

**Version janvier 2018**

## **Factsheet**

### **Fluides de coupe**

**Michael Koller**

Les fluides de coupe sont utilisés pour refroidir et lubrifier lors de l'usinage par enlèvement de copeaux dans l'industrie métallurgique.

Il s'agit d'un groupe extrêmement hétérogène de substances composées d'une huile de base et de différents additifs. Les huiles de base peuvent être des huiles minérales, des huiles d'esters naturelles ou des huiles de synthèse. Les additifs comprennent des biocides, des agents anticorrosion, des émulsifiants, etc. L'utilisation de fluides de coupe produit des substances secondaires, telles que des nitrosamines, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ou des particules métalliques.

Les fluides de coupe peuvent causer des affections des voies respiratoires (principalement irritations et asthme) ou des maladies de peau, ces dernières étant de loin les plus nombreuses (eczéma de contact). Ces atteintes doivent être déclarées à l'assurance-accidents.

Ce factsheet donne un bref aperçu des différents types de fluides de coupe et décrit les principaux tableaux pathologiques. Il présente également de manière succincte les nouvelles valeurs limites d'exposition en vigueur en Suisse.

## 1. Fluides de coupe

Les fluides de coupe servent au refroidissement et à la lubrification dans différents processus d'usinage des métaux. Ils réduisent le frottement entre les parties métalliques, refroidissent la pièce à usiner et diminuent l'usure des outils. Ils permettent aussi d'évacuer les déchets, par exemple les particules métalliques enlevées par usinage. La Suva estime qu'environ 150 000 travailleurs sont exposés à des fluides de coupe en Suisse.

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>Allemand</b> | Kühlschmierstoff   |
| <b>Français</b> | fluides de coupe<br>fluides d'usinage des métaux<br>lubrifiants réfrigérants             |
| <b>Anglais</b>  | metal working fluid (MWF)<br>metal working coolant<br>cutting fluids<br>machining fluids |

Tableau 1: appellations des fluides de coupe

### 1.1. Composants des fluides de coupe

Il existe de nombreux fluides de coupe, de compositions tout aussi diverses. Sur le principe, un fluide de coupe se compose d'une huile de base, d'additifs et de substances secondaires.

#### 1.1.1. Huile de base

L'huile de base peut être une huile minérale, naturelle ou de synthèse.

- **Huiles minérales**

Les huiles minérales sont obtenues à partir du pétrole brut par distillation sous vide. Selon leur degré de raffinage, l'Union européenne en distingue trois groupes: huile de base non raffinée ou légèrement raffinée (*unrefined or mildly refined oil*), huile de base hautement raffinée (*highly refined oil*) et autres huiles lubrifiantes (*other lubricant oil*). Les huiles lubrifiantes (*lubricant oils*) constituent le plus grand groupe. Composées d'hydrocarbures comprenant plus de 15 atomes de carbone, d'un degré de raffinage indéterminé, elles portent différents numéros de registre CAS (DECOS 2010). La plupart des huiles minérales ne servent pas à fabriquer des fluides de coupe mais sont employées dans l'industrie textile, l'imprimerie, l'agriculture, les cosmétiques, l'industrie pharmaceutique ou, plus rarement,

comme brouillard artificiel dans l'industrie du spectacle. Alors que les anciens fluides de coupe se composaient surtout d'huiles minérales sans eau (*straight mineral oil, neat oil* ou *non-soluble oil*), la plupart sont aujourd'hui des émulsions en mélange avec de l'eau.

- **Huiles d'esters naturelles**

Les huiles d'esters naturelles sont des esters d'acide carboxylique d'origine végétale, animale ou marine. Elles produisent peu de vapeurs et sont biodégradables. D'un autre côté, elles vieillissent vite et attaquent les joints d'étanchéité.

- **Huiles de synthèse**

Les huiles de synthèse comprennent, par exemple, les polyalphaoléfines, les polyalkylbenzènes, les polyglycols ou les huiles esters de synthèse (par exemple les esters de triméthylolpropane). Leur composition est précisément définie, elles sont pures, présentent un point d'éclair élevé, une faible tendance à l'évaporation et une faible viscosité, et vieillissent lentement.

### 1.1.2. Additifs

Différents additifs sont normalement ajoutés à l'huile de base, par exemple pour empêcher la prolifération de bactéries dans un fluide de coupe aqueux ou pour émulsifier les huiles entières. Le tableau suivant répertorie quelques additifs fréquemment utilisés:

| Action de l'additif                                       | Exemples d'additifs   |
|---|---|
| Antimicrobien   | Formaldéhyde peu volatil ou composés libérant du formaldéhyde comme les O-formals (acétals et hémiacétals du formaldéhyde) ou les N-formals (aminals ou hémiaminals), par exemple les hexahydrotriazines, imidazolidines, oxazolidines, morpholines, triazines, thiazoles, isothiazolinones ou phénols. |
| Augmentation du pouvoir lubrifiant                        | Huiles grasses  |
| Protection contre la corrosion, l'oxydation et la rouille | Amines (triéthanolamine), aminophosphates, sulfonates, phosphates et thiophosphates, acides alkylsucciniques, borates, acides carboxyliques et sels aminés et alcalins de ceux-ci, amides d'acide carboxylique, nitrites, phénols, zinc.  |
| Réduction de l'usure                                      | Arylphosphates, alkylthiophosphates   |
| Régulation du pH  | Ethanolamines   |

|  |   |
|--|---|
| Réduction de la formation de brouillard ou de mousse | Polyisobutènes, polyorganosiloxanes   |
| Amélioration de l'adhérence                          | Polyméthacrylates, savons d'aluminium fortement polymérisés, acides gras insaturés  |
| Amélioration de l'indice de viscosité                | Polyméthacrylates, polyisobutènes   |
| Prévention du grippage sous haute pression           | Composés organiques chlorés, soufrés ou phosphorés, par ex. esters d'acide dithiophosphorique, dialkyldithiophosphates de zinc, chloroparaffines  |
| Emulsifiants, détergents, activateurs de dissolution | Sulfonates de pétrole, savons alcalins, savons d'amine, tensioactifs, sels de l'acide naphthénique, polyglycoléthers d'alcools gras, phénates, salicylates, sulfonates et alcoolates de métaux. |
| Colorants et parfums                                 |   |

Tableau 2: exemples d'additifs (BIA 1982; DGUV 2009; INRS 2005)

### 1.1.3. Substances secondaires

Pendant l'utilisation d'un fluide de coupe, d'autres agents appelés «substances secondaires» s'y accumulent. Il peut s'agir, par exemple, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), de nitrosamines, de débris et poussières métalliques, de produits de nettoyage, de solvants ou de vernis, de peintures, etc.

- Les **HAP** sont produits lors de la fabrication d'huile minérale à partir du pétrole brut, et aussi pendant l'utilisation du fluide de coupe, sous l'action de la chaleur (jusqu'à 700 °C). Ils peuvent être cancérogènes (voir aussi le chapitre 2.3). Les huiles minérales hautement raffinées et non recyclées utilisées actuellement ne contiennent presque plus de HAP à une concentration notable.
- Les fluides de coupe aqueux peuvent contenir différents **micro-organismes** tels que des moisissures (Candida ou Fusarium) et des bactéries (Pseudomonas, légionelles, mycobactéries) (INRS 2008). Certaines bactéries peuvent causer une alvéolite allergique extrinsèque, d'autres peuvent libérer des endotoxines nocives ou des gaz sulfureux malodorants.
- En outre, les bactéries réduisent les nitrates contenus dans certains fluides de coupe en nitrites. Ces derniers forment, avec les amines secondaires également présentes, des **nitrosamines**, dont certaines sont cancérogènes (voir le chapitre 2.3).

## 1.2. Distinction entre fluides de coupe aqueux et non aqueux

Il existe différentes méthodes pour classer les fluides de coupe, par exemple en distinguant ceux qui sont à base d'huile minérale et d'huile synthétique, ou encore ceux qui sont aqueux de ce qui ne le sont pas. Dans les pays germanophones, on utilise habituellement la classification suivante:

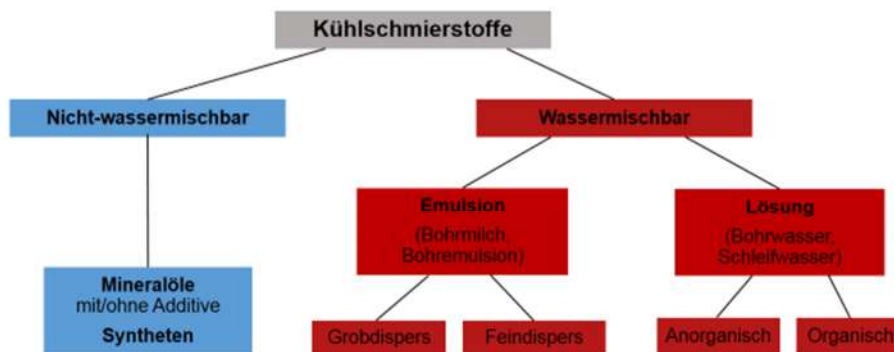


Fig. 1: classification des fluides de coupe (adapté d'après le site schleifoel.de]

### 1.2.1. Fluides de coupe non aqueux

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>Allemand</b> | Bohröl<br>Schleiföl<br>Schmieröl<br>Walzöl                                |
| <b>Français</b> | fluides non aqueux<br>huiles entières<br>hydrocarbures de synthèse (rare) |
| <b>Anglais</b>  | straight oil<br>neat oil<br>non-soluble oil                               |

Tableau 3: appellations des fluides de coupe non aqueux

Les fluides de coupe non aqueux sont principalement utilisés comme lubrifiants (*lubricants* en anglais). Il s'agit principalement d'huiles minérales et d'autres huiles, généralement utilisées aujourd'hui avec des additifs qui peuvent représenter jusqu'à 40 % du fluide de coupe. Ils ne sont pas dilués à l'eau (INRS 2008)(NIOSH 1998b; OSHA 1999)(DECOS 2010).

### 1.2.2. Fluides de coupe aqueux

Les fluides de coupe aqueux sont principalement utilisés comme liquides de refroidissement (*coolants* en anglais). On distingue les émulsions, les microémulsions et les solutions de synthèse:

#### *Emulsions*

Il s'agit d'émulsions huile-dans-eau avec 30 à 85 % d'huile de base, stabilisée par des émulsifiants. La proportion d'eau est variable et l'aspect laiteux (DECOS 2010)(INRS 2008).

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>Allemand</b> | grobdisperse Bohrmilch oder Bohremulsion                                     |
| <b>Français</b> | émulsions<br>huiles solubles<br>lubrifiants (réfrigérants) miscibles à l'eau |
| <b>Anglais</b>  | soluble oil or emulsifiable oil metal working fluids                         |

Tableau 4: appellations des émulsions

#### *Microémulsions*

Il s'agit d'émulsions fines contenant entre 5 et 20 % d'huile de base dans l'eau, différents émulsifiants et des substances de synthèse. Leur aspect est opalescent (DECOS 2010) (INRS 2008).

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>Allemand</b> | feindisperse Bohrmilch oder Bohremulsion  |
| <b>Français</b> | microémulsions<br>lubrifiants (réfrigérants) semi-synthétiques<br>fluides semi-synthétiques |
| <b>Anglais</b>  | semisynthetic fluids  |

Tableau 5: appellations des micro-émulsions

#### *Fluides synthétiques*

Ce terme désigne des solutions aqueuses ne contenant pas du tout d'huile de base. La solution est composée de 70 à 95 % d'additifs de synthèse. Elle est transparente.

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>Allemand</b> | synthetische Lösungen                   |
| <b>Français</b> | lubrifiants (réfrigérants) synthétiques |

|                |   |
|----------------|---|
|                | fluides synthétiques <sup>1</sup><br>solutions vraies |
| <b>Anglais</b> | synthetic fluids <sup>2</sup>                         |

Tableau 6: appellations des fluides synthétiques

### 1.3. Prélèvement et analyse des fluides de coupe dans l'air

Au cours du travail, il se produit à la fois un dégagement d'aérosols de fluides de coupe (brouillard d'huile, *Nebel* en allemand, *mist* en anglais) et de vapeurs de fluides de coupe (*Dampf* en allemand, *vapour* en anglais).

#### 1.3.1. Aérosols

Les aérosols sont de fines particules en suspension dans l'air. Dans le cas d'un brouillard, il s'agit de gouttelettes. Le meulage et le tournage produisent de grosses particules et le fraisage de petites particules (Piacitelli et al. 2001). La formation d'aérosols est plus importante lors de l'usinage à grande vitesse et du travail avec des fluides de coupe non aqueux qu'à plus petite vitesse et avec des produits aqueux. Il faut tenir compte du fait que les aérosols contiennent non seulement la substance de base mais aussi des additifs et des impuretés. Tous leurs constituants peuvent provoquer des effets indésirables au niveau de la peau et des poumons. Les particules d'aérosols de petites dimensions (fraction alvéolaire, diamètre aérodynamique < 5 µm) parviennent dans les régions les plus profondes des poumons (Cohen and White 2006). Les plus grosses causent surtout des irritations des voies respiratoires et des yeux et des nuisances olfactives. Outre les constituants, l'osmolalité joue aussi un rôle dans l'effet toxique.

La norme européenne EN 481 (481 1993) distingue quatre fractions dans les aérosols:

- **fraction totale**  
toutes les particules en suspension dans un volume donné d'air
- **fraction inhalable (= *inhalable* = *inspirable fraction*)**  
toutes les particules qui peuvent être inhalées par le nez et la bouche
- **fraction thoracique**  
toutes les particules pénétrant au-delà du larynx
- **fraction alvéolaire (= *respirable fraction*)**  
toutes les particules qui atteignent les voies respiratoires non ciliées

La fraction la plus associée aux effets des fluides de coupe sur la santé est la fraction inhalable. La nouvelle valeur limite d'exposition pour les aérosols, valable

<sup>1</sup> A la différence des «fluides synthétiques», les «huiles synthétiques» sont des fluides de coupe non aqueux (*huiles entières*) à base d'huiles de synthèse

<sup>2</sup> En revanche, les «synthetic oils» sont des fluides de coupe non aqueux (*straight oils*) à base d'huiles de synthèse.

en Suisse, concerne donc cette fraction. Pourtant, de nombreuses études utilisent aujourd'hui encore la fraction totale qui était habituellement mesurée dans le passé, et certains comités en charge de fixer des valeurs limites d'exposition se basent sur cette valeur. Le NIOSH aux Etats-Unis utilise pour sa part la fraction thoracique comme limite recommandée.

Afin de pouvoir comparer les résultats des études et les valeurs limites auxquelles se rapportent les différentes fractions d'aérosols, il faut convertir ces fractions, ce qui n'est pas particulièrement facile. Différents auteurs et comités ont défini des facteurs de conversion que l'on peut utiliser, à titre d'approximation et avec prudence (DECOS 2010)(DECOS 2010; Hallock et al. 1994; Lillienberg et al. 2008; Park 2012; Verma et al. 2006; Werner et al. 1996; Wilsey et al. 1996; Woskie et al. 1994; Woskie et al. 2003)(Verma 2007).

A noter que la fraction d'aérosols «totale» mesurée ne coïncide pas avec la fraction «totale» de la norme EN 481 mentionnée plus haut. En effet, la fraction «totale» mesurée est inférieure à la fraction «inhalable», ce qui peut paraître paradoxal à première vue. La raison en est qu'elle se rapporte à une méthode de mesure (par exemple la méthode 5524 du NIOSH) et non à la définition de la norme EN 481 (Verma et al. 2006).

### 1.3.2. Vapeurs

On appelle vapeur la phase gazeuse d'une substance liquide, qui se situe au-dessus de la phase liquide. Les fluides de coupe qui dégagent des vapeurs sont principalement des huiles à bas point d'ébullition et faible viscosité, portées à haute température et à faible saturation dans l'air.

L'interprétation des mesures d'aérosols doit tenir compte du fait que les aérosols présents sur le filtre s'évaporent pendant la mesure (effet *blow-off*) (Verma et al. 2006). La concentration d'aérosol proprement dite est alors faussée à la baisse (Raynor et al. 2000; Simpson 2003). Si l'on veut mesurer toute la quantité de fluide de coupe, il faut également retenir la vapeur qui se forme dans une cartouche de filtre en aval et l'analyser. L'importance de l'évaporation dépend entre autres des paramètres suivants (Galea et al. 2012; Raynor et al. 2000; Steinsvag et al. 2006):

- Volatilité (c.-à-d. point d'ébullition ou d'éclair) du fluide de coupe
- Viscosité
- Débit pendant la mesure
- Température
- Concentration de brouillard (saturation de l'air)
- Durée de la mesure ou de la conservation
- Filtre(s) (?)

Une étude de l'IST à Lausanne datant de 2009 a montré que les aérosols d'une huile légère à point d'éclair bas s'évaporaient entièrement du filtre pendant une



mesure de quatre heures (Khanh Huynh 2009). On notera que les aérosols s'évaporent du filtre non seulement pendant la mesure mais aussi pendant le temps où le filtre est conservé en attendant l'analyse en laboratoire. Plus la température est basse pendant cette conservation, plus l'évaporation est réduite (Verma et al. 2006) (Simpson 2003). La Suva conserve donc toujours les échantillons fermés au réfrigérateur avant les mesures, sépare les fluides de coupe du filtre et de la résine dès que possible après le prélèvement et garde les extraits bouchés au réfrigérateur jusqu'à l'analyse. Une étude interne à la Suva a démontré que l'évaporation était minime dans ces conditions: les quotients d'évaporation vapeur/(vapeur+brouillard) de différents échantillons n'apparaissent en effet pas nettement dépendants de la durée de conservation (Koller 2014).

Pour les raisons qui précèdent, les valeurs limites d'exposition fixées pour les aérosols sont probablement trop basses. Toutefois, comme cela est généralement le cas de toutes les études et mesures et qu'aucun facteur de correction n'est appliqué la plupart du temps, les résultats peuvent être comparés, avec les précautions requises.

### 1.3.3. Méthodologie de mesure de la Suva

Les mesures de la Suva tiennent compte aussi bien des aérosols que des vapeurs. Les aérosols (fraction inhalable) sont recueillis sur un filtre en fibres de verre et la vapeur sur un adsorbant à la résine (XAD-2), placé dans une cartouche en aval. La méthode de la Suva présentée dans le tableau 8 (inspirée de celle de la BGIA) convient pour les fluides de coupe aqueux et non aqueux dont le point d'éclair est supérieur à 100 °C (les fluides de coupe volatils sont mesurés et analysés de la même manière que les solvants).

|  |   |
|--|---|
| 1. Collecte des aérosols                                       | Filtre en fibres de verre   |
| 2. Collecte des vapeurs  | Résine XAD-2  |
| 3. Extraction ou désorption du fluide de coupe                 | C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> <sup>3</sup>   |
| 4. Elimination du solvant de désorption et des autres solvants | Evaporation de C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> et des solvants volatils, si la chromatographie en phase gazeuse en met en évidence |
| 5. Mesure  | Infrarouges (après filtration)  |

Tableau 7: méthode de la Suva pour analyser les fluides de coupe

La méthode de la Suva permet de mesurer aussi bien les aérosols que les vapeurs. Il n'y a pas en principe d'interactions avec d'autres composés organiques volatils (COV) du fait de l'évaporation. L'inconvénient de la méthode de la Suva est que la

---

<sup>3</sup> C<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub> est utilisé comme agent de désorption parce qu'il ne possède pas de liaisons C-H et ne perturbe donc pas l'analyse infrarouge.

séparation entre les solvants contenant une composante moyennement volatile et les fluides de coupe contenant des fractions très volatiles n'est pas optimale.

## 2. Maladies liées aux fluides de coupe

### 2.1. Maladies de peau

Les atteintes à la santé les plus fréquentes en relation avec les fluides de coupe concernent la peau. Elles surviennent le plus souvent par contact direct. Dans une étude finlandaise, environ 1,6 travailleur sur 1000 par an souffrait d'une maladie de peau (Suuronen et al. 2007). En 2012, la Suva a reconnu 105 maladies de peau imputables à des fluides de coupe, soit 19 % de l'ensemble des maladies de peau reconnues.

La maladie de peau la plus fréquemment associée aux fluides de coupe est l'**eczéma de contact** irritatif (dermite de contact irritative, dermatite d'irritation), qui représente environ 60 % des cas de maladies de peau reconnus par la Suva. L'eczéma de contact allergique est en deuxième position avec 30 % des cas reconnus par la Suva. Dans l'étude finlandaise évoquée plus haut, les biocides étaient les causes d'eczéma de contact aigu les plus fréquentes dans la métallurgie, avec un tiers des cas (Suuronen et al. 2007).

L'eczéma de contact irritatif résulte principalement d'un contact répété avec des fluides de coupe basiques aqueux ou des additifs. Le dégraissage et la déshydratation constants de la peau entraînent des irritations. En outre, la peau peut être préalablement lésée par des particules métalliques, l'environnement humide ou un lavage avec des détergents et en frottant trop énergiquement. L'atteinte concerne les mains (surtout le dos des mains) dans les deux tiers des cas, les avant-bras dans un autre tiers et rarement d'autres parties du corps (transmission aérogène, vêtements contaminés). Les eczémats allergiques sont plus rares et principalement causés par les biocides (notamment le formaldéhyde, les isothiazolinones, les butylcarbammates), les émulsifiants (par exemple les éthanolamines ou la colophane) et les métaux (Suuronen et al. 2007). Il est cependant fréquent que l'on ne puisse pas incriminer un constituant précis du fluide de coupe dans cet effet indésirable.

Les huiles minérales pures n'ont qu'un faible pouvoir irritant ou sensibilisant au niveau de la peau et ne pénètrent presque pas à travers la peau intacte. Il n'en reste pas moins qu'elles peuvent provoquer des «**boutons d'huile**» (folliculite), des **granulomes** (après inoculation intradermique accidentelle), des **mélanoses** (en cas d'irritation et d'exposition aux UV simultanées) et des **kératoses** (Alomar 1994; DECOS 2010; NIOSH 1998a).

Dans de rares cas, on observe parmi les utilisateurs de fluides de coupe des cas de dépigmentation des extrémités évoquant un vitiligo (**leucodermie**). Ces lésions sont causées par les phénols utilisés comme antioxydants dans ces produits.

Les pathologies cancéreuses liées aux fluides de coupe comprennent les **carcinomes épidermoïdes** et les **mélanomes malins**. Les carcinomes épidermoïdes étaient autrefois causés par les HAP contenus dans les huiles minérales peu raffinées.

## 2.2. Affections des voies respiratoires

Les atteintes des voies respiratoires sont nettement plus rares que les maladies de peau (DGUV 2009). Au cours des dix dernières années, la Suva a reconnu environ 9 cas de maladies respiratoires par an comme maladies professionnelles en Suisse.

Ces affections sont causées principalement par les aérosols (brouillards). Bien que les vapeurs soient plus concentrées que les brouillards, il semble qu'elles soient moins toxiques et puissent être tolérées à des concentrations beaucoup plus élevées (Simpson et al. 2000) (Concawe 1981). L'une des raisons possibles est que la majeure partie des vapeurs inhalées sont à nouveau exhalées tandis que les aérosols se déposent dans les poumons sous forme de gouttelettes. En outre, les additifs et substances secondaires sont surtout présents dans les brouillards et non dans les vapeurs. C'est pourquoi la plupart des valeurs limites d'exposition internationales concernent les aérosols. Il est souvent impossible de déterminer, parmi les nombreux constituants d'un fluide de coupe, lesquels sont responsables d'une toxicité respiratoire (DECOS 2010; NIOSH 1998a); cependant, l'huile minérale figure clairement au second plan dans l'effet toxique.

Les maladies respiratoires suivantes sont décrites en relation avec les fluides de coupe:

- **La toux et l'hypersécrétion** sont principalement le résultat d'une exposition à des fluides de coupe synthétiques ou semi-synthétiques.
- L'**asthme** peut survenir avec tous les types de fluides de coupe, le risque étant plus élevé avec les fluides aqueux ou synthétiques qu'avec les produits non aqueux (Robertson et al. 2007).
- Tous les types de fluides de coupe peuvent occasionner des symptômes respiratoires chroniques tels qu'**irritations des voies respiratoires, bronchite** ou **diminution de la fonction pulmonaire** (NIOSH 1998a). Les fluides de coupe aqueux sont les principaux responsables des irritations (AGS 2003). Il n'est pas encore certain que l'exposition aux fluides de coupe puisse causer des atteintes pulmonaires chroniques telles qu'une BPCO. Il n'existe actuellement aucune étude faisant le lien entre des mesures quantitatives de l'exposition aux fluides de coupe et l'apparition d'une BPCO (Picciotto et al. 2014).
- Les **alvéolites allergiques extrinsèques** (AAE) (en anglais *hypersensitivity pneumonitis*) surviennent en cas d'exposition à certaines bactéries et moisissures qui peuvent se multiplier dans les fluides de coupe aqueux, par exemple des mycobactéries (*Mycobacterium chelonae* ou *Mycobacterium*

immunogenum) et certaines espèces de *Pseudomonas*, *Legionella*, *Acinetobacter*, *Fusaria* ou *Candida* (DECOS 2010; INRS 2008). Afin d'éviter la prolifération de ces micro-organismes pathogènes dans les fluides de coupe, on ajoute à ceux-ci des biocides qui peuvent eux-mêmes parfois causer des irritations ou des allergies respiratoires ou cutanées. Les bactéries sensibles au biocide peuvent aussi être supplantées par des espèces résistantes qui provoquent alors à leur tour une AAE.

- Les huiles minérales sont peu toxiques. A des concentrations très élevées (que l'on ne rencontre plus dans le secteur de la construction métallique), elles peuvent provoquer des **pneumopathies lipidiques**, des **granulomes pulmonaires** ou des **fibroses pulmonaires**. Elles sont phagocytées dans les poumons par des macrophages spumeux (*foamy macrophages*). Ceux-ci passent ensuite dans les vaisseaux et ganglions lymphatiques du médiastin et libèrent les huiles minérales dans la rate et les tissus adipeux.

## 2.3. Cancers

### 2.3.1. Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

L'utilisation d'une huile minérale à haute température (jusqu'à 700 °C) peut produire des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) comme substances secondaires. Jusqu'au milieu des années 1970, de nombreuses huiles minérales contenaient des HAP dès leur production car elles étaient alors fréquemment peu raffinées. Aujourd'hui, elles sont le plus souvent hautement raffinées et, tant qu'elles ne sont pas recyclées, ne contiennent plus de HAP à des concentrations préoccupantes (Dalbey and Biles 2003).

Les HAP provoquent notamment des cancers de la peau (décrits pour la première fois en 1775 par Sir Percival Pott sur le scrotum de ramoneurs), mais aussi de la vessie et d'autres organes. Les huiles minérales non raffinées et peu raffinées contenant des HAP sont donc classées comme cancérogènes avérés par le règlement CLP et par le CIRC. Dans le cas des huiles hautement raffinées, il n'existe pas d'indications suffisantes d'un potentiel cancérogène ou génotoxique (DECOS 2010). Celles-ci sont donc classées dans la catégorie 3 (inclassables quant à leur cancérogénicité pour l'homme) par le CIRC.

Le DMSO extrait peut être utilisé comme marqueur de substitution pour déterminer la concentration en HAP. Dans l'Union européenne, les huiles minérales dont la fraction de DMSO dépasse 3 % sont classées dans la catégorie de cancérogènes 1B (substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé) et celles dont la fraction de DMSO est inférieure à 3 % ne sont pas classifiées.

### 2.3.2. Nitrosamines

Des nitrosamines peuvent être produites lorsque le fluide de coupe contient des amines secondaires (par exemple de diéthanolamine ou de morpholine) et des substances nitrosantes telles que des nitrites qui réagissent ensemble. La présence

de nitrites est due à la réduction des nitrates par des bactéries dans les fluides de coupe aqueux. Diverses nitrosamines sont cancérigènes, par exemple la nitroso-diéthylamine (NDEA) et la nitrosodiméthylamine (NDMA), qui sont classées dans la classe de cancérigènes 1B (substances dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est supposé) dans la liste suisse des valeurs limites d'exposition et dans le groupe 2A (substances probablement cancérigènes pour l'homme) par le CIRC. Afin d'éviter la formation de nitrosamines, il vaut mieux utiliser, autant que possible, des fluides de coupe ne contenant pas d'amines secondaires. En outre, on peut utiliser des inhibiteurs de nitrosation car des amines nitrosables provenant d'autres sources peuvent être introduites dans le fluide de coupe au cours du travail.

### 2.3.3. Métaux

D'autres substances cancérigènes peuvent se mélanger aux fluides de coupe, comme les oxydes de nickel et autres **métaux cancérigènes** qui provoquent par exemple des cancers du poumon.

## 2.4. Autres maladies et dangers

- Infection de plaies à la suite de la colonisation bactérienne dans les fluides de coupe aqueux (DGUV 2009)
- Risque de chute accru à cause de la formation de films de fluide de coupe sur le sol
- Formation de mélanges explosifs
- Exposition à d'autres substances toxiques (formaldéhyde, N-nitroso-oxazolidine, alkanolamines primaires...)

## 3. Prévention

### 3.1. Mesures d'hygiène du travail

Les mesures d'hygiène du travail suivent le **principe STOP**:

1. Mesures de **s**ubstitution
2. Mesures d'ordre **t**echnique  
(confinement, aspiration à la source, ventilation, cloisonnement des locaux, etc.)
3. Mesures d'ordre **o**rganisationnel  
(formation et information des travailleurs, règles de manipulation des fluides de coupe, etc.)
4. Mesures **p**ersonnelles (équipement de protection individuelle)

Le tableau ci-dessous donne quelques règles générales pour l'utilisation des fluides de coupe et des systèmes de circulation :

| <b>Paramètre de mesure</b>          | <b>Importance / Méthode</b>  |
|-------------------------------------|--|
| Aspect                              | Substances étrangères visibles (boue/huiles étrangères)  |
| Odeur                               | Impuretés diverses   |
| Réfraction                          | Concentration, contamination microbienne   |
| pH (6,5 à 10, souvent entre 8 et 9) | Contamination microbienne (provoque une baisse du pH)  |
| Dureté de l'eau dH°                 | dH° élevée: problèmes de stabilité<br>dH° basse: moussage  |
| Test de moussage                    | Agiter 30 secondes. Si la mousse disparaît au bout de 15 secondes, le test est réussi.   |
| Nombre de germes                    | Au besoin, ajouter un biocide et désinfecter aux UV  |
| Principal germe                     | Colonisation par un micro-organisme non pathogène  |
| Concentration de nitrites           | En Allemagne: < 20 mg/l<br>Utiliser un inhibiteur de nitrosation<br>Acheter des fluides de coupe ne contenant pas de nitrates ou ne pas ajouter de nitrates. |

Tableau 8: facteurs à prendre en compte pour le contrôle et l'entretien des fluides de coupe

Cette publication est axée sur les questions de médecine du travail. S'agissant des mesures d'hygiène du travail, nous renvoyons par conséquent à la littérature spécialisée, par exemple à la liste de contrôle de la Suva, réf. 67056, «Lubrifiants et fluides de coupe», à la liste de contrôle de la Suva, réf. 67035 ainsi qu'au feuillet d'information réf. 44074 «Protection de la peau au travail», au portail Internet allemand [www.kuehlschmierstoffe.de](http://www.kuehlschmierstoffe.de), à la publication BGR/GUV-R 143 «Tätigkeiten mit Kühlschmierstoffen» de la DGUV ou à la liste de substances mise à jour périodiquement de la norme DIN 51385 publiée par le Verband Schmierstoff-Industrie (VSI) en Allemagne.

### 3.2. Mesures de médecine du travail

La Suva ne propose pas à proprement parler de **programmes de prévention en médecine du travail** pour les fluides de coupe. En revanche, il en existe pour différents métaux ou pour les entreprises industrielles en général. Les entreprises utilisant des fluides de coupe peuvent être assujetties à ces programmes de la Suva si la nécessité en a été reconnue. Le choix d'un tel programme dépend de l'évaluation des risques (effectuée par exemple par un spécialiste MSST). Il est possible de mettre en place une surveillance par monitoring biologique d'une substance, ce qui n'est cependant pas simple à définir en raison de l'hétérogénéité des fluides de coupe. On peut trouver des propositions d'examen préventifs dans le domaine de la médecine du travail auprès du NIOSH, de l'OSHA ou de la DGUV.

## 4. VME pour les fluides de coupe

Pour évaluer le succès des mesures d'hygiène et de médecine du travail, il est possible d'utiliser les VME pour les fluides de coupe et leurs différents constituants. Depuis 2016, la Suisse a fixé trois nouvelles valeurs limites d'exposition pour les fluides de coupe: une pour les huiles minérales pures et deux pour les fluides de coupe en général:

|   |   |
|---|---|
| <b>Huiles minérales pures, hautement raffinées</b>  | 5 mg d'aérosol/m <sup>3</sup> (i)       |
| <b>Fluides de lubrification (et leurs additifs)</b> | 1 mg d'aérosol/m <sup>3</sup> (i)       |
|   | 10 mg (aérosol + vapeur)/m <sup>3</sup> |

Tableau 9: valeurs limites d'exposition au poste de travail valables en Suisse pour les huiles minérales et les fluides de coupe. i = fraction inhalable.

Des indications détaillées sur la définition des nouvelles valeurs limites d'exposition se trouvent dans l'article (Koller 2014). Les points les plus importants de ces explications sont résumés ci-après.

### 4.1. A propos de la valeur limite d'exposition pour les huiles minérales

De nos jours, on n'utilise presque plus d'huiles minérales pures et hautement raffinées (sans additifs) comme fluides de coupe. Il est cependant utile de fixer une

valeur limite d'exposition car les huiles minérales sont utilisées dans d'autres domaines: cosmétiques, divertissement, aéronautique (simulation de fumée pour les entraînements). La valeur limite d'exposition pour la Suisse se fonde sur différentes études expérimentales sur l'animal et sur l'avis de comités étrangers (notamment le CSLEP et l'ACGIH).

Les huiles minérales pures très raffinées ne sont pas cancérigènes mais leur utilisation peut produire des substances cancérigènes. Elles sont donc classées dans la catégorie de cancérigènes C2 (attention: nouvelle notation selon le règlement CLP). Il n'existe pas d'autres notations car les huiles minérales ne causent pas de sensibilisation, ne sont pas notablement résorbées par la peau et ne sont pas reprotoxiques.

#### **4.2. A propos de la valeur limite d'exposition pour les fluides de coupe**

Il est extrêmement difficile de fixer des valeurs limites d'exposition pour les fluides de coupe (et leurs additifs) car il s'agit de mélanges hétérogènes, de composition très diverse. Il existe en outre des différences au niveau des méthodes de mesure (aérosols ou vapeur, différentes fractions d'aérosols), des méthodes d'analyse (gravimétrie, spectroscopie, avec ou sans étapes d'extraction), de conception des études sur lesquelles se fondent les valeurs limites, de prise en compte des facteurs de confusion (par exemple du tabagisme) ou de la définition du diagnostic (par exemple de l'asthme). Il n'est donc pas possible de fixer une valeur limite d'exposition pour la protection de la santé qui serait uniformément applicable à tous les fluides de coupe et leurs additifs. Pourtant, il est important que les hygiénistes du travail et les entreprises elles-mêmes aient une idée de la façon dont ils peuvent classer une exposition.

La nouvelle valeur limite d'exposition pour les fluides de coupe s'appuie principalement sur une étude interne de la Suva concernant l'exposition aux fluides de coupe et la fréquence des maladies professionnelles qui leur sont liées (Koller 2014). Elle est fixée en tenant compte en particulier des maladies respiratoires non allergiques, sachant que les maladies respiratoires allergiques et les atteintes d'autres organes tels que la peau ne sont pas (ou moins clairement) dépendantes de la dose. Les maladies respiratoires sont surtout liées à la concentration d'aérosols de fluide de coupe et moins à celle des vapeurs. Les résultats sont comparés à des études récentes et aux justifications des valeurs limites d'exposition aux fluides de coupe des comités internationaux (en particulier du NIOSH et du DE-COS).

Deux valeurs limites d'exposition ont été fixées, l'une pour la concentration des aérosols et l'autre pour la concentration totale:

##### **4.2.1. Valeur limite de la concentration des aérosols**

La limite de la **concentration des aérosols** des fluides de coupe est fixée à  $1 \text{ mg/m}^3$  (i). Cette valeur se situe au 90<sup>e</sup> percentile des concentrations mesurées



par la Suva sur les 10 dernières années. Pendant cette période, il n'y a pratiquement pas eu de maladies des voies respiratoires irréversibles de nature non respiratoire (attention au risque de sous-signalisation et à l'absence de suivi à long terme des patients). Cette observation doit être mise dans la balance avec le grand nombre de travailleurs (environ 150 000) qui entrent en contact avec des fluides de coupe. En outre, la valeur de  $1 \text{ mg/m}^3$  (i) se situe au même niveau que la plupart des autres valeurs limites d'exposition internationales pour les fluides de coupe et que les concentrations en dessous desquelles aucun effet indésirable grave ne s'est produit dans la plupart des études. Cela dit, les études et les valeurs limites d'exposition internationales se basent parfois sur des fractions d'aérosols différentes (inhalable, thoracique, totale) et leurs valeurs doivent être converties en la fraction inhalable habituellement utilisée en Suisse, ce qui entraîne des imprécisions (voir tableau 7). Quelques études récentes suggèrent en outre que des effets indésirables légers pourraient survenir même en dessous de  $1 \text{ mg/m}^3$  (i).

#### 4.2.2. Valeur limite de concentration totale

La nouvelle valeur limite de concentration totale est fixée à  $10 \text{ mg/m}^3$ . Pour autant que nous sachions, seules la Suisse et l'Autriche appliquent actuellement des valeurs limites de concentration totale pour les fluides de coupe. En outre, aucune étude ne met en évidence un rapport dose-effet quand on utilise la concentration totale. Nous avons néanmoins jugé utile de fixer une valeur limite de concentration totale car c'est la valeur mesurée historiquement en Suisse et parce que l'on sait, par expérience, que la visibilité dans les ateliers et la formation d'un film glissant sur le sol sont corrélées à la concentration totale. La base de la nouvelle valeur limite est la valeur arrondie au 90<sup>e</sup> percentile des mesures des 10 dernières années, soit  $10 \text{ mg/m}^3$ . Il s'agit là d'une valeur strictement technique, qui n'a pas de rapport avec les considérations sur la santé. Elle correspond à l'ancienne valeur totale de la DFG (abandonnée) et à la moitié de la valeur totale autrichienne et se situe en dessous du 90<sup>e</sup> percentile de  $17 \text{ mg/m}^3$  cité dans une étude allemande de 2006 (Breuer 2006).

#### 4.2.3. A propos des notations

Les fluides de coupe forment une catégorie très hétérogène et il n'est pas possible de les affecter à une catégorie de cancérigènes. Leur utilisation pouvant néanmoins produire des substances secondaires cancérigènes, ils ont été classés dans la classe de cancérigènes C2 (nouvelle notation selon le règlement CLP). Ils ont également reçu une notation S en raison du risque de sensibilisation de par leurs

additifs (biocides et autres). Les fluides de coupe ne sont pas absorbés par la peau en quantité significative dans des conditions normales. Ils n'ont généralement pas de propriétés reprotoxiques. Si certaines substances contenues dans les fluides de coupe font l'objet de notations ou de valeurs limites d'exposition, il convient évidemment d'en tenir compte.

## 5. L'essentiel en bref pour la pratique

- Les fluides de coupe sont un groupe de substances hétérogène, comprenant différents constituants: une huile de base, associée à divers additifs (biocides, agents anticorrosion, émulsifiants, etc.). Leur utilisation peut produire des substances secondaires (par ex. nitrosamines, HAP ou particules métalliques), qui ne se forment que lorsque le produit est mis en œuvre.
- Les atteintes à la santé causées par les fluides de coupe prennent principalement la forme de dermatoses, et notamment d'un eczéma de contact.
- Les maladies respiratoires sont moins fréquentes. Il s'agit surtout d'irritations et d'asthme, sans oublier l'alvéolite allergique extrinsèque.
- Grâce à l'utilisation d'huiles minérales hautement raffinées et pures, il ne devrait presque plus y avoir de cas de cancer désormais si les fluides de coupe sont utilisés correctement et si leur mise en œuvre ne produit pas de substances secondaires cancérigènes.
- L'application correcte des mesures d'hygiène et de médecine du travail peut aider à réduire la fréquence des atteintes à la santé.
- Si des maladies cutanées ou respiratoires surviennent chez des personnes entrant en contact avec des fluides de coupe, il y a lieu d'explorer la possibilité d'une maladie professionnelle dans le diagnostic différentiel. Outre l'anamnèse (y compris une anamnèse du travail détaillée) et l'examen, on peut envisager une visite du lieu de travail. Si une maladie professionnelle est suspectée, le cas doit être signalé à l'assurance-accidents compétente.

### Abréviations

|       |   |
|-------|---|
| ACGIH | American Conference of Governmental Industrial Hygienists<br>(Etats-Unis) |
| AGS   | Ausschuss für Gefahrstoffe (Allemagne)                                    |

|       |   |
|-------|---|
| MSST  | Médecins du travail et autres spécialistes de la sécurité au travail        |
| BGIA  | Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (Allemagne)           |
| CLP   | Classification, Labelling and Packaging (règlement CE)                      |
| BPCO  | Broncho-pneumopathie chronique obstructive                                  |
| DECOS | Dutch Expert Committee on Occupational Safety (Pays-Bas)                    |
| DGUV  | Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Allemagne)                         |
| DMSO  | Diméthylsulfoxyde   |
| AAE   | Alvéolite allergique extrinsèque  |
| CIRC  | Centre international de recherche sur le cancer                             |
| INRS  | Institut national de recherche et de sécurité (France)                      |
| IST   | Institut universitaire romand de Santé au Travail                           |
| VME   | Valeur limite d'exposition au poste de travail                              |
| NDEA  | Nitrosodiéthylamine   |
| NDMA  | Nitrosodiméthylamine  |
| NIOSH | National Institute for Occupational Safety and Health (Etats-Unis)          |
| OSHA  | Occupational Safety and Health Administration (Etats-Unis)                  |
| HAP   | Hydrocarbures polycycliques aromatiques                                     |
| EPI   | Equipements de protection individuelle                                      |
| CSLEP | Comité scientifique en matière de limites d'exposition professionnelle (UE) |
| COV   | Composés organiques volatils  |
| VSI   | Verband der Schmierstoffindustrie (Allemagne)                               |

## Bibliographie

- 481 E (1993) Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles. The European Standard EN 481.,
- AGS (2003) TRGS 901-72. Luftgrenzwerte für komplexe kohlenwasserstoffhaltige Gemische. BArbBl.
- Alomar A (1994) Occupational Skin Disease from Cutting Fluids. *Occup Dermatoses* 12(3):537-546
- BIA (1982) Die Beurteilung von Mineralölkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz. Mineralöle als Kühlschmierstoffe, vol 3. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit
- Breuer GG, N.; von Hahn, N.; Range, D. (2006) Kühlschmierstoffe und sonstige komplexe kohlenwasserstoffhaltige Gemische in Arbeitsbereichen. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 66(10):399-405
- Cohen H, White EM (2006) Metalworking fluid mist occupational exposure limits: a discussion of alternative methods. *Journal of occupational and environmental hygiene* 3(9):501-7 doi:10.1080/15459620600867872
- Concawe (1981) Guidelines for the determination of atmospheric concentrations of oil mists. Concawe, Den Haag
- Dalbey WE, Biles RW (2003) Respiratory toxicology of mineral oils in laboratory animals. *Applied occupational and environmental hygiene* 18(11):921-9 doi:10.1080/10473220390237548
- DECOS (2010) Aerosols of mineral oils and metalworking fluids (containing mineral oils), vol 2011/12, The Hague
- DGUV (2009) BGR/GUV-R-143. Tätigkeiten mit Kühlschmierstoffen. DGUV
- Galea KS, Searl A, Sanchez-Jimenez A, et al. (2012) Oil mist and vapour concentrations from drilling fluids: inter- and intra-laboratory comparison of chemical analyses. *The Annals of occupational hygiene* 56(1):61-9 doi:10.1093/annhyg/mer078
- Hallock MF, Smith TJ, Woskie SR, Hammond SK (1994) Estimation of historical exposures to machining fluids in the automotive industry. *American journal of industrial medicine* 26(5):621-34
- INRS (2005) Captage et traitement des aérosols de fluides de coupe, vol ED 972,
- INRS (2008) Contamination des fluides de coupe aqueux et prévention des risques biologiques. *hygiène et sécurité du travail* 211(2):31-43
- Khanh Huynh CH, H.; Parrat, J.; Wolf, R.; Perret, V. (2009) Occupational Exposure to Mineral Oil Metalworking Fluid (MWFs) Mist: Development of New Methodologies for Mist Sampling and Analysis. Results from an Inter-laboratory Comparison. *Journal of Physics: Conference Series* 151:1-17
- Koller MF (2014) Evaluation der Schweizer Richtwerte am Arbeitsplatz für Kühlschmierstoffe. MAS ETH UNIL Work & Health, ETH Zurich and University Lausanne
- Lillienberg L, Burdorf A, Mathiasson L, Thorneby L (2008) Exposure to metalworking fluid aerosols and determinants of exposure. *The Annals of occupational hygiene* 52(7):597-605 doi:10.1093/annhyg/men043
- NIOSH (1998a) Criteria for a Recommended Standard. Occupational Exposure to Metalworking Fluids. NIOSH, Cincinnati
- NIOSH (1998b) What you need to know about occupational exposure to metalworking fluids, vol 116,

- OSHA (1999) Final Report of the OSHA Metalworking Fluids Standards Advisory Committee. Occupational Safety and Health Administration, p 202
- Park D (2012) The occupational exposure limit for fluid aerosol generated in metalworking operations: limitations and recommendations. *Safety and health at work* 3(1):1-10 doi:10.5491/shaw.2012.3.1.1
- Piacitelli GM, Sieber WK, O'Brien DM, Hughes RT, Glaser RA, Catalano JD (2001) Metalworking fluid exposures in small machine shops: an overview. *AIHAJ : a journal for the science of occupational and environmental health and safety* 62(3):356-70
- Picciotto S, Chevrier J, Balmes J, Eisen EA (2014) Hypothetical interventions to limit metalworking fluid exposures and their effects on COPD mortality: G-estimation within a public health framework. *Epidemiology (Cambridge, Mass)* 25(3):436-43 doi:10.1097/ede.0000000000000082
- Raynor PC, Volckens J, Leith D (2000) Modeling evaporative loss of oil mist collected by sampling filters. *Applied occupational and environmental hygiene* 15(1):90-6 doi:10.1080/104732200301890
- Robertson W, Robertson AS, Burge CB, et al. (2007) Clinical investigation of an outbreak of alveolitis and asthma in a car engine manufacturing plant. *Thorax* 62(11):981-90 doi:10.1136/thx.2006.072199
- Simpson AT (2003) Comparison of methods for the measurement of mist and vapor from light mineral oil-based metalworking fluids. *Applied occupational and environmental hygiene* 18(11):865-76 doi:10.1080/10473220390237386
- Simpson AT, Groves JA, Unwin J, Piney M (2000) Mineral oil metal working fluids (MWFs)-development of practical criteria for mist sampling. *The Annals of occupational hygiene* 44(3):165-72
- Steinsvag K, Bratveit M, Moen BE (2006) Exposure to oil mist and oil vapour during offshore drilling in Norway, 1979-2004. *The Annals of occupational hygiene* 50(2):109-22 doi:10.1093/annhyg/mei049
- Suuronen K, Aalto-Korte K, Piipari R, Tuomi T, Jolanki R (2007) Occupational dermatitis and allergic respiratory diseases in Finnish metalworking machinists. *Occupational medicine (Oxford, England)* 57(4):277-83 doi:10.1093/occmed/kqm011
- Verma DK (2007) Relationships between inhalable, thoracic, and respirable aerosols of metalworking fluids. *Journal of occupational and environmental hygiene* 4(4):266-71 doi:10.1080/15459620701212994
- Verma DK, Shaw DS, Shaw ML, Julian JA, McCollin SA, des Tombe K (2006) An evaluation of analytical methods, air sampling techniques, and airborne occupational exposure of metalworking fluids. *Journal of occupational and environmental hygiene* 3(2):53-66 doi:10.1080/15459620500471205
- Werner MA, Spear TM, Vincent JH (1996) Investigation into the impact of introducing workplace aerosol standards based on the inhalable fraction. *The Analyst* 121(9):1207-14
- Wilsey PW, Vincent JH, Bishop MJ, Brosseau LM, Greaves IA (1996) Exposures to inhalable and "total" oil mist aerosol by metal machining shop workers. *American Industrial Hygiene Association journal* 57(12):1149-53 doi:10.1080/15428119691014260
- Woskie SR, Smith TJ, Hallock MF, et al. (1994) Size-selective pulmonary dose indices for metal-working fluid aerosols in machining and grinding

operations in the automobile manufacturing industry. American Industrial Hygiene Association journal 55(1):20-9 doi:10.1080/15428119491019221  
Woskie SR, Virji MA, Hallock M, Smith TJ, Hammond SK (2003) Summary of the findings from the exposure assessments for metalworking fluid mortality and morbidity studies. Applied occupational and environmental hygiene 18(11):855-64 doi:10.1080/10473220390237377