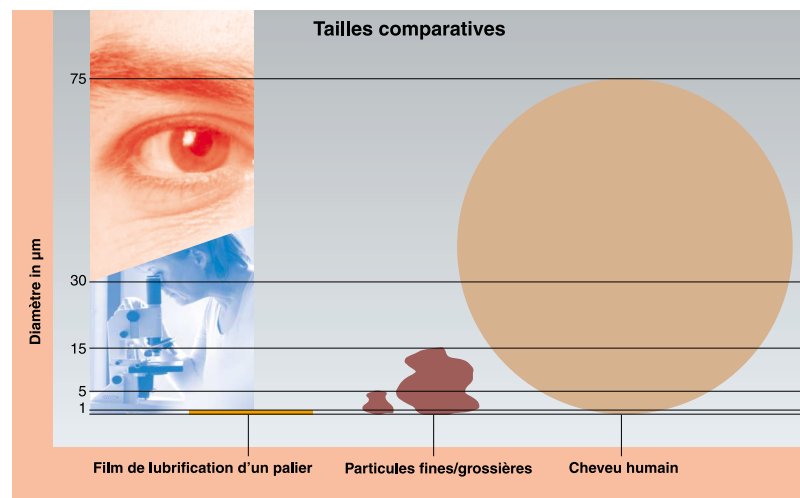
Echantillon avec particules grossières



Echantillon avec particules fines

La limite de discrimination de l'œil humain moyen normal est de l'ordre de $40\ \mu\text{m}$. Les analyses de particules sont effectuées à l'aide d'un microscope ou dans le système à fluides avec des compteurs de particules qui fonctionnent selon le principe de l'occultation de la lumière (voir chapitre 2.3.5).

Fig. 4



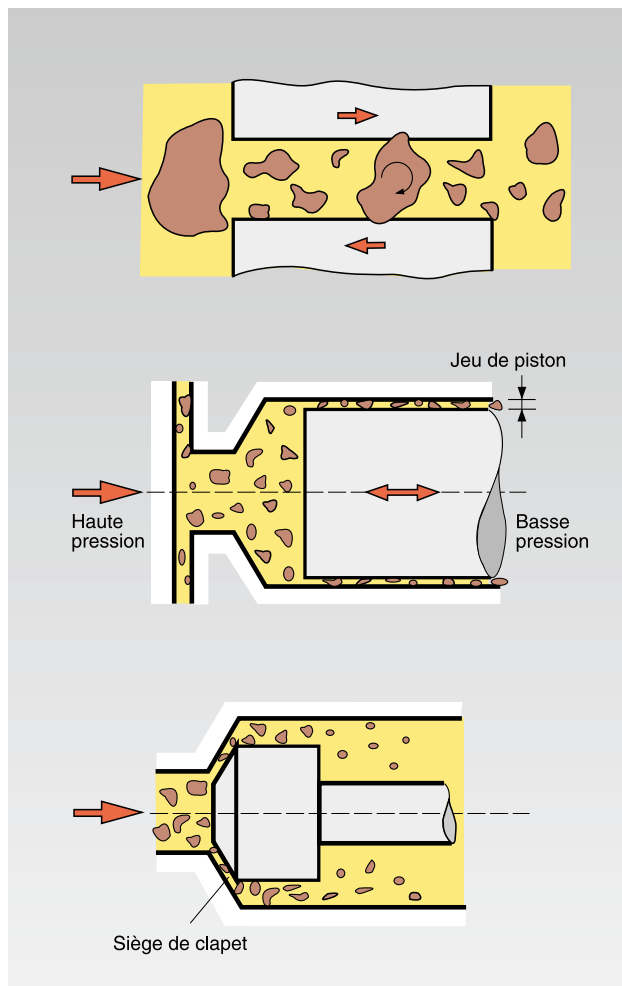
2.2 Les conséquences des contaminations particulaires dans les systèmes à fluides

La contamination particulaire qui circule dans les systèmes à fluides provoque des dommages de surface par le biais des mécanismes d'usure bien connus (abrasion, érosion, usure surfacique liée à la fatigue).

Cette usure forme des particules en nombre toujours croissant, et l'usure augmente si l'on ne stoppe pas la "réaction en chaîne de l'usure" par des mesures appropriées (réduction de la contamination). Les interstices croissent, les débits de fuite augmentent et le rendement (p. ex. de pompes) diminue. Les arêtes de commande s'usent, ce qui entraîne des imprécisions au niveau de la régulation. On peut aussi avoir parfois un blocage de canaux de pilotage ou d'alésages de buses.

Durant le fonctionnement normal de systèmes hydrauliques, des systèmes de filtration conçus en conséquence doivent interrompre la réaction en chaîne de l'usure. C'est toutefois pour l'utilisateur une sécurité trompeuse, car des contaminants très dommageables sont introduits, et ce depuis le stade du montage des composants jusqu'à l'installation en passant par le montage de l'ensemble du système. Cette contamination supplémentaire peut provoquer des dommages préalables allant jusqu'à la défaillance précoce de composants système.

Fig. 5 Exemples d'usure sur des surfaces mobiles



Les concepts de filtration système ne sont généralement pas conçus pour maîtriser de grosses quantités de contaminants telles que celles produites lors

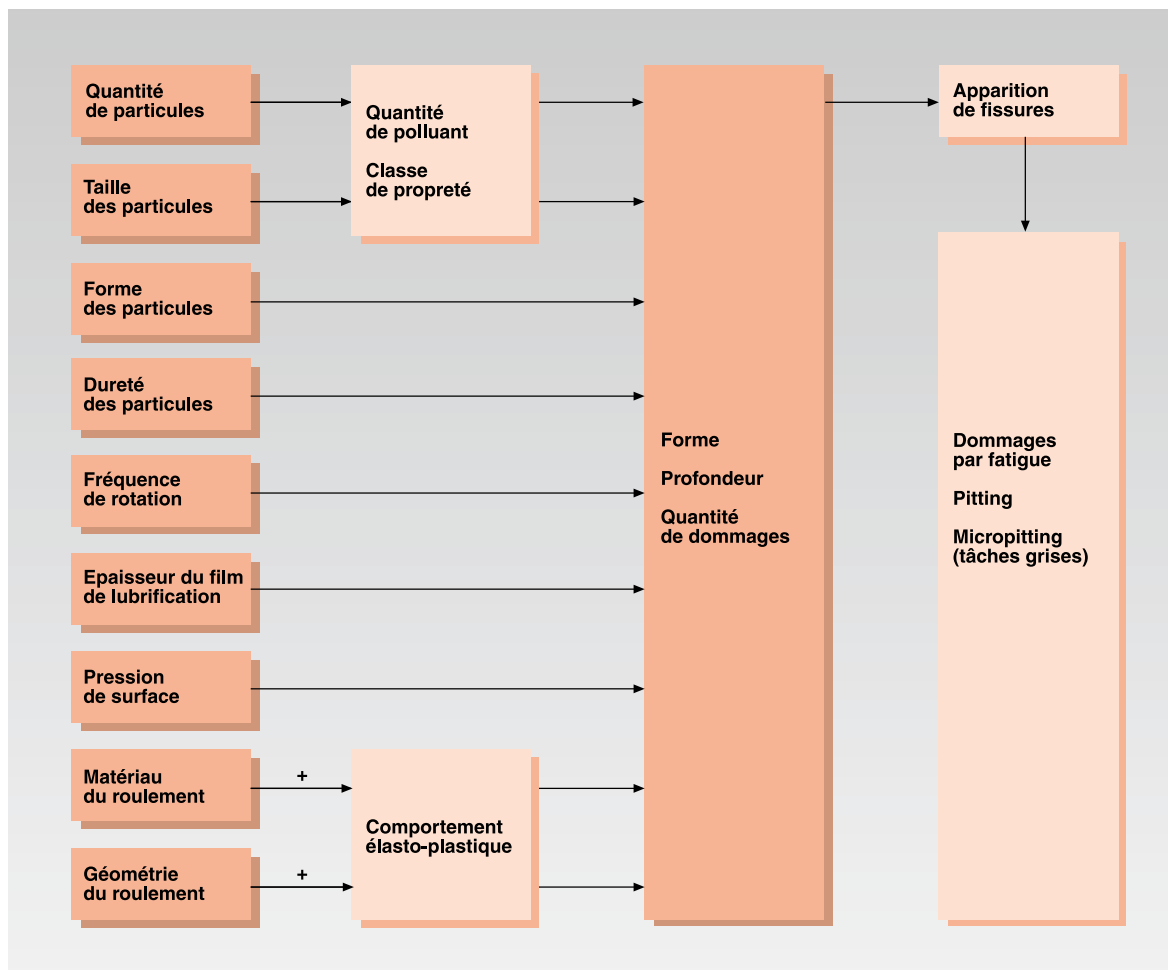
- de l'usinage de composants,
- du montage de systèmes,
- du remplissage de systèmes,
- de la mise en service initiale,
- de la réparation de systèmes.

Une étude de l'université de Hannover décrit comme suit les grandeurs qui ont une influence sur la résistance à la fatigue et la longévité de roulements :

„La quantité et la taille des particules décrivent la quantité de contaminants dans le lubrifiant. La dureté et la géométrie des particules définissent la forme et la profondeur des dommages sur les voies de roulement, la profondeur étant en outre influencée par le comportement élasto-plastique du matériau. Le nombre de dommages est défini par la quantité des particules dans l'interstice de lubrification et par la fréquence de rotation. Partant d'un dommage, les rotations suivantes entraînent des fissures qui provoquent un endommagement par fatigue (pittings ou criques) des roulements (défaillance du roulement).“

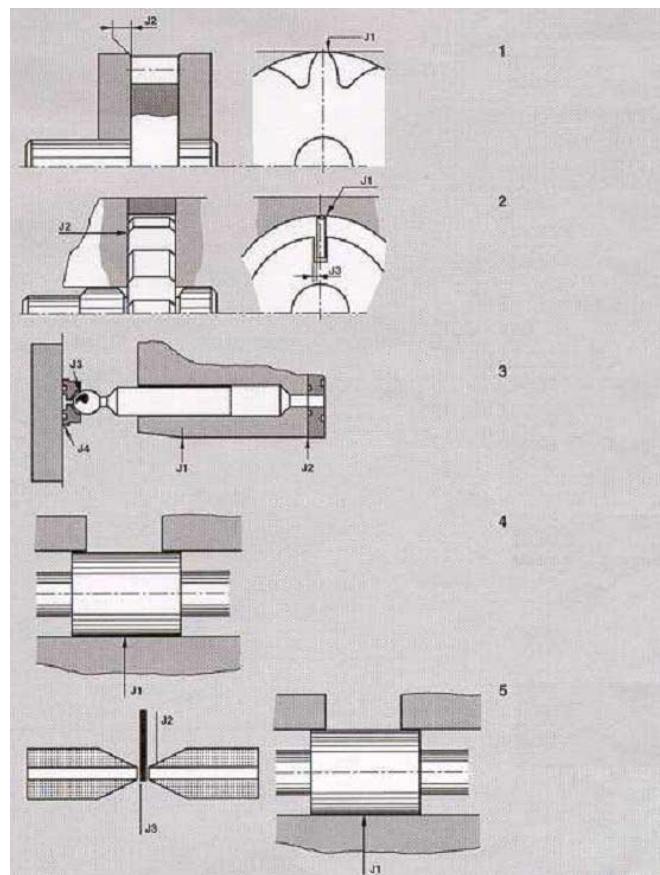
La pratique a montré que les roulements à billes avec contact ponctuel sont généralement moins sensibles à la contamination particulaire que les roulements avec contact linéaire. Les paliers lisses avec grands interstices de lubrification sont les moins sensibles à la contamination particulaire.

Fig. 6
Grandeurs influençant la longévité des roulements (1)



Le tableau suivant donne une vue d'ensemble des tailles d'interstices courantes :

Fig. 7



Pièce	Jeu critique typique [µm]
Pompe à engrenages (J1, J2)	0,5 – 5
Pompe à palettes (J1)	0,5 – 5
Pompe à pistons (J2)	0,5 – 1
Valve de régulation (J1)	5 – 25
Servo-vanne (J1)	5 – 8

Des études approfondies sur la répartition des particules sur les composants et dans les systèmes hydrauliques ont montré qu'au début de la durée de vie d'un système, c'est-à-dire lors de l'assemblage et de la mise en service, les particules sont plus grosses que durant le fonctionnement.

Ces grosses particules – en partie jusqu'à quelques millimètres – peuvent provoquer des défaillances spontanées :

- le blocage d'une valve,
- de graves dommages préalables sur des pompes,
- la destruction de joints, entraînant l'apparition de fuites.

Un système de "Contamination Management actif" permet de réduire ce taux et, par conséquent, de minimiser les coûts correspondants, tels que :

- Coûts d'arrêts de production
- Coûts des retards lors de la mise en service de systèmes
- Coûts dus à des temps de test rallongés, car un cycle de rinçage est nécessaire pour éliminer la contamination résiduelle
- Coûts de garantie
- Coûts de reprise d'usinage

Fig. 8
Détérioration d'une bande
de roulement à billes par une
contamination particulaire.



Fig. 9
Intégration d'un copeau dans la
surface d'un palier lisse.



Ici, le Contamination Management intervient comme suit :

Sur les systèmes neufs, tous les composants élémentaires sont amenés avant assemblage à un même niveau de propreté, de même le liquide de remplissage ainsi que le fluide de service du système sont maintenus à un niveau défini (voir Contamination Monitoring, chapitre 5 et suivants).

2.3 Classification de la contamination particulaire dans des fluides

L'objectif de la procédure décrite ci-après est de permettre une classification reproductible de la contamination particulaire dans les fluides.

On connaît actuellement 4 procédés de classification de la contamination particulaire dans les fluides.

Norme	ISO 4405	ISO 4406:1999	NAS 1638	SAE AS 4059
Domaine d'application	Fluides très fortement contaminés, p. ex. fluides de lavage ou d'usinage	Fluides hydrauliques, huiles de lubrification	Fluides hydrauliques, huiles de lubrification	Fluides hydrauliques, huiles de lubrification
Paramètres	[mg/litre de fluide]	Nombre de particules > 4 µm (c) > 6 µm (c) > 14 µm (c)	Nombre de particules 5 – 15 µm 15 – 25 µm 25 – 50 µm 50 – 100 µm > 100 µm	Nombre de particules > 4 µm (c) > 6 µm (c) > 14 µm (c) > 21 µm (c) > 38 µm (c) > 70 µm (c)
Méthodes d'analyse	Dans le cas de cette méthode de laboratoire, on filtre 1 litre de liquide à analyser sur une membrane préparée, puis on pèse la membrane	1. Evaluation manuelle : On filtre le fluide à analyser à travers une membrane, et on évalue la classe de propreté correspondante ou on compte les particules manuellement en utilisant un microscope. 2. Comptage automatique : Le fluide à analyser est véhiculé à travers un compteur de particules calibrés qui compte les différentes fractions de particules.		
Remarques	Méthode longue	1. Evaluation manuelle : Méthode très longue, pas très exacte. 2. Comptage automatique des particules : Résultat très rapidement disponible.		

Les différentes normes sont décrites de manière plus détaillée dans la suite du texte.

2.3.1 ISO 4405 – „Fluides hydrauliques – Contamination des fluides – Détermination de la contamination particulaire au moyen de méthodes gravimétriques“

Cette norme internationale décrit la méthode gravimétrique utilisée pour la détermination de la contamination particulaire de fluides hydrauliques.

Principe de base :

Un volume de liquide connu est filtré sous dépression à travers une ou deux membranes filtrantes, et on mesure la différence de masses des membranes filtrantes (avant et après la filtration). La deuxième membrane est utilisée pour évaluer la précision.

Pour déterminer la contamination gravimétrique du fluide, il faut prélever un échantillon représentatif dans le système. La norme ISO 4405 décrit la procédure de nettoyage des appareils à utiliser. Elle décrit également le procédé de préparation pour les membranes d'analyse.

Avant utilisation, la membrane est rincée à l'isopropanol, séchée à l'étuve jusqu'à ce que sa masse reste constante, puis refroidie dans un environnement sec défini. Le refroidissement dans un environnement sec défini est important, sinon la membrane absorbe l'humidité ambiante, ce qui fausse le résultat final.

Fig. 10



La membrane est ensuite pesée, et on note cette valeur en tant que $m(T)$.

On fixe maintenant la membrane dans le support prévu, et on filtre le fluide à contrôler. Afin de rincer l'ensemble de la contamination sur la membrane, cette dernière est ensuite rincée avec un solvant filtré. Lors de l'analyse de fluides contenant de l'huile, il est important d'éliminer totalement l'huile résiduelle au niveau de la membrane.

Après cette opération, la membrane est à nouveau séchée, refroidie et pesée (comme décrit auparavant). Cette valeur de mesure est alors notée en tant que $m(E)$.

La contamination gravimétrique se calcule comme suit :

$$M(G) = m(E) - m(T)$$

2.3.2 ISO 4406:1999

Dans le cas de la norme ISO 4406, les quantités de particules sont déterminées de manière cumulative, c'est-à-dire > 4 µm (c), > 6 µm (c) et > 14 µm (c) (manuellement par filtration du fluide à travers une membrane d'analyse ou de manière automatique avec compteurs de particules) et classées par indices.

Le but de cette affectation d'indices pour les nombres de particules est de simplifier l'évaluation de la pureté des fluides.

En 1999, "l'ancienne" ISO 4406 a été remaniée, et les plages de taille des particules à évaluer ont été redéfinies. De plus, le procédé de comptage et le calibrage ont été modifiés.

Dans la pratique, le point important pour l'utilisateur est le suivant :

Même si les plages de tailles des particules à évaluer ont été modifiées, le code de propreté ne changera que dans des cas isolés. Lors de l'élaboration de la "nouvelle" ISO 4406, une attention particulière a été apportée au fait qu'il ne fallait pas modifier toutes les prescriptions existantes en matière de propreté des systèmes. (Bibliographie : © HYDAC, „Technique de filtration des fluides, nouvelle poussière de test, nouveau calibrage, nouvelles méthodes de filtration – Répercussions dans la pratique“).

1.300–2.500 particules > 4 µm (c)
160– 320 particules > 6 µm (c)
10– 20 particules > 14 µm (c)

Récapitulatif des modifications :

	“ancienne” ISO 4406:1987	“nouvelle” ISO 4406:1999	
Plages de taille	> 5 µm, > 15 µm	> 4 µm (c) > 6 µm (c) > 14 µm (c)	
Dimension déterminée	Extension longitudinale maximale d'une particule	Diamètre du cercle équivalent ISO 11171:1999	
Poussières de test	poussière ACFTD	1-10 µm fraction ultrafine	ISO 12103-1A2
		SAE Fine, AC-Fine	ISO 12103-1A3
		SAE 5-80 µm ISO MTD poussières de calibrage pour compteurs de particules	ISO 12103-1A4
		SAE Corse fraction grossière	ISO 12103-1A4
Plages de tailles comparables	ancien calibrage ACFTD	poussières ACFTD comparables	Nouveau calibrage NIST
		< 1 µm 4,3 µm 15,5 µm	4 µm (c) 6 µm (c) 14 µm (c)

Affectation des nombres de particules aux classes de propreté :

Nombre de particules par ml		Classe de propreté
Plus de	Jusqu'à	
2.500.000	> 28	
1.300.000	2.500.000	28
640.000	1.300.000	27
320.000	640.000	26
160.000	320.000	25
80.000	160.000	24
40.000	80.000	23
20.000	40.000	22
10.000	20.000	21
5.000	10.000	20
2.500	5.000	19
1.300	2.500	18
640	1.300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8

La reproductibilité des résultats inférieurs à la classe de propreté 8 dépend de la concentration des particules dans l'échantillon analysé.

Si le nombre de particules comptées dans l'échantillon est inférieur à 20, le résultat doit être repéré par le symbole ≥.

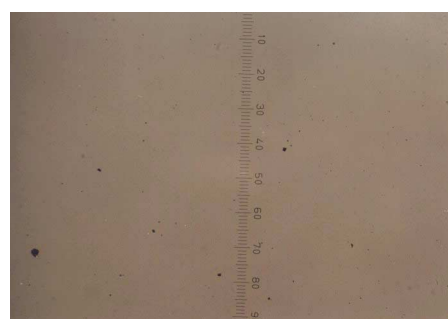
On notera qu'une augmentation de 1 de l'indice correspond à un doublement du nombre de particules.

Exemple :
la classe ISO 18 / 15 / 11 signifie que l'on trouve

1.300 – 2.500 particules > 4 µm (c)
160 – 320 particules > 6 µm (c)
10 – 20 particules > 14 µm (c)

dans 1 ml d'échantillon analysé.

Fig. 11
Observation microscopique d'un échantillon d'huile (100 ml)
Grossissement x 100
(ISO 18 / 15 / 11)



2.3.3 NAS 1638

Comme la norme ISO 4406, la NAS 1638 décrit la concentration de particules dans des fluides.

Il est possible d'utiliser les mêmes procédés d'analyse que pour la norme ISO 4406:1987.

Contrairement à la norme ISO 4406, la NAS 1638 procède par comptage de certaines plages de tailles de particules et leur affectent un indice donné.

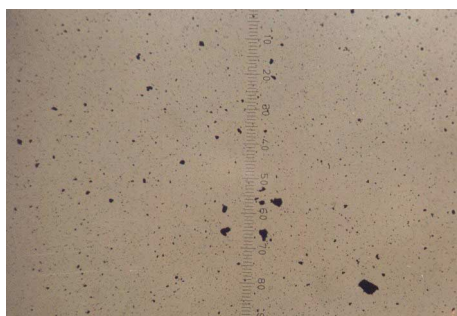
Dans le tableau suivant, les classes de propreté sont représentées en fonction de la concentration en particules déterminée.

Classe de propreté	Taille des particules [μm]				
	5-15	15-25	25-50	50-100	>100
	Nombre de particules dans 100 ml d'échantillon				
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1.000	178	32	6	1
3	2.000	356	63	11	2
4	4.000	712	126	22	4
5	8.000	1.425	253	45	8
6	16.000	1.850	506	90	16
7	32.000	5.700	1.012	180	32
8	64.000	11.600	2.025	360	64
9	128.000	22.800	4.050	720	128
10	256.000	45.600	8.100	1.440	256
11	512.000	91.200	16.200	2.880	512
12	1.024.000	182.400	32.400	5.760	1.024

On notera qu'une augmentation de 1 de la classe correspond en moyenne à un doublement du nombre de particules.

Les nombres de particules de la classe 10 figurent en gras dans le tableau ci-dessus.

Fig. 12
Observation microscopique d'un échantillon d'huile (100 ml)
Grossissement x 100 (NAS 10)



2.3.4 SAE AS 4059

Comme les normes ISO 4406 et NAS 1638, la norme SAE AS 4059 décrit la concentration de particules dans des fluides. Il est possible d'utiliser les mêmes procédés d'analyse que pour les normes ISO 4406:1999 et NAS 1638.

Les classes de propreté SAE sont basées sur la taille, le nombre et la répartition des tailles des particules. Comme la détermination de la taille des particules dépend du procédé de mesure et du calibrage, les tailles de particules sont identifiées par des lettres (A – F).

Dans le tableau suivant, les classes de propreté sont représentées en fonction de la concentration en particules déterminée.

Les classes de propreté selon SAE peuvent être représentées comme suit :

1. Nombre absolu de particules supérieur à une taille de particules définie

Exemple :

Classe de propreté selon AS 4059:6

Le nombre maximal admissible de particules dans les différentes plages de tailles est indiqué en gras dans le tableau.

Classe de propreté selon AS 4059:6 B

Les particules de taille B ne doivent pas dépasser le nombre maxi décrit dans la classe 6.

6 B = max. 19.500 particules de taille 5 µm ou 6 µm (c)

Concentration maximale en particules [particules/100 ml]

Taille ISO 4402 Calibrage ou comptage optique*	> 1 µm	> 5 µm	> 15 µm	> 25 µm	> 50 µm	> 100 µm
Taille ISO 11171, calibrage ou microscope électronique**	> 4 µm (c)	> 6 µm (c)	> 14 µm (c)	> 21 µm (c)	> 38 µm (c)	> 70 µm (c)
Codification de la taille	A	B	C	D	E	F
000	195	76	14	3	1	0
00	390	152	27	5	1	0
0	780	304	54	10	2	0
1	1.560	609	109	20	4	1
2	3.120	1.220	217	39	7	1
3	6.250	2.430	432	76	13	2
4	12.500	4.860	864	152	26	4
5	25.000	9.730	1.730	306	53	8
6	50.000	19.500	3.460	612	106	16
7	100.000	38.900	6.920	1.220	212	32
8	200.000	77.900	13.900	2.450	424	64
9	400.000	156.000	27.700	4.900	848	128
10	800.000	311.000	55.400	9.800	1.700	256
11	1.600.000	623.000	111.000	19.600	3.390	1.020
12	3.200.000	1.250.000	222.000	39.200	6.780	

** Tailles des particules déterminées d'après le diamètre du cercle équivalent projeté.

* Tailles des particules mesurées d'après leur plus grande longueur.

2. Définition d'une classe de propreté pour chaque taille de particules

Exemple :

Classe de propreté selon AS 4059:
7 B / 6 C / 5 D

Taille B (5 µm ou 6 µm (c)):

38.900 particules / 100 ml

Taille C (15 µm ou 14 µm (c)):

3.460 particules / 100 ml

Taille D (25 µm ou 21 µm (c)):

306 particules / 100 ml

3. Indication de la classe de pureté maximale mesurée

Exemple :

Classe de propreté selon AS 4059:6 B – F

L'indication 6 B – F nécessite un comptage des particules dans les plages de taille B – F. Dans toutes ces plages, la concentration respective en particules ne doit pas dépasser celles de la classe de propreté 6.

2.3.5 Marche à suivre lors de l'analyse des échantillons de fluide selon ISO 4406:1999, NAS 1638 et SAE AS 4059

Un échantillon représentatif du fluide à analyser est prélevé et examiné comme suit.

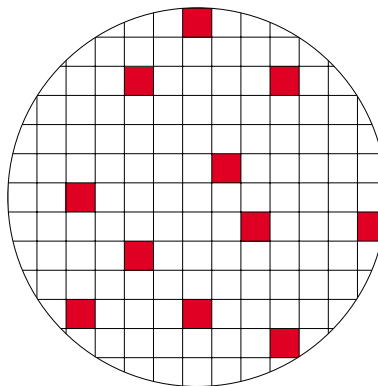
1. Procédure manuelle selon ISO 4407 (Hydraulic fluid power – Fluid contamination – Determination of particulate contamination by the counting method using a microscope).

La norme ISO 4407 décrit le procédé de comptage microscopique pour des membranes. A cet effet, on filtre 100 ml de l'échantillon à analyser à travers une membrane d'analyse avec une taille de pores moyenne < 1 µm et des champs repérés. Elle décrit également la procédure de rinçage et le nombre maximal de particules de la réalisation du blanc.

Après le séchage de la membrane d'analyse, le comptage s'effectue sur 10, 20 ou 50 champs en fonction de la taille des particules à compter. On additionne ensuite les valeurs avant d'extrapoler le résultat pour le diamètre de la membrane.

Etant donné que le comptage selon ISO 4407 s'effectue sur la base de la plus grande dimension de la particule, alors que, dans le cas de la "nouvelle" norme ISO 4406:1999, c'est le diamètre du cercle équivalent qui est retenu, le comptage manuel des particules s'effectue sur la base des „anciens“ seuils > 5 µm et > 15 µm. Comme décrit précédemment, les indices obtenus par ce comptage correspondent aux indices de la "nouvelle" évaluation.

Fig. 13

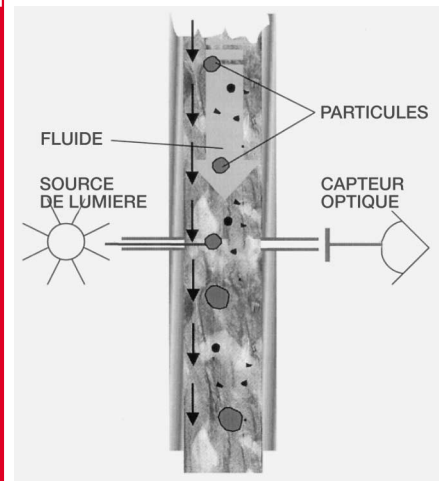


Cette méthode de comptage n'est utilisable que pour des échantillons très propres. Les classes de propreté sont généralement estimées à partir de photos étalon ou d'un comptage automatique des particules dans les échantillons.

2. Comptage automatique des particules

Le principe de fonctionnement des compteurs de particules courants et qui fonctionnent selon le procédé d'occultation de la lumière est décrit ci-après. Le schéma suivant présente de manière simplifiée le principe de mesure d'occultation de la lumière. La source de lumière envoie la lumière (généralement monochromatique) vers un capteur optique qui émet un signal électrique défini. Lorsqu'une particule (en noir) passe entre la source de lumière et le photodétecteur, une ombre se forme sur la diode photosensible. Cette ombre modifie le signal électrique envoyé par le capteur. A partir de cette variation, il est possible de déterminer la taille de l'ombre projetée par cette particule et donc de déterminer la taille de la particule.

Fig. 14



Ce procédé convient parfaitement pour la détermination des classes de propreté selon ISO 4406:1987, ISO 4406:1999, NAS 1638 et SAE AS 4059.

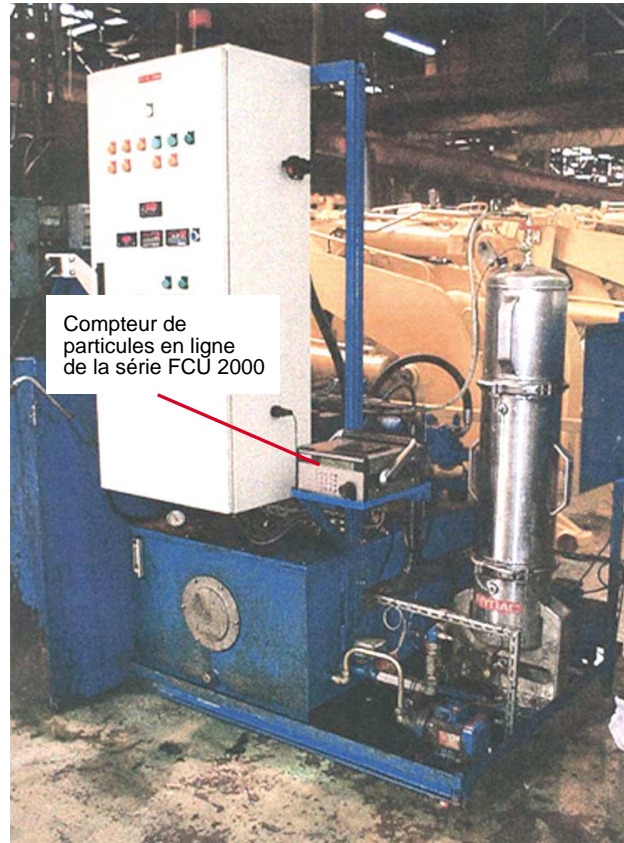
Les facteurs perturbateurs de ce procédé de mesure sont la présence de fluides étrangers et de petites bulles de gaz qui interrompent le faisceau lumineux et sont également comptées comme étant des particules.

Un compteur de particules doit être calibré selon ISO 11943 (pour ISO 4406:1999).

Le comptage automatique des particules est utilisé dans les cas suivants :

Procédé en ligne, dans lequel l'échantillon est directement prélevé dans le système et transmis au compteur de particules ou dans lequel le capteur est directement intégré dans l'installation.

Fig. 15



Compteur de particules en ligne de la série FCU 2000

Ou pour le procédé offline, dans lequel l'échantillon est rempli dans un flacon d'où le fluide est amené ensuite à travers un compteur de particules.

Fig. 16



Compteur de particules de laboratoire avec unité de remplissage

BSU8000 avec FCU 8000

3 Détermination de la cote propreté sur des composants

La détermination de quantités résiduelles de contaminants sur des composants s'effectue sur la base de considérations quantitatives et qualitatives.

Facteurs

- quantitatifs :
- mg/composant
 - mg/unité de surface (surface mouillée d'huile ou solvant)
 - mg/kg de composant nombre de particules > x μm /composant
 - Nombre de particules > x μm /unité de surface (surface mouillée d'huile ou de solvant)

Facteurs

- qualitatifs :
- Longueurs des plus grandes particules (évaluation dure/tendre)

Les composants avec des surfaces faciles d'accès sont des composants sur lesquels généralement seule la surface extérieure est intéressante pour la détermination de la contamination résiduelle. Il existe toutefois des exceptions dans cette catégorie, p. ex. les carters de réducteurs ou de pompes. Sur ces composants, c'est la surface intérieure qui est intéressante. Ces surfaces étant généralement facilement accessibles, ces composants font partie du groupe 1.

Les composants sur lesquels on examine les surfaces intérieures ou les modules pré-assemblés font partie du groupe 2. Les procédés d'analyse correspondants sont décrits au chapitre 4.

Il existe deux méthodes connues utilisables pour la détermination de la contamination résiduelle de composants du groupe 1 :

3.1 Procédé par ultrasons

Dans le cas du procédé par ultrasons, les composants à examiner sont placés dans une cuve à ultrasons et nettoyés pendant un temps défini, avec des valeurs définies de densité d'ondes et de température du bain.

La contamination particulaire est détachée par l'apport d'énergie, puis éliminée du composant par le biais du rinçage avec un liquide adapté.

La dispersion ainsi obtenue de particules dans le liquide de rinçage est analysée selon des méthodes définies (voir chapitre 3.4).

Il convient de noter que la densité d'énergie des ultrasons ainsi que la durée d'exposition aux ultrasons de l'échantillon doivent être indiquées avec le résultat.

Le procédé par ultrasons convient particulièrement bien pour de petites pièces et pour des composants sur lesquels il faut examiner toutes les surfaces.

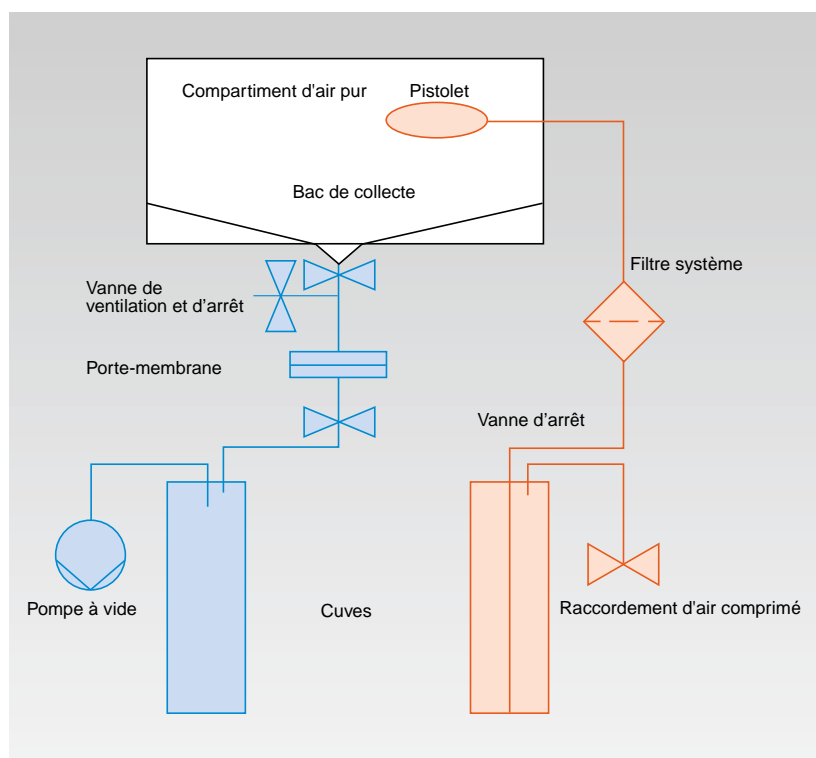
Il conviendrait, dans la mesure du possible, de ne pas traiter ainsi les pièces en fonte et les élastomères, car il existe un risque que le carbone contenu dans la fonte se détache et fausse l'analyse.

Ces effets doivent être contrôlés avant de procéder à une analyse aux ultrasons.

3.2 Procédé par rinçage

Les composants présentant des surfaces facilement accessibles ou ceux sur lesquels on ne doit contrôler que des surfaces partielles seront examinés selon le procédé par rinçage. La surface à analyser est alors rincée dans un environnement de propreté définie en utilisant un liquide d'analyse présentant lui aussi une propreté définie. Avant l'analyse, on réalise un "blanc" en rinçant toutes les surfaces environnantes, p. ex. celles du bac collecteur, ce "blanc" étant retenu comme valeur de contamination de base de l'appareillage d'analyse. Le liquide de rinçage est ensuite analysé selon les méthodes définies.

Fig. 17



Les zones repérées en ROUGE sont les zones de rinçage, et celles en BLEU sont les zones d'analyse. En réalité, les deux circuits sont activés par le biais de vannes appropriées de sorte à pouvoir basculer d'un réservoir à l'autre. La figure présente un schéma simplifié.

Le liquide d'analyse est soumis à une pression de 4-6 bar et véhiculé dans le compartiment d'analyse via le filtre système et le pistolet. Le filtre système est défini de manière à ce que le liquide de rinçage soit projeté avec une propreté définie sur la surface à contrôler. Le liquide chargé de particules est récupéré dans le bac collecteur et filtré sous vide à travers une membrane d'analyse. La membrane est ensuite analysée selon les méthodes décrites ci-après.

3.3 Procédé par agitations

Ce procédé est très rarement utilisé, car il est très difficile à reproduire manuellement. La reproductibilité n'est garantie qu'en cas d'utilisation de dispositifs d'agitation automatiques tels que ceux utilisés dans les laboratoires de chimie. Les pièces à examiner sont des pièces obturables (p. ex. des conduites ou des réservoirs) dont on veut analyser les surfaces intérieures. Il est important que les particules situées à l'intérieur du composant soient rincées après la phase de vibration.

Le tableau suivant présente un comparatif entre les différentes méthodes d'analyse de composants élémentaires ou de modules.

	Méthode de rinçage	Ultrasons
Réalisation	Les composants sont rincés par le liquide d'analyse dans un environnement de propreté définie.	Les composants sont exposés aux ultrasons dans une cuve à ultrasons, puis rincés avec le liquide d'analyse.
Application	Composants sur lesquels il faut analyser des surfaces partielles et composants dont la surface est susceptible d'être endommagée par les ultrasons. Composants de conception simple avec surfaces aisément accessibles.	Petits composants et composants sur lesquels il faut analyser toutes les surfaces (la taille des composants dépend de la cuve à ultrasons).
+	Analyse rapide	Reproductibilité
-	Reproductibilité Norme en préparation	Analyse lente L'énergie agit sur la surface. Il faut rincer la surface. Pas de norme en vigueur

3.4 Procédés d'analyse

L'analyse des liquides de rinçage chargés de particules peut s'effectuer sur la base de différents critères. Dans le cas de composants très fortement contaminés, la meilleure méthode est celle de

"l'analyse gravimétrique", tandis que pour des composants très propres, on optera plutôt pour un comptage des particules dans différentes plages de tailles.

Le tableau suivant décrit les différents procédés d'analyse :

	Procédés manuels		Procédés automatiques	
	Gravimétrie [mg/m ²]	Comptage de particules sur la membrane d'analyse [nb de p. > x µm/m ²]*	Comptage de particules sur la membrane d'analyse [nb de p. > x µm/m ²]*	Comptage de particules dans le liquide [nb de p. > x µm/m ²]*
Réalisation	Le liquide chargé de particules est filtré sur une membrane d'analyse préparée.			Les particules présentes dans le liquide sont comptées à l'aide d'un compteur de particules automatique.
	La membrane d'analyse est pesée avant et après l'analyse, et la gravimétrie est calculée à partir de la différence entre les valeurs mesurées.	Le nombre de particules dans les différentes plages de taille est estimé ou compté. < 100 µm : estimation > 100 µm : comptage	La membrane d'analyse est placée sous un microscope et évaluée à l'aide d'un logiciel. Ce dernier mesure les contrastes clair/sombre sur la membrane et les interprète comme autant de particules.	
Application	Echantillons fortement contaminés > 10 mg	Echantillons à forte proportion de contamination grossière. Souvent combinée avec l'analyse gravimétrique.	Echantillons avec faible proportion de contamination < 5 mg	Méthode préférée pour les échantillons très propres. En cas de forte contamination, il faut diluer l'échantillon pour permettre son comptage.
Norme	ISO 4405	ISO 4407		ISO 11500
Avantages du procédé	Possibilité d'analyser en plus les types de matériaux. Vue d'ensemble rapide des plus grosses particules. La présence d'air ou de liquides étrangers ne perturbe pas la mesure (tant que ceux-ci ne provoquent pas de dépôts sur la membrane). Utilisable pour de grosses quantités de particules			Analyse rapide, possibilité d'intégration dans le processus en tant que procédé en ligne, possibilité de détection de petites quantités de particules. Plage de mesure sélectionnable (2-400 µm). Procédé de mesure précis.
Inconvénients du procédé	Dure longtemps (au moins 1 heure) Procédé de laboratoire	Dure longtemps le nombre de particules < 100 µm est estimé Procédé de laboratoire	Selon la précision de l'analyse, ce procédé dure très longtemps. Les particules claires ne sont pas interprétées. Le contraste clair/foncé est généralement sélectionné manuellement. Le diamètre du cercle équivalent est mesuré (=> le résultat n'est pas identique à l'aspect visuel).	L'échantillon doit être préparé (et dilué le cas échéant). En règle générale, il s'agit d'une méthode statistique offrant une précision suffisante.
Domaine d'application	Procédé de laboratoire Utilisé comme contrôle de procédés de mesure indirects (p. ex. contrôle de processus offline sur bancs d'essais).		Procédé de laboratoire	Procédé de contrôle de processus en ligne lors de la fabrication et du montage. Egalement utilisable en laboratoire.

* Egalement possible : nombre de particules / kg de composant (nb. de p. = nombre de particules)

Le tableau suivant décrit les domaines d'application des procédés d'analyse et d'évaluation :

Evaluation Méthode d'analyses		Gravimétrie		Comptage de particules		
		Rinçage	Ultrasons	Rinçage	Ultrasons	Contrôle de fonctionnement*
Composants simples	p. ex. surfaces faciles d'accès pignons	U	U	U	U	NU
Composants	p. ex. surfaces intérieures conduites, réservoirs	U	U	U	NU	USR**
Composants complexes	p. ex. composants avec divers alésages ou canaux plaques de commande	USR**	NU	USR**	NU	U
Systèmes simples	p. ex. lorsqu'il faut analyser la surface capteurs immergés	U	U	U	U	NU
Systèmes	p. ex. surfaces intérieures rampes de systèmes common rail	USR**	NU	USR**	NU	U
Systèmes complexes	p. ex. vannes, pompes	USR**	NU	USR**	NU	U

U = utilisable

USR = utilisable sous réserve

NU = non utilisable

* = chapitre 4 "Analyse de la propreté de systèmes complets sur le banc d'essai de rinçage".

** = Il faut garantir que les particules détachées peuvent être rincées de la surface ou de l'intérieur du composant.

4 Analyse de la propreté de composants et de systèmes complets sur le banc de rinçage

La propreté de composants et de systèmes passant par un banc de rinçage ou un banc d'essais peut, dans certains cas, être déterminée sur la base de la propreté du liquide de contrôle. Des examens manuels sont généralement effectués auparavant pour valider cette méthode d'analyse indirecte.

On peut ainsi par exemple rincer manuellement des flexibles et analyser les résultats selon les méthodes présentées au chapitre 3. Parallèlement, on détermine sur le banc d'essai la propreté du fluide de contrôle sur la ligne retour, c'est-à-dire en aval du composant.

Si l'on constate ici une corrélation entre la valeur manuelle et la valeur automatique (indirecte), l'analyse de la valeur indirecte pourra être utilisée à l'avenir comme référence de qualité.

Le banc de rinçage/d'essais pour l'analyse de la contamination résiduelle de systèmes doit présenter les caractéristiques suivantes :

1. Le rinçage doit s'effectuer autant que possible avec un écoulement turbulent.
2. Le fluide utilisé doit présenter un effet dispersant.
3. Tous les canaux et toutes les surfaces doivent être balayés.
4. Des pulsations lors du rinçage augmentent son efficacité.

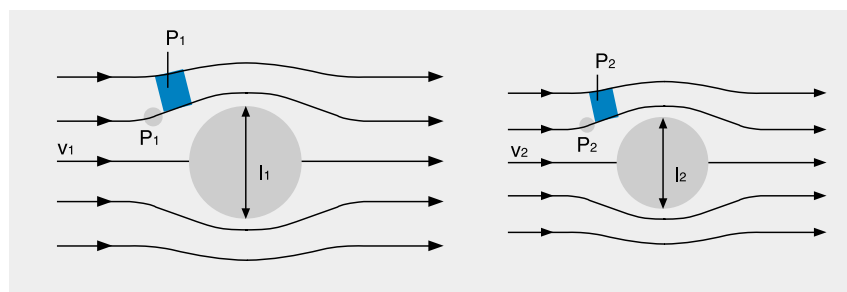
4.1 Écoulement turbulent

Le nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds est une grandeur sans dimension qui décrit l'écoulement de fluides. Vous trouverez ci-dessus une explication succincte de la structure du nombre de Reynolds à l'exemple de l'écoulement dans une conduite.

Le calcul du nombre de Reynolds ne tient pas compte des forces pondérales. Il ne fait généralement intervenir que les forces de pression, les forces de frottement FR et les forces d'inertie FT au niveau des éléments des fluides et des corps en contact avec ces fluides. Ces forces doivent être équilibrées en tout point de l'écoulement. Si le rapport force de frottement/force d'inertie est identique au niveau des points P1 et P2 analogues, alors l'écoulement y est identique.

Fig. 18
Écoulements identiques autour de cylindres différents



Compte tenu des propriétés précitées, l'équation du nombre de Reynolds est la suivante :

$$Re = \frac{\text{vitesse moyenne} \cdot \text{diamètre intérieur du tube}}{\text{viscosité cinématique}}$$

$$Re = 21220 \cdot \frac{Q}{d_i \cdot v} \quad \text{vaut pour les conduites et les flexibles}$$

avec: Q = débit (l/min) ,
v= viscosité cinématique (mm²/s)
et
d= diamètre intérieur du tube (mm)

La valeur critique du nombre de Reynolds Re_{crit} dépend de la viscosité cinématique v , du débit Q du fluide et de la géométrie de l'écoulement. Si le nombre de Reynolds d'un flux est inférieur à Re_{crit} , l'écoulement est alors laminaire. Pour des valeurs supérieures à Re_{crit} , l'écoulement est **turbulent**. La valeur critique du nombre de Reynolds pour l'huile est la suivante :

Re_{crit} pour l'huile = 1900 – 3000

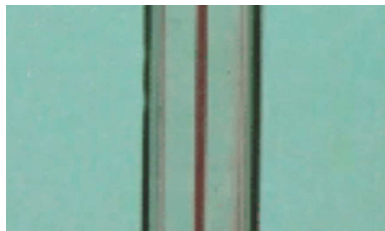
(source : Kahrs, M.: Der Druckverlust in Rohrleitungen ölhydraulischer Antriebe; VDI Forschungsheft 537, Düsseldorf 1970)

Le tableau suivant présente la différence entre un écoulement laminaire et un écoulement turbulent.

Fig. 19

Écoulement laminaire

Toutes les particules se déplacent sans se mélanger.



Le trajet d'une particule est décrit par la veine fluide.

La vitesse est répartie selon une parabole (vaut pour les tuyaux).



Nombre de Reynolds inférieur à Re_{crit}

Source :
Université de Würzburg,
cours de technique des écoulements

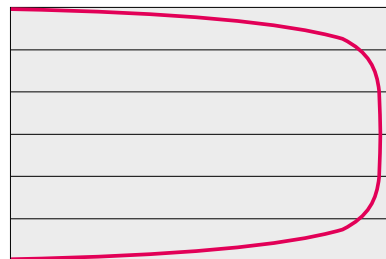
Écoulement turbulent

Toutes les particules sont constamment mélangées.



Il n'est pas possible de prévoir la trajectoire d'une particule.

La répartition de la vitesse moyenne en fonction du temps est relativement régulière (forme d'une parabole aplatie).



Nombre de Reynolds supérieur à Re_{crit}

La figure précédente présente l'**écoulement laminaire**, de forme parabolique, dans un tuyau. Il en ressort que, dans le cas d'un écoulement laminaire, la vitesse d'écoulement est plus élevée au milieu du tuyau (pointe de la parabole) qu'au niveau des parois.

Dans le cas de l'**écoulement turbulent**, cette parabole s'élargit (en ce qui concerne les valeurs moyennes) du fait de la présence de flux transversaux qui augmentent la vitesse d'écoulement à proximité des parois. Cet effet est mis à profit lors du rinçage de systèmes, car, du fait de l'augmentation de la vitesse d'écoulement, les particules qui s'étaient déposées sur les parois se détachent et sont entraînées par le flux.

4.2 Effet dispersant

L'huile de rinçage utilisée doit avoir un effet dispersant, afin que les particules puissent être détachées et transportées. L'utilisation d'huiles de rinçage spéciales à faible viscosité, à base d'huile minérale, permet d'améliorer considérablement l'efficacité du rinçage. Ces huiles réduisent les forces d'adhérence entre les particules polluantes et la paroi de la conduite. Grâce à leurs bonnes propriétés mouillantes, ces huiles se glissent entre les particules polluantes et la paroi et font qu'elles se détachent.

Des essais ont montré que l'utilisation d'une huile spéciale comme fluide de rinçage au lieu du fluide de service s'est traduite par une amélioration d'un facteur 4 de la propreté des composants/systèmes.

De telles huiles de rinçage doivent être compatibles avec le fluide de service utilisé ultérieurement, car des incompatibilités entre les fluides peuvent provoquer

- une forte formation de mousse,
- un colmatage des filtres,
- la formation de boues dans le système

lors du fonctionnement ultérieur.

4.3 Balayage de tous les canaux et de toutes les surfaces

Lors de l'élaboration du plan de contrôle, il faut naturellement veiller à ce que toutes les surfaces et tous les canaux du système soient balayés lors du rinçage.

4.4 Écoulement pulsatoire lors du rinçage

Un écoulement pulsatoire ou l'inversion du sens d'écoulement améliore également le détachement des particules récalcitrantes. L'effet principal est obtenu par l'alternance des forces sur les particules à détacher. Le même effet est obtenu par des ultrasons ou autres appareils générant des vibrations.

Fig. 20



Le rinçage de tuyauteries/flexibles et de systèmes hydrauliques peut être réalisé à l'aide d'un groupe de rinçage HYDAC. Les paramètres déterminés sont les suivants :

- Contrôle pression
- Rinçage
- Documentation de l'efficacité du rinçage

4.5 Réalisation d'un examen de propreté sur un banc de rinçage/d'essais

Sur des systèmes complets ou partiels soumis à un contrôle de fonctionnement, il est possible de déterminer la propreté de ces systèmes sur un banc de rinçage ou d'essais.

Ce procédé s'utilise pour des pompes, des vérins, des réducteurs, des unités de pilotage, des directions assistées, des blocs de valves, etc. Une fois qu'il est garanti que le banc de rinçage/d'essais présente les propriétés précitées, l'analyse peut être effectuée comme décrit ci-après.

Avant l'analyse, le banc de rinçage/d'essais est dépollué pour l'amener à une valeur de propreté définie très élevée, de sorte que la contamination de base du système de contrôle n'influe pas sur le résultat de la mesure. Cette propreté de base est déterminée et consignée.

4.5.1 Détermination de la contamination globale d'un système

Comme point de prélèvement pour un compteur automatique de particules, on définit un point situé en amont ou en aval du composant à tester et qui est directement balayé par le liquide. S'il faut également procéder à une détermination gravimétrique du résultat de l'analyse et il faut que :

l'ensemble du liquide de contrôle soit collecté et filtré sur une membrane d'analyse

ou que l'on intègre un porte-membrane avec la membrane d'analyse correspondante dans la conduite retour.

Le composant est ensuite contrôlé sur la base du plan préalablement établi, et les classes de propreté sont enregistrées en parallèle.

Exemple pratique 1 :

Le schéma suivant montre le déroulement de l'analyse sur un banc d'essais de pompes.

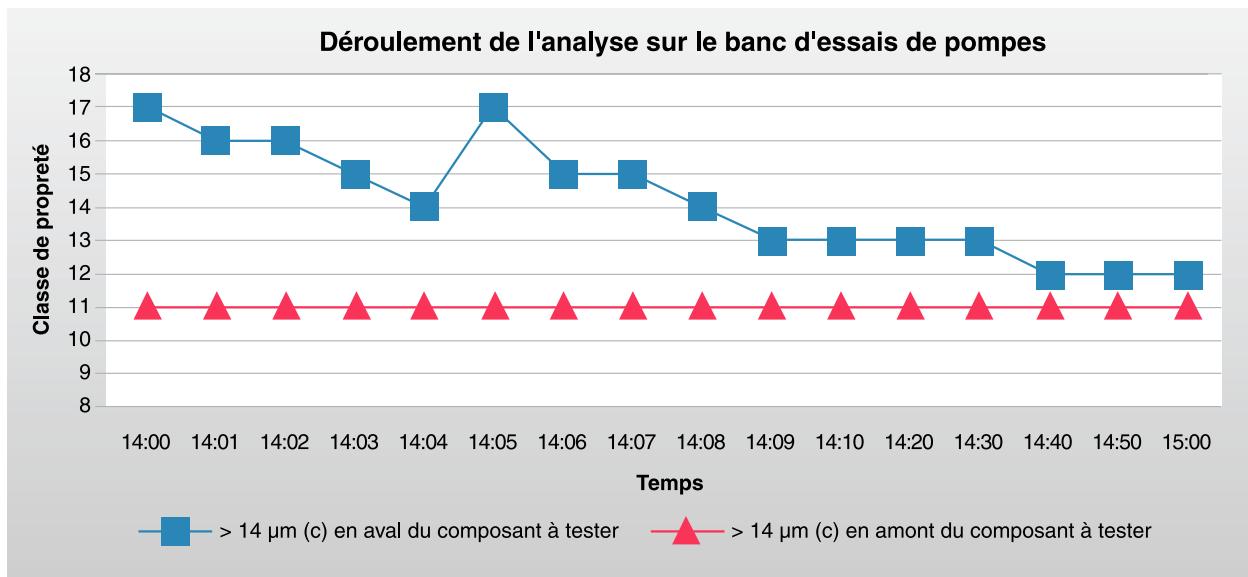
Après 5 minutes de contrôle, le régime de la pompe a été augmenté jusqu'au maximum. Cette procédure a alors entraîné la libération d'une contamination particulaire. Le système devient ensuite de plus en plus propre. Etant donné qu'une contamination particulaire continue à être libérée même au bout d'une heure de contrôle (valeur standard : 10 à 15 minutes), la classe de propreté du liquide sur la ligne retour (en bleu = en aval du composant à tester) n'atteint jamais la même propreté qu'en amont du composant à tester.

Ce procédé convient pour permettre un contrôle simple et rapide la propreté de la marchandise livrée dans le cadre de contrôles en série, avec documentation du contrôle et arrêt de la procédure de rinçage une fois que la valeur recherchée est atteinte. Une intégration du circuit de mesure dans le système de commande du processus permet également de détecter rapidement toute variation et de prendre les mesures nécessaires. L'objectif d'une surveillance continue de la propreté est d'assurer la surveillance et la sécurité du process voire la propreté du système à la livraison.

Avec de telles valeurs de consigne, il est possible d'intervenir rapidement en cas d'augmentation de la contamination du système. Si ces mesures ne sont effectuées qu'une fois par jour, il se peut que toute la production quotidienne soit concernée et doit faire l'objet d'une reprise de mise à niveau. Ceci entraîne des coûts inutiles qui peuvent être évités en installant un procédé de mesure en continu.

Pour la mesure de référence, le système sera si possible désassemblé après l'essai, et les différents composants seront analysés à l'aide du procédé par rinçage.

Fig. 21



Exemple :

Etat à la livraison : 17 / 15 / 12 selon ISO 4406:1999

1. Point d'avertissement : 18 / 16 / 13 sur 3 mesures successives

2. Signal d'arrêt : En cas de dépassement de la classe limite de propreté 18 / 16 / 13 sur 2 mesures successives.

5 Contamination Monitoring

La fiabilité de systèmes hydrauliques peut être fortement influencée par une contamination particulaire présente dans le système durant la phase de rodage. Le risque de défaillances durant les premières minutes ou heures de service est particulièrement élevé, car les particules étrangères apportées durant le montage sont encore très grosses et peuvent donc provoquer des défaillances subites. Dans le cadre de la poursuite du fonctionnement du système, ces grosses particules sont réduites en petites particules. Ce processus de fragmentation peut provoquer sur la surface des composants système des dommages pouvant entraîner des fuites, une baisse du rendement ou une réduction de la durée de vie des composants.

Dans bien des cas, on utilise un filtre fin pour la dépollution rapide du fluide système durant la mise en service. Dans le secteur de l'automobile, ceci n'est généralement pas possible sur les systèmes qui se trouvent dans le véhicule (à l'exception des boîtes de vitesses et des moteurs).

Le Contamination Monitoring s'utilise dans le cadre de la fabrication et du montage de ces systèmes. L'application du Contamination Management permet d'éliminer une grande partie de la contamination particulaire encore actuellement introduite dans les systèmes. Tout ceci se traduit par une réduction des coûts grâce à une diminution des écarts par rapport aux courbes caractéristiques sur les bancs d'essais provoqués par un blocage subit de particules dans des composants sensibles des systèmes et par une diminution des coûts de garantie et de prise en charge à titre commercial. Vous trouverez de plus amples informations à ce sujet au chapitre 9.

La suite du texte aborde les objectifs, la conception et la réalisation d'un audit process. Tous les processus de fabrication et de montage considérés comme importants sont examinés sous l'angle de leur propreté dans le cadre d'une procédure du Contamination Monitoring. Les méthodes d'analyse ont été décrites au chapitre 4. Une bonne préparation et information de tous les intervenants est nécessaire pour garantir le bon déroulement de ce Contamination Monitoring.

5.1 Préparation

Il faut tout d'abord définir l'objectif du Contamination Monitoring, p. ex. :

- constat de l'état effectif,
- contrôle des variations d'un lot à l'autre,
- contrôle de processus de lavage,
- alignement entre consigne et état effectif,
- définition des points de prélèvement d'échantillons.

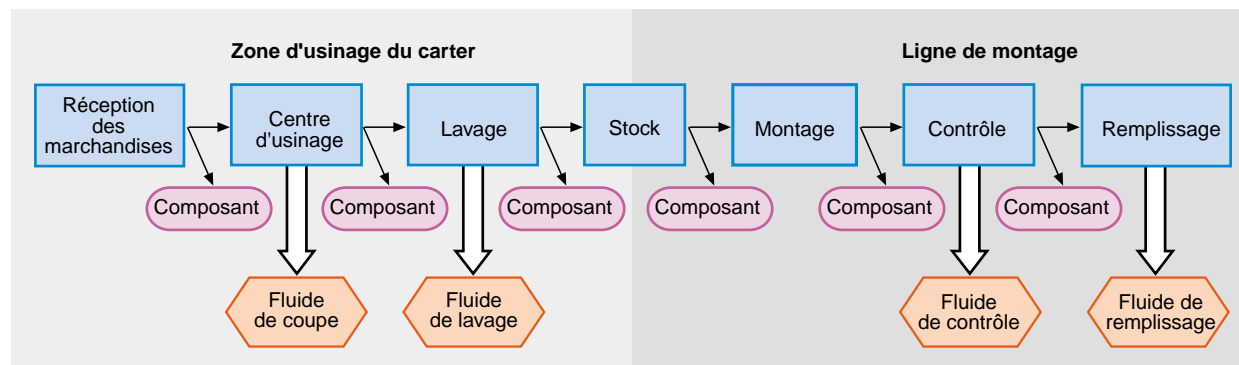
Durant la phase de préparation, on définit à partir d'un plan de fabrication les points de prélèvement d'échantillons de composants et de fluides. De plus, le personnel impliqué dans le processus des Contamination Monitoring est mis au courant des objectifs et des procédures.

IMPORTANT :

La fabrication doit se poursuivre exactement comme auparavant. Il ne faut pas introduire d'étapes de nettoyage supplémentaires ou autres étapes analogues. Le Contamination Monitoring NE sert PAS à contrôler la qualité du personnel, mais à déterminer les causes des sources de contamination !

La figure suivante représente une partie d'une chaîne de fabrication :

Fig. 22



Le schéma ci-dessus indique les processus de fabrication et les points de prélèvement correspondants. Dans la réalité, cette opération sera plus détaillée en ce qui concerne l'emplacement des points de prélèvement des échantillons de fluides. Le plan décrit précisément l'endroit de prélèvement de l'échantillon de fluide, p. ex. le numéro du raccord minimess.

5.2 Réalisation

Les échantillons de fluide et de composants sont prélevés de manière représentative et stockés de sorte à empêcher toute pénétration de contamination supplémentaire dans les échantillons. Dans le cas des échantillons de fluides, on utilise des flacons spéciaux, et les composants sont emballés dans des conditionnements de propreté définie.

L'analyse s'effectue conformément aux prescriptions, selon les méthodes décrites aux chapitres 3 et 4. Les observations sont en outre documentées avec précision.

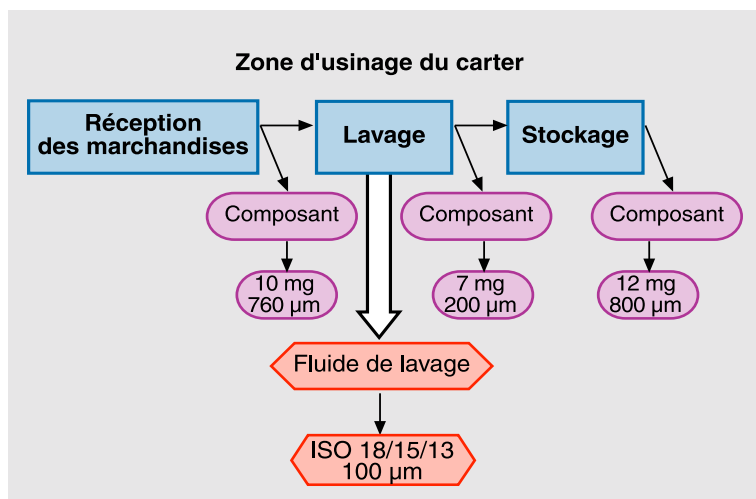
5.3 Déplacements au niveau de la ligne de fabrication voire de montage

Pour un œil exercé, certaines sources de contamination sont rapidement visibles. Les déplacements seront effectués au niveau de la ligne de fabrication ou de montage lors de l'audit. Les observations relevées lors de ces inspections seront alors comparées avec les résultats existants pour en tirer les conclusions qui s'imposent.

5.4 Résultats

Les résultats de ce Contamination Monitoring décrivent l'état au moment du prélèvement d'échantillons. La suite du texte décrit brièvement un résultat possible :

Fig. 23



Le diagramme illustre une partie d'une opération d'usinage d'un carter. Les échantillons de composant ont été prélevés en amont et en aval d'une installation de lavage. Le résultat montre que cette installation de lavage fait du bon travail et que l'endroit où elle est installée est bien choisi. Le stockage ultérieur ne s'effectue pas dans de bonnes conditions, car il entraîne pratiquement un doublement de la contamination particulaire.

Fig. 24

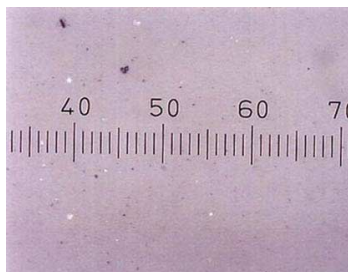


Photo prise via le microscope Membrane d'analyse

Contamination particulaire d'un composant AVANT stockage.

Fig. 25

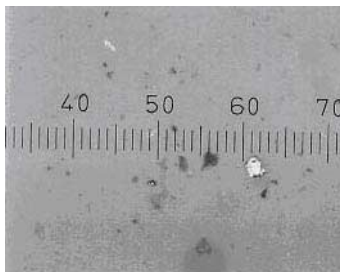


Photo prise via le microscope Membrane d'analyse

Contamination particulaire d'un composant APRES 2 semaines de stockage.

6 Elaboration d'une spécification de propreté

L'utilisation d'une spécification de propreté pour les composants ainsi que pour le système permet de garantir une qualité constante à la livraison.

Les points suivants doivent être pris en compte lors de l'élaboration d'une spécification de propreté :

Etat de l'art, la technique

Références (benchmarking)
– que font les autres ?

Intégration des – éventuelles
– expériences antérieures

Définition et adoption du
Contamination Management
comme „projet officiel“

Implication de tous les niveaux de
la hiérarchie

Documentation précise du
développement de la spécification

Elaboration de définitions claires

L'étape suivante consiste à déterminer quels sont les composants les plus sensibles du système. Dans bien des cas, il n'est pas nécessaire d'atteindre le même niveau de propreté dans l'ensemble de système lors de l'assemblage.

S'il existe une filtration appropriée AVANT les composants sensibles, il est possible de définir en amont de cette filtration une zone de composants moins sensibles à la contamination, et en aval du filtre une zone de composants fortement sensibles à la contamination.

Il conviendrait de classer les composants ou les types de systèmes en différentes zones de sensibilité.

Catégorie	Désignation	Description
A	Peu sensible aux particules	Essentiellement des systèmes basse pression avec d'importantes tolérances d'interstices.
B	Sensible aux particules	Systèmes basse pression avec faibles tolérances d'interstices.
C	Très sensible aux particules	Systèmes haute pression avec faibles tolérances d'interstices et exigences de sécurité élevées.

Une valeur maximale de contamination particulaire est définie pour chacune de ces catégories de propreté.

Cette subdivision sera décrite ci-après sur la base d'un moteur de voiture de tourisme.

Catégorie	Zone du moteur
A	Air Circuit de liquide de refroidissement
B	Circuit d'huile basse pression
C	Diesel à injection directe Circuit d'huile haute pression

Les propretés des différents fluides système ou de process sont également définies.

6.1 Structure d'une prescription de propreté

Les paramètres suivants sont définis dans la spécification de propreté pour les composants :

1. Objectif de la spécification de propreté
2. Domaine de validité (désignation du système)
3. Etendue et cycles de contrôle
4. Prélèvement des échantillons
5. Procédé d'analyse
6. Procédé d'évaluation
7. Précisions
8. Fluides d'analyse à utiliser
9. Documentation
10. Valeurs limites

Cette spécification pouvant être agencée de manière spécifique pour chaque système, nous aborderons ici un certain nombre de points dont il convient de tenir compte.

Les instructions de travail concernant le prélèvement des échantillons, les procédés d'analyse et d'évaluation doivent être décrites de manière très détaillée, afin de garantir la constance des prélèvements. De plus, le résultat de l'analyse – notamment lors de l'analyse des composants – dépend fortement du fluide d'analyse et du procédé utilisés. La documentation devrait se présenter sous forme d'un formulaire permettant de disposer rapidement de tous les résultats. Vous trouverez ci-contre une proposition pour une telle fiche de résultats :

Contamination Management			
Système	Direction assistée	Date d'analyse	31.01.2001
Analyse du composant			
Composant N° de pièce Taille du lot	Crémaillère Xx12345 1	Point de prélèvement d'échantillon Echantillon prélevé par Date de prélèvement	Après Paul Dupont 30.01.2001
Méthode d'analyse Fluide d'analyse	Ultrasons COLD-02	Désignation du lot Vol. de fluide d'analyse	01-2001 1500 ml
Blanc	0,2 mg	Finesse de la membrane	7 µm
Méthode d'évaluation			
Comptage de particules en ligne	Comptage automatique des particules du fluide d'analyse	Comptage automatique des particules sur la membrane	Comptage manuel des particules
			X
Gravimétrie	X		
Résultat Gravimétrie Plus grande particule abrasive	8 350	mg/composant µm	
	Nombre de particules/composant		
	> 50 µm	> 100 µm	> 200 µm
Valeur effective	100	10	3
Valeur limite			0
Fluide système			
Système Point de prélèvement Echantillon prélevé par Date de prélèvement Méthode de mesure	Lavage 1 Bain de rinçage Paul Dupond 30.01.2001		
Procédé de mesure			
Comptage de particules en ligne	Comptage automatique des particules du fluide d'analyse	Comptage automatique des particules sur la membrane	Comptage manuel des particules
			X
Résultat :			
ISO 4406 Plus grande particule abrasive	22/20/18 300 µm	NAS 1638	
Signature		Date	

Exemple d'une spécification de propreté :

1. Objectif de la spécification de propreté

La transposition de cette spécification de propreté vise à atteindre une propreté constante du système X.

2. Domaine de validité

(désignation du système)
Cette spécification s'applique au système X avec ses gammes A, B et C. Elle englobe toutes les pièces de fournisseurs et pièces de fabrication interne. De plus, les fluides système du système X seront définis sous l'angle de la propreté du système.

3. Etendue et cycles de contrôle

Ce sont 5 échantillons de chaque pièce qui sont examinés mensuellement. Si l'on constate au bout de 6 mois une valeur constante de la propreté des pièces livrées, le cycle d'échantillonnage peut être porté à 2 voire 3 prélèvements par mois.

L'analyse des systèmes complets avant la livraison s'effectue au moins une fois par semaine. L'idéal serait d'assurer un contrôle permanent de la propreté du fluide.

4. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement des échantillons de composants s'effectue au niveau de la réception des marchandises. Les échantillons sont prélevés de manière représentative et emballés à l'abri de la poussière pour le transport jusqu'au laboratoire.

Les échantillons de fluides seront prélevés aux points prévus à cet effet et indiqués dans le plan de contrôle, ou l'appareil de mesure sera directement raccordé.

5. Procédé d'analyse

Pour l'analyse des composants, il faut utiliser le procédé par rinçage. Comme décrit dans la gamme de contrôle, les surfaces des composants sont rincées dans un environnement de propreté définie par un liquide de contrôle (XY) de pureté "xx" sous une pression de "z" bar et avec un volume de "x" ml.

La contamination particulière décrochée est collectée sur une membrane d'analyse et évaluée par gravimétrie.

Les échantillons de fluides seront prélevés des systèmes de manière représentative au niveau des points de prélèvement spécifiés. Il faut indiquer la durée de contrôle, la gamme de contrôle, les pressions voire les vitesses de rotation, c'est-à-dire tous les paramètres de contrôle.

Dans le cas de contrôles statiques, p. ex. des tests de pression de conduites et de flexibles, il convient de noter qu'un effet de rinçage est nécessaire pour pouvoir déterminer la propreté de ces composants. Autrement dit, le contrôle de pression statique doit être suivi d'un processus de rinçage dynamique pour pouvoir déterminer la quantité effective de particules provenant du composant.

6. Procédé d'évaluation

Lors des analyses de composants, la membrane d'analyse est séchée avant l'analyse jusqu'à ce que sa masse reste constante, refroidie dans un environnement sec défini, puis pesée. La même opération sera répétée après la filtration. La différence de masse équivaut à la "contamination gravimétrique" du composant. Les membranes d'analyse sont ensuite évaluées au microscope, et l'on mesure la taille des particules les plus longues. L'analyse des fluides s'effectue selon ISO 4405, ISO 4407, ISO 4406:1999 ou NAS 1638.

7. Précisions

Afin de pouvoir effectuer une mesure suffisamment précise des échantillons de composants, l'appareillage d'analyse doit être amené avant l'analyse à une teneur résiduelle en contaminants de 0,2 mg. Pour ce faire, on réalise un "blanc", c'est-à-dire un rinçage de l'appareillage en l'absence de composant à contrôler. Si le résultat de l'analyse est inférieur à 0,5 mg, il faut augmenter la taille du lot et fixer ainsi une valeur moyenne des résultats.

8. Fluides d'analyse à utiliser

Lors de l'analyse des composants, il convient d'utiliser le fluide d'analyse suivant : ABC-XX avec la classe de propreté 14 / 12 / 9 et aucune particule > 40 µm.

9. Documentation

La documentation des résultats doit s'effectuer sur une fiche conforme au spécimen présenté.

10. Valeurs limites

Les composants sont réparties en 3 classes de propreté :

Catégorie	Désignation	Description
A	Peu sensible aux particules	Essentiellement des systèmes basse pression avec importantes tolérances d'interstices.
B	Sensible aux particules	Systèmes basse pression avec faibles tolérances d'interstices.
C	Très sensible aux particules	Systèmes haute pression avec faibles tolérances d'interstices et exigences élevées.

Les prescriptions de propreté suivantes s'appliquent à chacune de ces classes de propreté (exemple aléatoire).

Catégorie	Gravimétrie	Taille des particules
A	20 mg / composant	Max. 4 particules > 500 µm Taille maxi : 400 µm pas de faisceaux de fibres
B	10 mg / composant	Max. 4 particules > 400 µm Taille maxi : 800 µm Fibres jusqu'à 4 mm
C	5 mg / composant	Max. 4 particules > 200 µm Taille maxi : 1.000 µm Fibres jusqu'à 2 mm

Vous trouverez ci-après le classement des composants d'une boîte de vitesse dans les différentes catégories :

Groupe A : carter d'huile

Groupe B : carter intermédiaire,
carter de boîte,
flasque de sortie

Groupe C : plaque de vannes,
carter de vannes,
plaque de centrage

Echantillons de fluides :

Au terme du contrôle, la propreté de l'huile de boîte ne doit pas être supérieure à 17 / 15 / 13 (c) selon ISO 4406:1999. Le fonctionnement du système s'effectue avec une classe 18 / 16 / 14 (c) selon ISO 4406:1999.

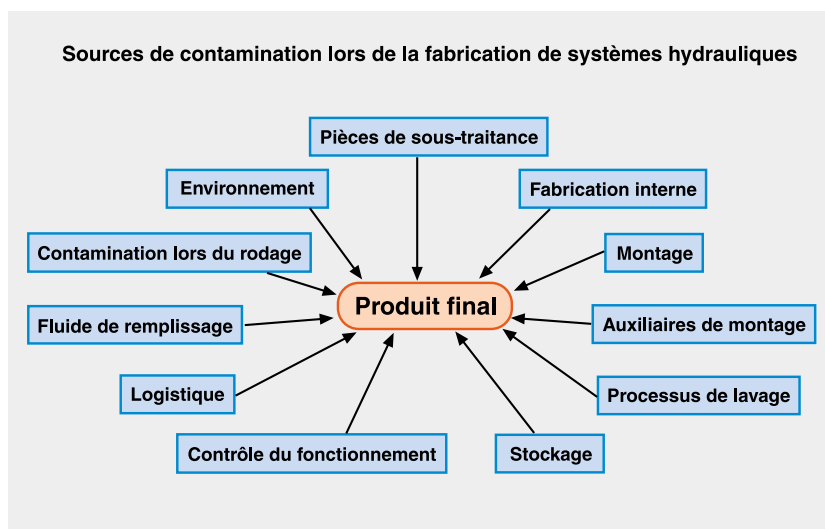
11. Marche à suivre en cas de non respect de la spécification

En cas de non-respect de la spécification, les pièces de sous-traitance sont retournées à leur fournisseur. Si cette procédure devait entraîner des retards de production, les composants seront nettoyés et analysés chez nous aux frais du fournisseur.

7 Sources de contamination lors de la fabrication ou du montage de systèmes hydrauliques

La contamination particulaire peut rentrer de différentes manières dans un système hydraulique. Le schéma suivant indique les principaux responsables de l'apport de contaminants.

Fig. 26



Certaines de ces sources de contamination peuvent être éliminées de manière très simple et économique.

Dans le domaine du **Contamination Management**, la devise est la suivante :

Ce que je ne fais pas entrer dans un système, je n'aurai pas à l'en retirer !

7.1 Prévention de l'apport de contaminants lors de la fabrication et du montage de systèmes hydrauliques

Dans certaines étapes du processus de fabrication et de montage de systèmes hydrauliques ou de leurs composants, il est possible, pour un faible coût, d'éviter un apport de contaminants

Stockage et logistique

Lors du stockage et du transport des composants et des systèmes, il faut veiller à ce qu'ils soient bouchonnés ou bien emballés. Les conditionnements de transport et de stockage doivent également correspondre au niveau de propreté des différents composants.

Montage des systèmes ou sous-ensembles

Le montage de ces systèmes doit s'effectuer conformément aux exigences système. Autrement dit, il faut éventuellement séparer géographiquement la zone de montage et la zone de fabrication mécanique afin d'éviter de véhiculer la pollution.

Les postes de montage doivent toujours être maintenus à un niveau de propreté défini, et le personnel de ces zones doit porter le cas échéant des vêtements spéciaux faiblement pelucheux. Les auxiliaires de montage doivent être nettoyés en conséquence afin d'éviter ici aussi un apport de contaminants.

Sensibilisation du personnel

Afin d'atteindre l'objectif d'une "propreté définie des composants ou des systèmes", il est très important d'intégrer dans ce processus le personnel concerné, et ce, tous niveaux hiérarchiques confondus. La richesse des idées et l'expérience du personnel – notamment au niveau des chaînes de montage et de la fabrication – est bien souvent un important réservoir d'économies potentielles. L'expérience a montré que lorsque le personnel s'identifie avec l'objectif, sa concrétisation est souvent plus facile et plus rapide.

Environnement – pureté de l'air

Dans certains cas, il sera nécessaire de mettre en place une zone de type "salle blanche" pour le montage final de systèmes très sensibles aux contaminants, p. ex. les systèmes d'alimentation en carburant, les freins, les amortisseurs, etc. Le caractère indispensable d'une telle mesure doit être contrôlé au cas par cas. Dans bien des cas, il suffit de prendre les autres mesures ici décrites.

7.2 Élimination de la contamination particulaire au niveau de systèmes hydrauliques (expériences issues de la pratique) et de composants

En règle générale, l'élimination de la contamination particulaire d'un système hydraulique s'effectue par filtration. Différents types de filtres peuvent être utilisés en fonction du degré de contamination.

Pour de très fortes quantités de contaminants (p. ex. machines à laver, machines d'outils), on peut utiliser sur les installations des filtres à bandes ou des poches filtrantes. Ces filtres ont pour mission d'évacuer du système la pollution de masse (souvent en kg). Ces types de filtres sont en outre utilisés comme pré-filtres.

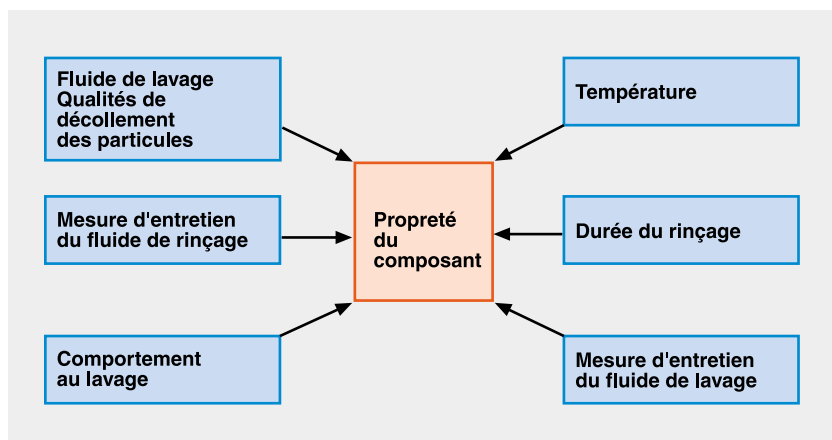
Ces filtres grossiers assurent généralement très efficacement leur tâche qui consiste à „retirer une grande quantité de saleté du système“. Toutefois, si l'on veut garantir une propreté définie élevée, et constante du fluide système, il faut encore prévoir en supplément une filtration fine.

Alors que la filtration fine garantit la qualité, la filtration grossière a pour mission de maîtriser la quantité de contamination.

7.2.1 Installations de rinçage

Pour certains composants, on utilise des installations de rinçage pour les débarrasser des contaminants qui adhèrent à leur surface (particules, résidus d'usinage ou fluides de conservation, etc.). Le nettoyage peut s'effectuer selon différents principes mécaniques (p. ex. aspersion, trempage, ultrasons) et avec différents fluides de nettoyage (aqueux ou faisant intervenir des solvants organiques). La température et la durée du nettoyage influent également de manière importante sur l'efficacité du nettoyage. Ces facteurs doivent être harmonisés de manière optimale afin de garantir un rapport efficacité/durée de nettoyage rentable.

Fig. 27



Différentes études de processus de lavage ont montré que certains de ces procédés généralement coûteux ne méritent pas leur nom. Certains procédés de lavage sont même parfois décrits par des utilisateurs comme étant plutôt des "processus de répartition de particules". Cette "propriété" a été constatée sur des composants prélevés respectivement avant et après un processus de lavage.

7.2 Élimination de la contamination particulaire au niveau de systèmes hydrauliques (expériences issues de la pratique) et de composants

En règle générale, l'élimination de la contamination particulaire d'un système hydraulique s'effectue par filtration. Différents types de filtres peuvent être utilisés en fonction du degré de contamination.

Pour de très fortes quantités de contaminants (p. ex. machines à laver, machines d'outils), on peut utiliser sur les installations des filtres à bandes ou des poches filtrantes. Ces filtres ont pour mission d'évacuer du système la pollution de masse (souvent en kg). Ces types de filtres sont en outre utilisés comme pré-filtres.

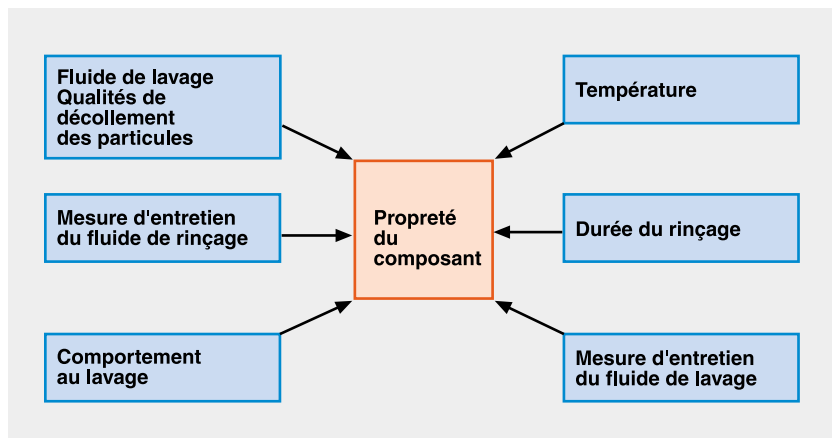
Ces filtres grossiers assurent généralement très efficacement leur tâche qui consiste à „retirer une grande quantité de saleté du système“. Toutefois, si l'on veut garantir une propreté définie élevée, et constante du fluide système, il faut encore prévoir en supplément une filtration fine.

Alors que la filtration fine garantit la qualité, la filtration grossière a pour mission de maîtriser la quantité de contamination.

7.2.1 Installations de rinçage

Pour certains composants, on utilise des installations de rinçage pour les débarrasser des contaminants qui adhèrent à leur surface (particules, résidus d'usinage ou fluides de conservation, etc.). Le nettoyage peut s'effectuer selon différents principes mécaniques (p. ex. aspersion, trempage, ultrasons) et avec différents fluides de nettoyage (aqueux ou faisant intervenir des solvants organiques). La température et la durée du nettoyage influent également de manière importante sur l'efficacité du nettoyage. Ces facteurs doivent être harmonisés de manière optimale afin de garantir un rapport efficacité/durée de nettoyage rentable.

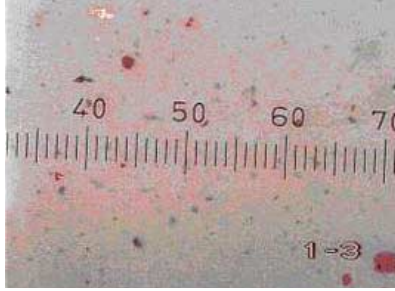
Fig. 27



Différentes études de processus de lavage ont montré que certains de ces procédés généralement coûteux ne méritent pas leur nom. Certains procédés de lavage sont même parfois décrits par des utilisateurs comme étant plutôt des "processus de répartition de particules". Cette "propriété" a été constatée sur des composants prélevés respectivement avant et après un processus de lavage.

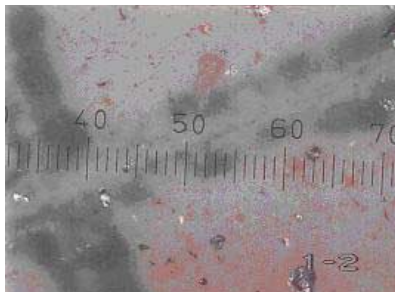
Exemple : rinçage de conduites après cintrage

Fig. 28
Photo microscopique
Membrane d'analyse



Le tuyau a été scié et lavé

Fig. 29
Photo microscopique
Membrane d'analyse



Après le sciage et le lavage, le tuyau a été cintré et rincé.

En pareil cas, 2 réactions sont possibles :

1. Arrêter le processus de lavage lorsque la pureté des composants est moins bonne après lavage qu'avant lavage.

Avantage :
Economies rapides

L'alternative généralement la plus judicieuse est la suivante :

2. Optimisation du processus
Lors de l'optimisation du processus de lavage, il faut veiller en particulier aux points suivants :

Propreté des fluides de lavage, de rinçage et de conservation

Considérations mécaniques
(p. ex. buses de lavage bouchées)

Adéquation du processus de lavage aux pièces à laver

Filtration du fluide de lavage et de rinçage

Lors de l'achat d'installations de lavage, il est également possible de spécifier au fabricant le degré de propreté à atteindre pour les composants et le taux de matières en suspension maximal (MES) du fluide de lavage en mg/l ou une classe de propreté.

Par le passé, les installations de lavage se subdivisaient en installations de lavage fin ou ultrafin – une définition très imprécise des performances de nettoyage à assurer. Aujourd'hui, c'est souvent la quantité de contamination résiduelle admissible sur les composants nettoyés qui est définie.

Les quantités de contaminants résiduels sont indiquées en mg/composant, mg/kg de composant, mg/unités de surface ou en concentrations de particules dans différentes plages de tailles. De plus, on définit des tailles maximales de particules admissibles sur le composant nettoyé, p. ex. max. 3 particules > 200 µm, aucune particule > 400 µm.

Pour pouvoir atteindre de telles valeurs, les paramètres précités de l'installation de rinçage doivent être harmonisés. Il faut également prendre en considération des facteurs supplémentaires comme la protection de l'environnement et du travail, les conditions locales telles que la place et l'énergie disponible, ainsi que la cadence à assurer.

La propreté des fluides de lavage et de rinçage utilisés influe considérablement sur les performances de la machine à laver.

Nous ne nous occupons ici que des mesures d'entretien des fluides de lavage et de rinçage.

Les procédés suivants peuvent être utilisés pour l'entretien standard :

Procédé de rinçage	Contamination solide	Contamination liquide, non dissoute (émulsion)	Contamination liquide dissoute
Filtration			
Filtre à bande	X		
Filtre à poches/ filtre avec lavage à contre-courant	X		
Filtre fin (type bougies/disques)	X		
Ultrafiltration	X	X	
Distillation	X	X (avec des différences de points d'ébullition très importants)	X
Séparateur	X	X (différence de densité)	
Séparateur d'huile		X	
Coalesceur		X	

Lors du choix des mesures d'entretien précitées des fluides, il faut également tenir compte de la nature et de la composition du fluide de nettoyage. Dans le cas de l'ultrafiltration, on notera qu'une séparation des substances de nettoyage est inévitable dans certains cas. De plus, l'ultrafiltration ne peut s'utiliser que pour des fluides de lavage pré-traités, car la membrane de séparation perd toute efficacité en cas de sollicitation par une contamination particulière.

Filtration au titre de l'entretien des fluides pour la séparation de contaminants particuliers

L'équipement standard pour l'entretien des fluides des installations de lavage sont aujourd'hui des filtres à bande et des filtres à lavage à contre-courant avec différents étages de finesses de filtration. Même si ces filtres conviennent pour éliminer de grosses quantités de contaminants d'un système, ils ne permettent toutefois pas de respecter des classes de propreté définies. De par leur constitution, ils n'offrent pas une résistance élevée, c'est-à-dire que la contre-pression générée par le filtre est très faible, généralement inférieure à 1 bar. C'est pourquoi les filtres de ce type sont souvent utilisés sur les lignes principales, en alimentation des zones de lavage ou de rinçage. Les corps des filtres sont équipés de manomètres afin de contrôler leur caractère opérationnel.

Dans le cas des filtres à poches, le danger réside dans le risque de rupture de la poche et donc de

libération de grosses quantités de contaminants en cas de surcharge. Il est donc recommandé de définir en plus une périodicité de remplacement minimale et de contrôler régulièrement non seulement les paramètres standard tels que le pH ou le nombre de bactéries, mais aussi la propreté du fluide de lavage.

La définition des valeurs de contamination résiduelle des composants nettoyés devient de plus en plus drastique et celles-ci sont utilisées comme critère de réception pour l'installation de nettoyage. L'important est ici que ces valeurs soient maintenues constantes. En pareil cas, il est impératif que la qualité du fluide de nettoyage soit maintenue à un niveau élevé et constant.

Ceci peut être atteint par l'utilisation ciblée de filtres fins avec un taux de séparation absolu et constant. Il s'agit généralement de filtres de type bougie ou disque. Par rapport aux éléments filtrants hydrauliques standard, l'avantage de ces types de filtres réside dans la capacité de rétention élevée en contaminants qui découle de leur action en profondeur.

De par leur taux de séparation élevé, ces types de filtres permettent d'éliminer une grosse quantité de contaminants du fluide de nettoyage, ce qui peut avoir pour conséquence un épuisement très rapide de leur capacité et un colmatage. Une combinaison de filtres, destinés à éliminer la masse de contaminants du système, et de filtres fins absolus permet d'atteindre une durée de vie suffisante en combinaison avec une

très bonne propreté du fluide de nettoyage. L'exemple suivant est tiré de la pratique.

Chez un fournisseur de renom de l'industrie automobile, il faut nettoyer des arbres à cames de sorte à les amener à un seuil de propreté défini de 9 mg/pièce. La situation de départ est la suivante :

Caractéristiques techniques de la machine à laver présente :

Volume du réservoir : 80 litres

Débit de la pompe : 250 l/min (pompe centrifuge)

Produit de nettoyage : Ardox 6478 – chemetall

Concentration : 2,3 – 3 %

Température du bain : env. 50 °C

Filtration : Filtre à lavage à contre-courant en aval de la pompe, finesse 50 µm

Données du processus :

Fréquence de remplacement du bain : 1 fois/semaine

Cadence : 3000 – 4000 composants/jour

Cycle de lavage : 15 s/composant

Défis à relever

Dépôt de boues dans le réservoir

Qualité insuffisante au bout de 2 à 3 jours

La teneur en contaminants des composants varie entre 30 et 50 mg avant l'installation

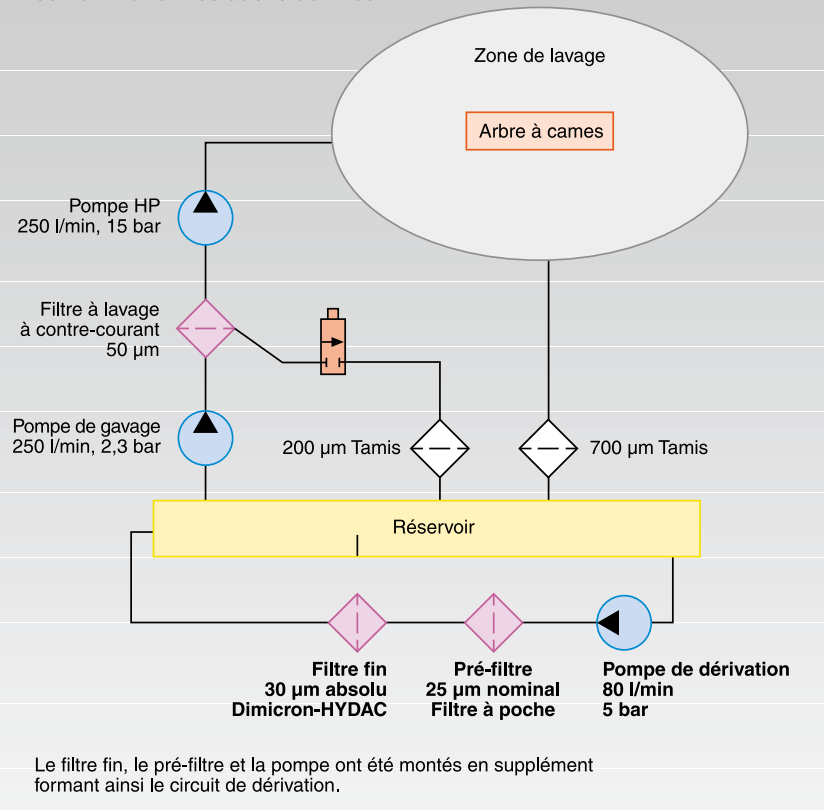
Le coût de nettoyage ne doit pas dépasser 0,008 €

Les coûts de nettoyage ne doivent pas augmenter, mais la qualité doit s'améliorer

Objectif de l'optimisation d'une installation de nettoyage :

- Atteindre la valeur de contamination résiduelle maxi de 9 mg/arbre à cames
- Amener la propreté du fluide de lavage à < 30 mg/litre
- Augmenter la durée de vie du fluide de lavage, c'est-à-dire gagner sur les coûts de renouvellement
- Eviter la formation de boues dans le réservoir, c'est-à-dire gagner sur le temps de nettoyage
- Il fallait réaliser une installation de nettoyage fiable, ne nécessitant qu'un minimum d'entretien, permettant de nettoyer les arbres à cames jusqu'à une teneur résiduelle en contaminants de 9 mg/pièce, et ce pour des coûts réduits.

Optimisation d'une machine à laver d'arbres à cames en vue d'atteindre des spécifications de contamination résiduelle définies



Résultat de l'optimisation

- La durée de vie du fluide de nettoyage est passée de 1 à 8 semaines. Il n'y a plus de dépôts de boue dans le réservoir. Le remplacement du fluide du bain a été dicté par sa teneur élevée en chlorures, et pas en raison de son encrassement.
- Les valeurs de contamination résiduelle de max. 9 mg/arbre à cames et de max. 30 mg/litre de fluide de bain (en utilisant une membrane de 5 µm pour l'analyse) ont été atteintes et sont maintenues constantes à ce niveau.
- La durée de vie des filtres à poches, peu coûteux à l'achat, est de 2 semaines. La durée de vie des filtres absolus Dimicron® de la société HYDAC est de 8 semaines.

Considérations de rentabilité

	Investissement €	Coûts d'exploitation €	Economies/an en €
Filtration en dérivation	5.000 ,--		
Coûts de filtration		7.500 ,--	
Augmentation de la durée de vie du bain			10.000,--
Réduction des coûts de reprise d'usinage			Impossible de chiffrer les coûts
Temps d'arrêt de la machine de lavage pour le nettoyage			Impossible de chiffrer les coûts

L'optimisation de la mesure d'entretien du fluide de cette machine à laver a permis d'atteindre une amélioration fiable de la qualité, et ce sans coûts supplémentaires. Autrement dit, les coûts de lavage restent à 0,008 € /arbre à cames comme l'imposait le cahier des charges au début de ce projet.

précises des données existantes, telles que la propreté des composants AVANT l'installation, la cadence, les détails techniques ainsi que les objectifs.

Il ressort clairement de cet exemple que la réussite d'une telle optimisation ou les chances de réussite dès la conception d'une nouvelle installation passe impérativement par une connaissance et une définition très

7.2.2 Contrôle du fonctionnement

Le remplissage du système ou le contrôle du fonctionnement correspond pour la plupart des systèmes au premier contact avec le fluide de service. Ce processus représente une excellente opportunité pour influencer de manière décisive sur la propreté finale du système complet. Une filtration appropriée des fluides de remplissage et de contrôle permet d'améliorer rapidement la propreté du système à la livraison ou sa mise en service.

A l'instar de l'utilisation d'une machine à laver, le contrôle du fonctionnement peut être piloté via la propreté des produits finaux.

Certaines sociétés ont adopté la devise :

„Le banc d'essais est notre dernière machine à laver.,,

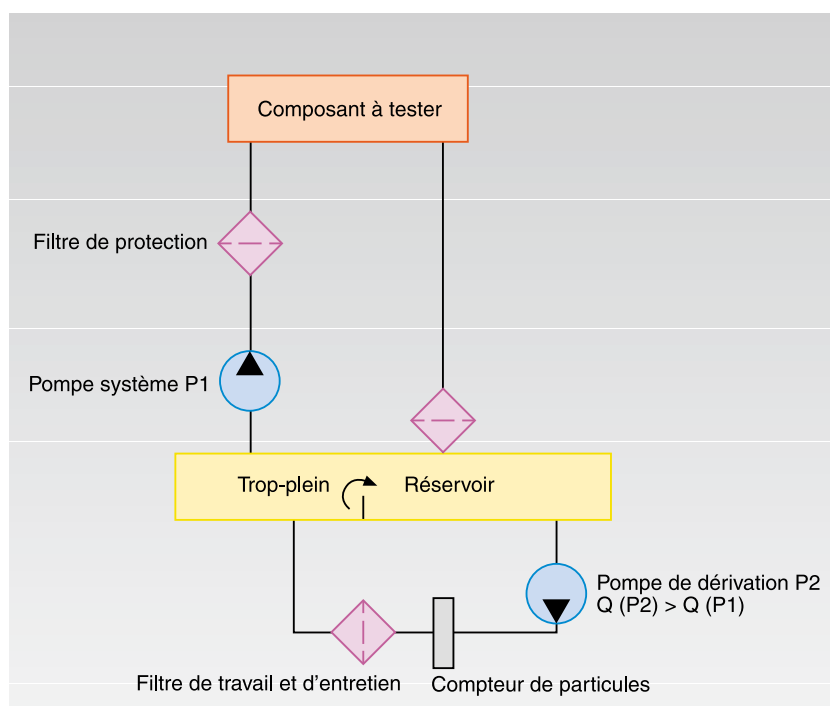
Cela se peut bien, mais un tel procédé s'avère coûteux dans la pratique. Il représente toutefois le premier maillon dans le cadre de la réalisation de mesures de sécurisation du processus en vue de la livraison de systèmes en propreté définie.

Le schéma suivant montre l'équipement de principe de la plupart des bancs d'essais.

Un banc d'essais de fonctionnement assure non seulement le contrôle du fonctionnement, mais aussi le rodage des pièces et des systèmes. A cela s'ajoute encore souvent un effet de rinçage du système à contrôler. Grâce à une mesure d'entretien ciblée des fluides et à une surveillance de la propreté, cet effet de rinçage peut être utilisé pour garantir que les systèmes présenteront à la livraison un état de propreté défini et toujours constant.

La surveillance de la propreté donne des indications sur la stabilité du processus des étapes de fabrication et de rinçage en amont. La propreté des systèmes complets livrés est souvent documentée par une surveillance continue de la propreté du fluide de contrôle. Cela se pratique couramment pour l'hydraulique mobile, les turbines ou les machines à papier à la livraison ou lors de la mise en service afin de montrer au client final que son système a été livré avec la propreté définie.

Fig. 31



1er exemple :

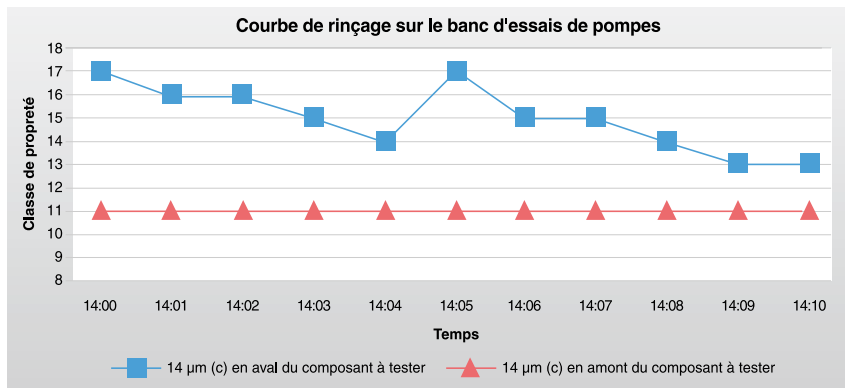
L'étude suivante présente la courbe de rinçage d'une pompe lors de la mise en service* :

La propreté du fluide de contrôle avant le composant à tester est maintenue à une classe ISO de 16 / 14 / 11 (c) grâce à des mesures appropriées. Après 5 minutes de contrôle, le débit de la pompe est amené brièvement à sa valeur maximale. La procédure de contrôle est terminée au bout de 10 minutes.

Dans ce cas, la teneur en polluants du composant à tester au terme de la procédure de contrôle était de 1 mg par kg de masse de composant.

*Chapitre 4 "Analyse de la propreté de systèmes complets sur le banc de rinçage/d'essais"

Fig. 32



Comme le montre la courbe ci-dessus, la concentration en particules diminue continuellement au cours des 4 premières minutes du contrôle. Lorsqu'au bout de 5 minutes, on fait tourner la pompe à pleine charge, la concentration en particules fait un saut. Les 5 minutes suivantes sont à nouveau utilisées pour purifier le système.

Voir aussi chapitre 4.5 „Réalisation d'un examen de propreté sur un banc de rinçage/d'essais". Le banc de rinçage/d'essais qui y est décrit a servi d'élément pilote pour déterminer le temps de rinçage optimal lors du contrôle de fonctionnement des pompes.

Fig. 33

Exemple : banc de contrôle de valves avec une filtration de 5 µm

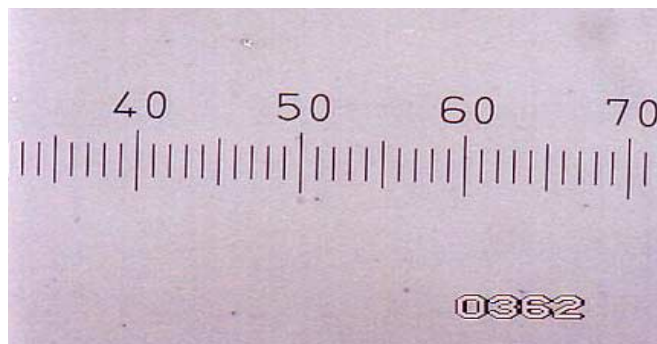


La question est alors la suivante : "Quel est le niveau de propreté des valves qui quittent ce banc d'essais ?".

Il est possible de contrôler la procédure de rinçage en procédant occasionnellement à un désassemblage des valves dans un environnement de propreté définie et à une évaluation de la contamination des différentes pièces.

Fig. 34

Classe de propreté atteinte par le fluide de contrôle : NAS 3



7.3 Stockage, logistique et environnement

Un stockage incorrect des composants est aujourd'hui monnaie courante. Les joints qui sont livrés propres et en sachets sur les chaînes de montage sont déballés et généralement transvasés dans des récipients sales, car cela réduit d'autant le travail de montage. Ces aspects sont généralement négligés alors qu'ils offrent un très important potentiel d'économies facilement utilisable par simple amélioration de l'emballage et du stockage.

7.4 Pièces de sous-traitance et pièces de fabrication interne

Des spécifications de propreté appropriées pour les pièces de fabrication interne comme pour les pièces provenant de sous-traitants permettent dès le départ de minimiser l'introduction de particules dans les systèmes.

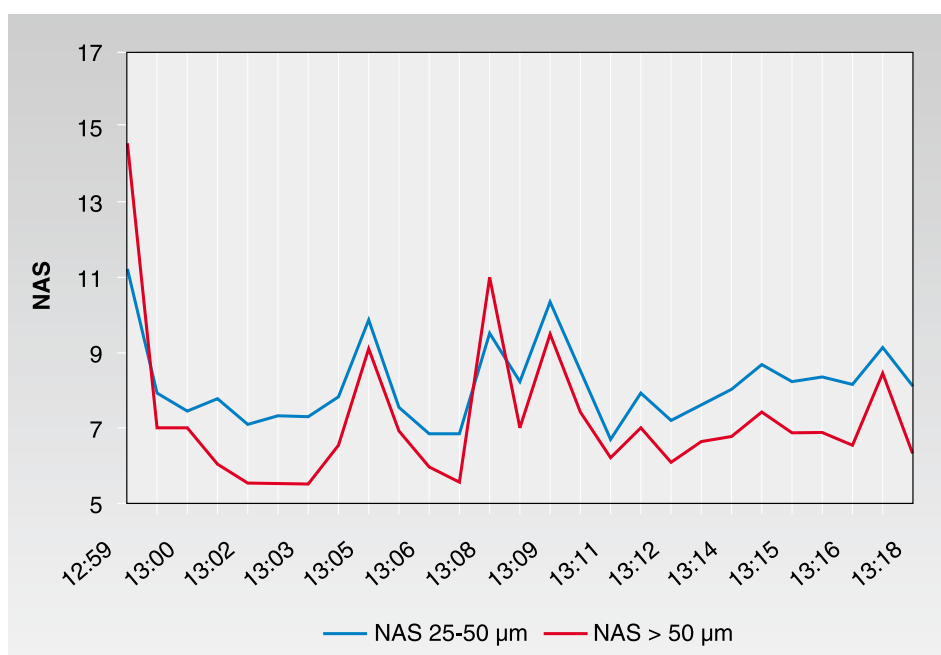
8 Rinçage à la mise en service

Ce procédé est généralement retenu pour de gros systèmes afin de permettre une mise en service avec un minimum d'usure.

La filtration du banc de rinçage doit être conçue de sorte que lors des analyses suivantes, la pollution évacuée du système à contrôler soit éliminée afin de ne pas fausser la mesure suivante. Une autre solution consiste, pendant toute la procédure, à mesurer en parallèle et à consigner la propreté en amont du composant à tester.

Dans l'exemple suivant, le point de prélèvement d'échantillons a été défini directement après la pompe principale, et un compteur de particules en ligne y a été raccordé.

Examen du système hydraulique d'une grue mobile



Le bras a été sorti au bout de 6, 8 et 10 minutes. Il apparaît clairement un phénomène de rinçage de la pollution sédimentée à chaque activation d'une nouvelle fonction.

Dès lors que l'on connaît ce phénomène, on peut réaliser le contrôle de propreté au terme du contrôle de fonctionnement et décrire ainsi la propreté du système au terme de la mise en service.

Il est ainsi possible de réaliser un contrôle de processus rapide et sûr lors du contrôle de série / de la mise en service de systèmes. La courbe de rinçage dans le temps donne des indications sur l'introduction de contaminants lors du montage.

9 Considérations de rentabilité

Le Contamination Management s'articule autour du contrôle des coûts et l'atteinte des objectifs. Le contrôle des coûts porte sur les éléments suivants :

Coûts de garantie et de prise en charge à titre de geste commercial

Coûts énergétiques (p. ex. refroidissement et remise en température de machines à laver lors du remplacement du fluide)

Coûts de bancs d'essais (temps de séjour du composant à tester)

Coûts d'outils sur les machines d'outils (usure accrue du fait d'une forte concentration en particules)

Coûts de fluides (machines à laver, bancs d'essais, machines d'outils)

Coûts de travail (reprise d'usinage, nettoyage de machines à laver, machines d'outils...)

Coûts de filtres

L'examen de rentabilité suivant décrit, à partir d'un exemple, la réussite d'une procédure de Contamination Management.

Dans le cas présent – une chaîne de fabrication dans l'industrie automobile – la cadence de fabrication est de 3000 systèmes par jour. La production s'étend sur 260 jours par an. Dans le cadre d'un Contamination Monitoring, il fût constaté qu'il fallait optimiser la propreté du fluide du banc d'essais fonctionnels, les conditions de stockage intermédiaire et un process d'usinage. L'ordre de grandeur des coûts de cette optimisation étaient les suivants :

Une autre étape a été la transmission d'une prescription de propreté aux sous-traitants, qui sera soumise à une information et à un contrôle périodique.

Effets de cette optimisation :

Usure plus faible des outils lors de l'usinage des surfaces.

Durée de vie accrue des fluides d'usinage.

Efficacité accrue des process de lavage ultérieurs, car l'optimisation du stockage et de l'usinage ont réduit l'apport en polluants.

Espacement de la maintenance des fluides de lavage et de rinçage, d'où une économie de postes de travail durant les week-end.

Moins de défaillances au niveau des bancs d'essais. Autrement dit, en cas d'écart par rapport à la courbe caractéristique, le système est contrôlé jusqu'à 3 fois. Ces "passages à blanc" ont été réduits de 90 %, d'où une augmentation de la productivité.

Réduction de 50 % des coûts de garantie et de gestes commerciaux, car la cause principale des défaillances était la contamination particulière qui entraînait des défauts d'étanchéité et une régulation imprécise du système.

Réduction de la durée de contrôle.

Nous n'avons malheureusement pas été autorisés à publier le détail des économies réalisées. Toutefois, un calcul de rentabilité interne du client a montré que le Contamination Management avait permis d'économiser 0,60 € par système.

Pour une production annuelle de 780.000, l'économie atteint ainsi :

468.000,- €

Ce calcul de rentabilité intégrait également les coûts du Contamination Management (séminaires, coûts d'assistance-conseil, coûts d'analyse).

	Investissement unique [€]	Coûts d'exploitation / an [€]
Bancs d'essais fonctionnels (5)	6.500,- * 5 = 32.500,-	7.500,- * 5 = 35.000,-
Conditions de stockage Couverture des palettes Machine à laver pour le nettoyage des palettes	2.500,- 50.000,-	25.000,-
Process d'usinage Personnel/nettoyage Filtration	750,- * 7 = 5.250,- 1.250,- * 7 = 8.750,-	2.000,- * 7 = 14.000,-
Frais d'assistance-conseil	10.000,-	1.750,-
Total :	109.000,-	75.750,-

10 Contamination Management dans la pratique

Les chapitres précédents se sont attachés à décrire les répercussions de la contamination particulière sur la durée de vie et la fiabilité des systèmes hydrauliques, la manière de spécifier la propreté dans les fluides et sur les composants et le déroulement du Contamination Monitoring.

L'application du Contamination Management entraîne les tâches suivantes pour les partenaires contractuels :

Sous-traitants :

Il faut garantir l'état défini à la livraison des produits. L'emballage des produits à livrer doit être choisi de sorte à ce qu'il n'y ait pas de contamination supplémentaire sur les produits durant le transport et le stockage.

Fabricant de systèmes :

Précautions lors du transport, du stockage et du déballage des produits.

Les produits doivent être maintenus propres après le déballage ou le retrait des obturateurs.

Montage des composants dans un environnement adéquat.

L'exemple suivant décrit comment intégrer ces pièces élémentaires au sein d'une procédure de Contamination Management.

Description des données existantes :

Le système X est fabriqué et commercialisé avec succès depuis des années. Au cours des dernières années, le système X a été perfectionné, et une nouvelle génération – le système Y – a vu le jour. Le système Y présente des performances améliorées, est plus compact que X et fonctionne sous des pressions système plus élevées que le système X. Il en résulte que le système Y est devenu plus sensible à la contamination particulière.

Ceci se manifeste par des écarts plus importants par rapport aux courbes caractéristiques lors du contrôle de fonctionnement. Cet écart n'apparaît plus au bout du deuxième ou du troisième passage de Y au banc d'essais. Les études ont montré que ces dérangements sont provoqués par une contamination particulière grossière.

L'objectif du Contamination Management consiste donc à améliorer le degré de propreté afin d'éliminer ces dérangements sur le banc d'essais et de réduire les coûts de garantie et de gestes commerciaux correspondants.

1ère étape : analyse du fluide de contrôle

Détermination de la propreté du fluide de contrôle. Les examens montrent que la propreté du fluide de contrôle en amont du composant à tester correspond à une classe de propreté de 22 / 20 / 18 selon ISO 4406, avec une taille maximale de particule métallique de 400 µm et une taille maximale de fibre de 3.000 µm.

2ème étape : optimisation du banc d'essais de fonctionnement

L'intégration supplémentaire d'une filtration fine sur le circuit de dérivation afin de maintenir une propreté constante du fluide de contrôle de 15 / 13 / 10 a permis d'éliminer 95 % des écarts par rapport à la courbe caractéristique.

Cette action de sauvetage a permis également de faire chuter les coûts de garantie et de prises en charge à titre de geste commercial.

3ème étape : réduction des coûts de filtration sur les bancs d'essais

La procédure suivante de Contamination Monitoring permet p. ex. de déterminer qu'une part importante de contamination particulière est introduite dans le système par les processus de fabrication et par le biais de pièces de sous-traitance. Cette contamination particulière doit être éliminée du système au niveau du banc d'essais de fonctions qui joue ici le rôle de dernière machine à laver. Ceci entraîne des coûts qui peuvent être évités.

Un concept sera alors élaboré pour optimiser les processus de lavage, d'usinage et de stockage intermédiaire. Une spécification de propreté avec plan de contrôle pour les fluides système et les composants est mise au point. Cette spécification est transmise aux fournisseurs externes et internes, et les composants sont livrés avec une propreté définie de manière fixe et constante.

4ème étape : intégration de la technique de mesure de particules dans l'assurance-qualité

Un détecteur de particules est intégré sur le banc d'essais de

fonctions afin de permettre le contrôle régulier de la qualité des livraisons des systèmes Y. Une valeur limite est définie pour la contamination maximale des fluides de contrôle au niveau retour. En cas de dépassement de cette valeur, il est possible d'intervenir très rapidement et de garantir ainsi qu'aucun système contaminé ne quitte l'usine.

La qualité des composants de sous-traitance est contrôlée sur des échantillons prélevés au hasard. Le cas échéant, les composants sont retournés au fournisseur ou nettoyés à l'usine aux frais du sous-traitant.

5ème étape : analyse de rentabilité

Les coûts générés par l'augmentation des dérangements sur les bancs d'essais ainsi que les coûts de garantie et de prise en charge à titre de geste commercial ont été déterminés au début du Contamination Management.

Ces coûts sont à nouveau déterminés au terme des étapes d'optimisation et comparés aux coûts initiaux.

Les économies réalisées par l'optimisation sont brièvement décrites au chapitre "Considérations de rentabilité".

Dans le cas présent, les économies sont de l'ordre de 468.000 €/an. Ce processus d'optimisation a duré environ 2 ans.

6ème étape : documentation et nouveaux projets

Les informations collectées dans le cadre du Contamination Management sont regroupées dans une base de données et utilisées lors du développement de nouveaux systèmes.

Sur les nouveaux systèmes, il devient habituel de définir non seulement les cotes, les états de surface et les tolérances, mais aussi une quantité de contamination résiduelle. Cette quantité de contamination résiduelle reprend dans un premier temps la spécification valable pour le système Y.

Cette spécification sera adaptée en fonction des expériences acquises sur des prototypes. La propreté et les coûts de nettoyage sont pour l'essentiel déterminés à partir de la conception de nouveaux systèmes.

Bibliographie

- (1) H. Werries, „Einfluss von Fremdpartikeln in Wälzlagern und Maßnahmen zu ihrer Vermeidung“, Universität Hannover 1992
- (2) R.W. Park, Moog Australia Pty Ltd. , „Contamination Control – a hydraulic OEM Perspective“, Monash University- Australia, 1997
- (3) Fluid Power University of Bath, GB “Total Cleanliness Control in Hydraulic Systems”
- (4) ISO 4405:1991 Hydraulik fluid power – Fluid contamination – Determination of particulate contamination by the gravimetric method
- (5) ISO 4406:1999 Hydraulik fluid power – fluids – Code for defining the level of contamination of solid particles
- (6) ISO 4406:1987 Hydraulic fluid power – Fluids – Methods for coding level of contamination by solid particles
- (7) CETOP – RP 94 H – Bestimmung von Feststoff-Teilchen in Hydraulikflüssigkeiten mit Hilfe eines automatischen Teilchenzählgerätes, das nach dem Lichtunterbrechungsprinzip arbeitet.
- (8) ISO 4407:1991 Hydraulic fluid power – Fluid contamination – Determination of particulate contamination by the counting method using a microscope
- (9) ISO 11171:1999 Hydraulic fluid power – Calibration of liquid automatic particle counters
- (10) ISO 4402:1991 Hydraulic fluid power – Calibration of automatic-count instruments for particles suspended in liquids – Method using classified AC Fine Test Dust contaminant.
- (11) NAS 1638: Cleanliness requirements of parts used in hydraulic systems
- (12) Acdelco – Steering- USA, “Remanufacturing Process – Cleanliness”, www.acdelco.com, 2001
- (13) Hydac, Filter-Fluidtechnik, Neuer Teststaub, neue Kalibrierung, neue Filtertestmethoden – Auswirkungen in der Praxis“, 1999

(14) Universität Würzburg
Vorlesung Strömungstechnik

(15) Nancy Carosso, NASA – USA ,
Contamination Engineering Design,
www.de.ksc.nasa.gov/dedev/labs/
cml_lab/CONTMON_DESIGN.html
#1.1

Auteurs

HYDAC Filtertechnik,
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Busch

Dipl.-Ing. Elke Fischer
eficon, Bensheim