

## Valeurs limites d'exposition aux postes de travail

Explications  
concernant les  
valeurs VME et VBT

Valeurs admissibles pour  
les agents physiques

Valeurs indicatives  
pour les contraintes  
corporelles

# Valeurs limites d'exposition aux postes de travail

Explications concernant les valeurs admissibles pour les substances chimiques\*  
(valeurs VME et VBT actuelles: [www.suva.ch/valeurs-limites](http://www.suva.ch/valeurs-limites))

Valeurs admissibles pour les agents physiques

Valeurs indicatives pour les contraintes corporelles

\* Vous trouverez les valeurs (limites) moyennes d'exposition (VME) et les valeurs biologiques tolérables (VBT) actuellement en vigueur sur [www.suva.ch/valeurs-limites](http://www.suva.ch/valeurs-limites). Les valeurs limites d'exposition aux postes de travail sont publiées par la Suva en vertu de l'art. 50 al.3 de l'ordonnance du Conseil fédéral du 19 décembre 1983 sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles. Cette publication se fait en accord avec la Commission des valeurs limites d'exposition de l'Association suisse de médecine, d'hygiène et de sécurité au travail (suissepro).

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Valeurs (limites) moyennes d'exposition (VME)</b>	<b>6</b>	1.3.3	Explications concernant des substances cancérogènes spécifiques	16
			1.3.3.1	Substances cancérogènes sans VME	16
1.1	Remarques préliminaires	6	1.3.3.2	Formation de nitrosamines cancérogènes à partir d'amines	16
1.1.1	Définition de la VME	6	1.3.3.3	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	17
1.1.2	VLE calculée sur une courte durée	6	1.3.3.4	Amiante	18
1.1.3	Explications; conditions requises	7	1.3.3.5	Fibres synthétiques et poussières fibreuses	18
1.1.4	Rappel de certaines responsabilités exécutives	8	1.3.3.6	Chrome(VI) dans les procédés selon ORRChim	19
1.1.5	Comparaison entre VME et DNEL	8	1.4	<b>Substances mutagènes (notation M)</b>	20
1.2	Symboles RSO <sup>B</sup> BP	10	1.5	<b>Substances reprotoxiques (notation R)</b>	21
1.2.1	R (Résorption transcutanée)	10	1.6	<b>Lien entre l'effet toxique sur le fœtus et la VME (notations SS)</b>	23
1.2.2	S (Sensibilisateurs)	10			
1.2.3	O <sup>B</sup> (Ototoxicité, interaction entre le bruit et les substances chimiques)	10			
1.2.4	B (Monitoring biologique)	11			
1.2.5	P (Valeur provisoire)	11			
1.3	Substances cancérogènes (notation C)	12			
1.3.1	Définition des catégories C	12			
1.3.2	Substances cancérogènes avec et sans seuil de concentration	13			
1.3.2.1	Généralités	13			
1.3.2.2	Substances cancérogènes sans seuil de concentration	14			
1.3.2.3	Substances cancérogènes avec seuil de concentration	15			

<b>1.7</b>	<b>Poussières et nanoparticules</b>	<b>24</b>	<b>2</b>	<b>Valeurs biologiques tolérables (VBT)</b>	<b>39</b>
1.7.1	Aérosols	24	2.1	<b>Remarques préliminaires</b>	<b>39</b>
1.7.2	Poussières sans effet spécifique (poussières granulaires biopersistantes, PGB)	26	2.1.1	Prévention en médecine du travail et monitoring biologique	39
1.7.3	Nanoparticules et particules ultrafines	27	2.1.2	Valeur biologique tolérable: définition	40
1.7.4	Substances responsables de sensibilisation (poussières de farine)	28	2.1.3	Interprétation	40
1.7.5	Risques biologiques, poussières et aérosols comportant un risque biologique	29	2.1.4	Structure de la liste des VBT	41
1.7.6			2.1.5	VBT pour les substances cancérogènes des catégories C1 <sub>A</sub> et C1 <sub>B</sub>	42
1.7.7			2.1.6	Contrôle de qualité des analyses	42
<b>1.8</b>	<b>Sujets spéciaux</b>	<b>30</b>	<b>3</b>	<b>Valeurs admissibles pour les agents physiques aux postes de travail</b>	<b>43</b>
1.8.1	Appréciation du risque pour la santé des substances sans VME	30	3.1	<b>Radiations ionisantes</b>	<b>43</b>
1.8.2	Mélanges de substances	32	3.2	<b>Radiations non ionisantes</b>	<b>44</b>
1.8.3	Substances neurotoxiques	33	3.2.1	Lasers	44
1.8.4	Peroxydes organiques	34	3.2.2	Ultra-violets	44
1.8.5	Liquides de refroidissement et de lubrification, huiles minérales	34	3.2.3	Rayonnement dans le spectre visible et infrarouge (rayonnement incohérent)	46
1.8.6	Composés métalliques solubles	35	3.2.4	Champs électromagnétiques	47
1.8.7	Plomb et ses composés	35			
<b>1.9</b>	<b>Surveillance par analyse</b>	<b>37</b>			
1.9.1	Adresses	37			
1.9.2	Unités	38			
1.9.3	Substances pouvant simultanément apparaître sous forme de vapeur et d'aérosol	38			

<b>3.3</b>	<b>Bruit et vibrations</b>	<b>50</b>
3.3.1	Bruit continu	50
3.3.2	Bruit impulsif	50
3.3.3	Ultrasons	50
3.3.4	Infrasons	50
3.3.5	Vibrations main-bras	51
3.3.6	Vibrations corps entier	51
<b>3.4</b>	<b>Milieu hyperbare</b>	<b>51</b>
3.4.1	Gaz et vapeurs	52
3.4.2	Poussières et aérosols	52
<b>3.5</b>	<b>Chaleur (rayonnement infrarouge)</b>	<b>53</b>
<hr/>		
<b>4</b>	<b>Valeurs indicatives pour les contraintes corporelles</b>	<b>54</b>
4.1	Remarques préalables	54
4.2	Valeur indicative de poids (manutention de charges)	55

# 1 Valeurs (limites) moyennes d'exposition (VME)

## 1.1 Remarques préliminaires

### 1.1.1 Définition de la VME

Dans la présente monographie, **la VME indique la concentration moyenne** dans l'air des postes de travail en un polluant donné qui, en l'état actuel des connaissances, ne met pas en danger la santé de la très grande majorité des travailleurs sains qui y sont exposés, et ceci pour une durée de 42 heures hebdomadaires, à raison de 8 heures par jour, pendant de longues périodes. Le polluant en question peut être sous forme de gaz, de vapeur ou de poussière.

### 1.1.2 VLE calculée sur une courte durée

La VME ci-dessus définie est une moyenne, calculée pour une exposition de 8 heures par jour. Dans la vie de tous les jours, les concentrations en polluant dans l'air des locaux de travail varient souvent de façon considérable au cours du temps. Pour nombre de polluants, les dépassements de la concentration moyenne doivent être limités si l'on veut éviter des atteintes à la santé.

En se fondant sur les connaissances toxicologiques et d'hygiène du travail actuelles, des limites d'**intensité**, de

**temps** et de **fréquence** ont été fixées pour ces dépassements.

Dans les listes de valeurs qui suivent, ces limites sont indiquées, là où elles existent, dans la colonne VLE.

La **valeur limite d'exposition calculée sur une courte durée (VLE)** est la valeur qui ne doit pas être dépassée même pendant une courte durée. Cela signifie en pratique que la valeur moyenne mesurée sur 15 minutes ne doit pas dépasser la VLE. Pour les substances irritantes ou causant une sensibilisation des voies respiratoires, la VLE reflète en règle générale l'exposition moyenne au cours de toute la période de travail (en d'autres termes, la VME). Pour les substances ayant un effet par résorption cutanée ou systémique, la VLE peut être plus élevée parce que la VME a souvent pour but d'empêcher non pas les phénomènes aigus mais la toxicité cumulée. Lorsque la VLE est plus élevée que la VME, quatre dépassements de 15 minutes de la VME par période de travail, jusqu'au niveau de la VLE, sont autorisés au maximum. Le délai entre les quatre pics d'exposition autorisés par période de travail doit être d'au minimum une heure.

La VME doit toujours être respectée.

Pour les substances fortement irritantes, des pics de concentration de courte durée risquent de dépasser le seuil de nocivité.

### 1.1.3 Explications; conditions requises

**Les VME permettent d'apprécier les dangers pour la santé** encourus à un poste de travail où l'on a dosé telle ou telle concentration de substance dans l'air. En fixant une VME, on ne tient pas compte seulement de la toxicité de la substance, mais d'autres facteurs également, comme par exemple une action caustique, des effets allergisants ou notamment désagréables, ainsi que le pouvoir de pénétration à travers la peau.

Les VME ne représentent pas une limite nette entre concentrations inoffensives et concentrations dangereuses.

Le fait qu'une concentration soit inférieure à la VME n'assure pas que toutes les personnes qui y sont exposées la supportent sans dommage; la santé d'individus particulièrement sensibles, ou maladifs, peut néanmoins être atteinte; à l'inverse, les personnes exposées pendant un court laps de temps à des concentrations supérieurs à la VME ne tomberont pas forcément malades. Pour fixer les VME, on a tenu compte dans la mesure du possible des **variations de la sensibilité individuelle** en fonction,

À la catégorie des individus particulièrement sensibles appartiennent par exemple ceux dont la peau ou les voies respiratoires sont sensibilisées à certaines substances industrielles. Celles-ci peuvent déclencher chez eux, à de très faibles concentrations déjà, des réactions allergiques (d'hypersensibilité). Dans ces cas, le respect de la VME n'offre qu'une sécurité limitée.

notamment, de l'âge, du sexe, de la constitution, de l'état de nutrition, du climat, ainsi que du stress physique ou psychique que comporte le travail effectué.

Les VME et les valeurs limites pour les agents physiques (voir chap. 3) permettent à la Suva d'évaluer les risques d'atteinte à la santé à un poste de travail donné (maladie professionnelle), et, si nécessaire, de s'orienter sur les mesures techniques et médicales propres à prévenir l'apparition de maladies professionnelles.

À des concentrations inférieures à la valeur limite, certaines substances peuvent présenter des dangers d'une autre nature, par exemple un risque d'explosion. Cette publication ne traite pas de ces phénomènes dangereux.

#### Les VME sont fixées en se fondant

- sur des données épidémiologiques: fréquence de troubles de santé caractéristiques en fonction des concentrations en toxiques dans l'air
- sur des observations expérimentales
- sur des déductions par analogie et d'autres considérations expérimentales

Il faut que la substance étudiée soit suffisamment bien connue pour ce qui est de sa toxicologie et du point de vue de la médecine du travail. On accordera plus d'importance aux observations faites chez l'être humain qu'aux considérations découlant d'expériences ou d'analogies. Les VME doivent être constamment réévaluées en fonction des connaissances nouvelles, c'est pourquoi la présente liste est régulièrement mise à jour.

#### 1.1.4 Rappel de certaines responsabilités exécutives

En plus de la garantie du respect des VME, l'employeur doit veiller à ce que ses collaborateurs soient instruits des dangers particuliers que présente leur activité et des moyens propres à les neutraliser. Cette instruction doit se faire une première fois avant le début de l'activité, puis être répétée à des intervalles de temps appropriés. L'employeur doit aussi veiller à ce que les mesures de prévention soient appliquées. De leur côté, les travailleurs sont tenus de suivre les directives de l'employeur, de respecter les prescriptions de sécurité et d'utiliser les équipements de protection individuelle (OPA).

#### 1.1.5 Comparaison entre VME et DNEL

##### VME

Les VME sont des valeurs limites juridiquement contraignantes visant à protéger la santé des travailleurs. Elles sont émises par la Suva en vertu de l'art. 50 al. 3 OPA et publiées dans la liste suisse des valeurs limites d'exposition. Cette publication se fait en accord avec la Commission des valeurs limites de l'Association suisse de médecine, d'hygiène et de sécurité du travail (Suissepro). Cette Commission se compose d'experts provenant des universités, de la Confédération, des cantons et de l'industrie ainsi que de médecins du travail et d'hygiénistes du travail engagés dans la pratique sans oublier des représentants de la Suva. Avant d'être publiée dans la présente liste des valeurs limites d'exposition, chaque VME est définie sur la base de connaissances scientifiques, après examen de sa faisabilité. Il existe des règles de base pour définir une VME.

Les experts les appliquent à chaque substance en fonction de l'évaluation. Les spécialistes tiennent compte notamment de la qualité des études référencées, de la nature et de la dangerosité de l'effet toxique, de l'écart entre les doses testées expérimentalement et de nombreux autres facteurs. Bien entendu, les différents comités internationaux n'ont pas la même appréciation de ces facteurs, ce qui explique les écarts entre les valeurs limites d'exposition officielles des différents pays. La liste suisse des valeurs limites d'exposition contient quelques centaines de VME.

##### DNEL

Les DNEL<sup>1</sup> ou niveaux dérivés sans effet sont déterminés par l'industrie, dans le cadre de l'enregistrement des substances chimiques dans l'EEE en vertu du règlement REACH<sup>2</sup> (CE 1907/2006). Cette réglementation exige des fabricants et importateurs dans l'EEE qu'ils calculent un DNEL pour chaque substance chimique fabriquée ou importée dans l'EEE en quantités égales ou supérieures à 10 tonnes par an. À ce jour (2016), cela concerne environ 30 000 substances, soit un nombre bien supérieur à celui des VME.

<sup>1</sup> DNEL = Derived No Effect Level  
(niveau dérivé sans effet)

<sup>2</sup> REACH = Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (enregistrement, évaluation et autorisation des substances chimiques ainsi que restrictions applicables à ces substances)

Les DNEL ne sont pas fixés par un comité scientifique mais déterminés par l'entreprise concernée, suivant une méthode mise au point par l'ECHA<sup>3</sup> dont l'algorithme est décrit dans un guide publié par cet organisme<sup>4</sup>. Les valeurs calculées sont publiées sur le site Internet de l'ECHA. Le comité d'évaluation des risques (CER) de l'ECHA définit des DNEL dits de référence pour les substances extrêmement préoccupantes (SVHC) soumises à autorisation.

La démarche stricte employée permet de calculer rapidement des DNEL pour les très nombreux produits chimiques commercialisés par l'entreprise. Il est possible que les DNEL soient différents d'un fabricant à l'autre pour une même substance parce qu'ils ont été calculés différemment (sur la base d'études différentes, avec d'autres facteurs d'extrapolation, avec une composition différente, etc.). Parfois ils peuvent aussi se différencier fortement des VME officielles parce que l'évaluation et les buts du calcul ne sont pas les mêmes.

## Protection des travailleurs en vertu de la LAA

Les VME et les DNEL sont indiqués sur la fiche de données de sécurité des substances et doivent être respectés conformément à la législation sur les produits chimiques. S'il existe à la fois une VME suisse et un DNEL pour une substance, c'est la VME qui fait foi en Suisse pour la protection des travailleurs dans le cadre de la LAA, puisqu'elle est juridiquement contraignante. Si un DNEL est plus bas que la VME et ne peut pas être atteint avec les mesures de gestion des risques de l'entreprise, une publication de l'UE recommande de prendre contact avec le fournisseur pour qu'il vérifie ses DNEL.<sup>5</sup> S'il n'existe pas de VME pour une substance en Suisse (ce qui est le cas de la grande majorité des substances chimiques), l'employeur doit évaluer le risque, soit lui-même soit en faisant appel à un spécialiste MSST. Il peut utiliser pour cela la fiche de données de sécurité indiquant le DNEL (le cas échéant), les VME d'autres comités et leurs justifications, des études, d'autres publications, etc. L'activité spécifique au poste de travail en question doit aussi être prise en considération.

<sup>3</sup> ECHA = Agence européenne des produits chimiques

<sup>4</sup> Guide des exigences d'information et évaluation de la sécurité chimique, chapitre R.8: Characterisation of dose [concentration]-response for human health

<sup>5</sup> Recommandations provisoires pour les inspections nationales du travail concernant l'utilisation des valeurs limites d'exposition professionnelle (LEP), des niveaux dérivés sans effet (DNEL) et des niveaux dérivés avec effet minimal (DMEL) lors de l'examen de l'efficacité du contrôle de l'exposition à des substances chimiques sur le lieu de travail

## 1.2 Symboles RSO<sup>B</sup>BP

### 1.2.1 R (résorption transcutanée)

Certaines substances pénètrent dans l'organisme non seulement par les voies respiratoires, mais également au travers de la peau. Il en résulte un accroissement notable de la charge toxique interne de l'individu exposé. Pour certains produits (p. ex. aniline, nitrobenzène, nitroglycol, phénols, quelques pesticides) la résorption transcutanée est même si importante qu'elle peut aboutir à des intoxications dangereuses même en l'absence de toute inhalation.

En cas d'exposition aux substances marquées d'un **R**, l'appréciation de la contamination externe par des dosages dans l'air ou dans des prélèvements sur les objets au poste de travail peut donc aboutir à une sous-estimation de l'intensité réelle de la charge toxique interne. Dans ce cas, il faut également pratiquer un monitoring biologique pour évaluer les dangers d'intoxication au poste de travail.

### 1.2.2 S (sensibilisateurs)

Les substances marquées d'un **S** provoquent particulièrement souvent des réactions d'hypersensibilité (maladies allergiques). Une fois l'hypersensibilité établie (p. ex. de la peau ou des voies respiratoires), l'exposition au produit déclenche plus ou moins rapidement des troubles allergiques plus ou moins intenses, selon les prédispositions de l'individu. Même le respect de la VME ne donne aucune assurance contre la survenue de telles réactions. Ceci s'applique en particulier aux poussières de céréales (froment, seigle), à l'amylase, aux acry-

lates, à la colophane et au latex. L'indication «S» doit inciter à une prudence toute particulière lors de l'emploi de ces substances.

### 1.2.3 O<sup>B</sup> (ototoxicité, interaction entre le bruit et les substances chimiques)

Une exposition au bruit peut endommager les cellules de l'oreille interne et provoquer un déficit auditif temporaire (assourdissement) ou permanent (surdité). Des études épidémiologiques ainsi que sur l'animal ont révélé que certaines substances pouvaient aussi causer un déficit auditif et/ou renforcer l'effet du bruit sur l'ouïe.

Les données concernant les effets ototoxiques proviennent souvent d'essais sur l'animal, lors desquels les concentrations des substances en question sont nettement supérieures à la VME et/ou le niveau sonore est plus élevé que les 85 dB(A) autorisés en Suisse. Malgré cela, il n'est pas possible d'exclure la possibilité que l'effet nocif du bruit puisse être amplifié chez l'homme aux postes de travail.

Les **substances ototoxiques** qui peuvent renforcer l'effet nuisible du bruit pour l'ouïe chez les travailleurs sont marquées d'un «O<sup>B</sup>».

Les substances ototoxiques pour lesquelles une interaction avec le bruit ne peut pas être démontrée de manière suffisante ne sont pas signalées d'un O<sup>B</sup>. Elles comprennent, par exemple, le plomb, le mercure, le disulfure de carbone ou le p-xylène (liste non exhaustive). De plus, certains médicaments, toxines

virales et bactériennes, substances addictives etc. sont ototoxiques; ces substances ne sont pas considérées dans cette publication.

Une perte auditive notable est peu probable si les valeurs limites d'exposition à des substances ototoxiques au poste de travail sont respectées<sup>6</sup>. L'interaction entre le bruit et les substances ototoxiques marquées d'un «O<sup>B</sup>» doit être prise en compte dans l'appréciation des risques. En cas d'exposition problématique à ces substances, des mesures techniques et organisationnelles de réduction du bruit ou le port d'une protection auditive doivent être recommandés, parfois même si l'exposition est inférieure à 85 dB(A). La notion d'«exposition problématique» se réfère aux concentrations de substances utilisées lors des essais d'ototoxicité, parfois supérieures à la VME. La question de savoir si le respect des valeurs limites, pour les substances visées, offre une protection suffisante contre les conséquences de l'interaction avec le bruit n'aura de réponse précise que dans le futur, une fois que des études complémentaires auront été menées.

#### 1.2.4 B (monitoring biologique)

Les substances pour lesquelles existent des données fiables permettant de fixer une valeur biologique tolérable (voir chap. 2) pouvant être mesurée en Suisse dans des laboratoires spécialisés sont signalées par la lettre **B**.

#### 1.2.5 P (valeur provisoire)

Les VME des substances ainsi marquées ne sont pas encore définitivement établies, pour diverses raisons. Pour les valeurs limites existant jusqu'à présent, «P» signifie que la valeur est actuellement en cours de révision en fonction de nouvelles connaissances scientifiques.

<sup>6</sup> DGUV: Ototoxische Arbeitsstoffe. Positions-  
papier des Arbeitskreises  
«Lärm» im Ausschuss Arbeitsmedizin  
der DGUV (avril 2018)

## 1.3 Substances cancérogènes (notation C)

### 1.3.1 Définition des catégories C

Depuis 2016, les substances cancérogènes sont classées en trois catégories C<sub>1<sub>A</sub></sub>, C<sub>1<sub>B</sub></sub> et C<sub>2</sub>, sur la base du SGH et du règlement CLP<sup>7</sup>. Le choix des mots tient compte en outre des définitions de la classification du CIRC. On se reportera aux documents d'origine pour plus de précisions.

L'affectation d'une substance dans une catégorie de la liste suisse des valeurs limites d'exposition est indépendante du règlement CLP et peut donc parfois être différente de celui-ci.

La liste suisse des valeurs limites d'exposition utilisait jusqu'à 2015 la classification de la DFG. Les tableaux suivants comparent les anciennes classes (jusqu'à 2015) avec les nouvelles catégories (dès 2016). Les phrases H correspondantes du règlement CLP y figurent également.

Jusqu'à 2015	Dès 2016	Phrase H
C <sub>1</sub>	C <sub>1<sub>A</sub></sub>	H350
C <sub>2</sub>	C <sub>1<sub>B</sub></sub>	H350
C <sub>3</sub>	C <sub>2</sub>	H351

### Catégorie C1

- Catégorie C<sub>1<sub>A</sub></sub> (anciennement C<sub>1</sub>): substances que l'on **sait** être cancérogènes pour l'homme. Le classement s'appuie principalement sur des preuves obtenues chez l'homme.
- Catégorie C<sub>1<sub>B</sub></sub> (anciennement C<sub>2</sub>): substances **probablement** cancérogènes pour l'homme. Le classement s'appuie principalement sur des preuves obtenues sur l'animal.

### Catégorie C2 (anciennement C<sub>3</sub>)

Substances **potentiellement** cancérogènes chez l'homme. Le classement dans la catégorie 2 s'appuie sur des preuves issues d'études sur l'homme et/ou l'animal justifiant une suspicion d'effet cancérogène mais insuffisantes pour un classement de la substance dans la catégorie C1.

Sont considérés comme «agents cancérogènes» dans la CMRD<sup>8</sup> de l'UE uniquement les substances ou mélanges qui répondent aux critères de classification dans la catégorie C<sub>1<sub>A</sub></sub> ou C<sub>1<sub>B</sub></sub> des agents cancérogènes.

<sup>7</sup> Règlement CLP = Règlement (CE) n° 1272/2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges

<sup>8</sup> CMRD = directive 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérogènes ou mutagènes ou à des substances reprotoxiques au travail.

### 1.3.2 Substances cancérogènes avec et sans seuil de concentration

#### 1.3.2.1 Généralités

Les dégradations de l'ADN sont fréquentes: il s'en produit des milliers chaque jour dans les cellules de l'organisme. La plupart ne sont pas définitives, soit parce que la cellule peut les réparer, soit parce qu'elle en meurt. Il arrive toutefois qu'une altération définitive et héréditaire de l'ADN (mutation) se produise. Si elle affecte certaines régions de l'ADN, par exemple un gène suppresseur de tumeurs ou un proto-oncogène, elle peut constituer la première étape de l'apparition d'un cancer. La formation d'un cancer est un processus en plusieurs étapes (modèle «multi-étapes»).

1. Initiation: apparition d'une mutation, autrement dit d'une altération définitive et héréditaire de l'ADN
2. Promotion: multiplication clonale de la cellule affectée par l'initiation, produisant une lésion prénéoplasique
3. Progression: dégénérescence maligne de la lésion prénéoplasique à la suite de nouvelles altérations génétiques
4. Métastatisation: propagation des cellules cancéreuses dans d'autres parties du corps

On distingue plusieurs groupes de substances cancérogènes, selon leur mécanisme d'action. Pour comprendre la notion de seuil de concentration cancérogène, il est important de distinguer les cancérogènes génotoxiques et non génotoxiques (y compris épigénétiques). Les définitions diffèrent selon les auteurs et les groupes de travail. Dans la liste suisse des valeurs limites d'exposition, nous divisons les différentes substances cancérogènes de la manière suivante:

Les cancérogènes génotoxiques agissent sur l'ADN, soit directement soit par l'intermédiaire d'un de leurs métabolites. Dans le premier cas, on parle de génotoxiques directs, dans le deuxième cas de génotoxiques indirects. Les alkyles sont des exemples de cancérogènes génotoxiques directs. Les HAP, les nitratosamines, les amines aromatiques et les carbamates sont des exemples de génotoxiques indirects.

Les cancérogènes génotoxiques ont souvent un effet initiateur sur le développement du cancer, mais ils peuvent aussi être impliqués dans les étapes suivantes du processus.

Les substances génotoxiques peuvent provoquer des mutations de gènes ou des altérations de la structure et du nombre des chromosomes (aberrations chromosomiques). Les mutations génétiques peuvent apparaître à la suite d'insertion ou de cassure d'ADN qui causent des défauts de lecture du brin d'ADN lors de la réplication. On observe, par exemple, des modifications (aberrations) de la structure des chromosomes après des ruptures de brin entraînant la perte ou l'assemblage défectueux de parties du chromosome. Les substances provoquant de telles ruptures dans les chromosomes sont appelées clastogènes. Le nombre de chromosomes peut aussi changer (aneuploïdie), par exemple en cas d'anomalies de la division cellulaire ou de l'appareil fusorial. Les substances provoquant des aberrations du nombre de chromosomes sont appelées aneupénètes. Selon les définitions, elles sont la plupart du temps considérées comme des cancérogènes non génotoxiques:

**Les cancérogènes non génotoxiques** n'agissent pas directement sur l'ADN, mais participent à des mécanismes qui favorisent l'apparition du cancer. Ces processus non stochastiques comprennent, par exemple, la stimulation de la division cellulaire, le déclenchement d'inflammations chroniques, l'inhibition d'enzymes réparatrices, la production de radicaux libres, l'inhibition de l'apoptose et du système immunitaire ou l'activation de récepteurs tels que le récepteur aux hydrocarbures aromatiques (Ahr) ou le récepteur œstrogénique (ER). Les altérations non génotoxiques incluent souvent les **processus épigénétiques** comme la méthylation de l'ADN (induite par des enzymes), les modifications d'histones ou des lésions de l'ARN non codant. Le terme «épigénétique» est défini de diverses manières; il signifie, dans notre cas, des effets permanents ou héréditaires sur le phénotype ou l'activité des gènes, résultant d'influences sur les chromosomes mais sans altération de la séquence d'ADN. Cette définition s'appuie, pour l'essentiel, sur celle des rencontres de Cold Spring Harbor (2008) et du Roadmap Epigenomics Project des NIH (depuis 2013).

Des substances non génotoxiques peuvent avoir un effet promoteur, autrement dit favoriser la prolifération des cellules lésées par un initiateur. En règle générale, il faut une exposition à une concentration relativement élevée et pendant une longue durée pour qu'un promoteur produise son effet.

### 1.3.2.2 Substances cancérogènes sans seuil de concentration

Pour la plupart des substances cancérogènes, on ne connaît pas la concentration correspondant au seuil de déclenchement de l'effet cancérogène, soit parce que les analyses mécanistes ou toxicocinétiques de cet effet suggèrent qu'il n'y a pas de seuil, soit parce que les données ne sont pas suffisantes pour le fixer. Les cancérogènes qui n'ont pas de seuil en raison de leur mécanisme sont souvent des substances génotoxiques agissant sur l'ADN. Cela dit, les dommages au matériel génétique qu'ils provoquent n'entraînent pas toujours l'apparition d'une tumeur maligne car la cellule touchée dispose de différents mécanismes pour empêcher son développement dans une tumeur maligne comme: réparation de l'ADN, régulation du cycle cellulaire, apoptose, détoxicification, réactions immunitaires. Ces mécanismes n'offrent cependant pas une protection fiable et ils se situent dans une plage de concentration tellement basse qu'il semble justifié, dans la plupart des cas, d'extrapoler de façon linéaire la relation dose-effet pour les faibles doses. En pratique, par précaution, on considère qu'il n'y a pas de seuil pour ces substances.

Pour les substances C1 sans seuil d'effet cancérogène, il n'est pas possible de déterminer une valeur limite d'exposition basée sur la santé. Pour ces cancérogènes, une valeur limite d'exposition juridiquement contraignante est fixée, d'une part, de façon à ce que le risque de cancer soit aussi faible que possible et, d'autre part, de manière à pouvoir être respectée à l'aide de mesures «proportionnées». Ainsi, l'évaluation globale

intègre à la fois les connaissances scientifiques sur la relation exposition-risque, et les considérations de faisabilité technique et socio-économique.

Dans la mesure du possible, les valeurs limites d'exposition aux postes de travail pour les cancérogènes sans seuil sont fixées de manière à ce que le risque additionnel soit inférieur à 4:1'000 par vie professionnelle. Le risque se réfère à une exposition continue au niveau de la valeur limite pendant 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sur une période de 40 ans. Lors de l'évaluation individuelle des risques, il faut tenir compte des variations de durée et de niveau d'exposition. Lorsque le risque visé est faible, le calcul de la corrélation entre exposition et danger est moins fiable et donc plus prudent. Dans ce cas de figure, les investissements consacrés aux mesures de protection sont importants par rapport aux bénéfices pour la santé.

Compte tenu de ces considérations, la Suva estime généralement qu'il n'est pas raisonnable de fixer des VME présentant un risque inférieur à 4:10'000 par vie professionnelle.

Le respect de la VME ne dispense pas l'entreprise de réduire davantage l'exposition (règle de minimisation) - toutefois, ces mesures doivent être réalisables avec un effort proportionné par rapport à la réduction du risque attendue (principe ALARA). La proportionnalité doit être évaluée au cas par cas. Cela implique aussi – comme nous l'avons déjà évoqué – l'évaluation du risque individuel qui tient compte de la durée et du niveau d'exposition réels.

Les précautions habituelles en hygiène et médecine du travail font partie des mesures de protection.

Les mesures d'hygiène du travail s'articulent de façon hiérarchique, selon le **principe STOP**. En premier lieu, il faut évaluer si une substance peut être remplacée par une autre substance, inoffensive ou moins nocive (**substitution**). Si l'on ne peut renoncer à son utilisation, il faut prendre d'autres mesures afin de minimiser ou de supprimer totalement la mise en danger du personnel occupé, notamment des **mesures techniques** (manipulation dans une enceinte fermée, mesures de ventilation) et des **mesures organisationnelles** (p. ex. interdire de manger, boire ou fumer sur le lieu de travail ou donner des informations sur les dangers possibles). Le nombre de personnes exposées à des substances ou actions cancérogènes doit en outre être limité au strict minimum. Au besoin, des **mesures de protection individuelle** telles que le recours à une protection suffisante des voies respiratoires et de la peau doivent être prises. Dans le domaine de la médecine du travail, une surveillance médicale régulière peut être envisagée lorsque cela s'avère nécessaire.

Ces directives reprennent celles des art. 2, 4 et 5 de la Convention n° 139 de l'Organisation Internationale du Travail (OIT) concernant la prévention et le contrôle des risques professionnels causés par les substances et agents cancérogènes, convention ratifiée par la Suisse.

### **1.3.2.3 Substances cancérogènes avec seuil de concentration**

Différents comités, comme le SCOEL (Comité scientifique en matière de limites d'exposition professionnelle à des agents chimiques de l'UE) ou la DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft)

désignent spécifiquement les substances cancérogènes possédant un seuil d'action. Bien que le règlement CLP ne prévoie pas de classes séparées pour ces substances, il est éventuellement envisageable de ranger les cancérogènes C1 ayant une valeur de seuil dans la catégorie C2 (voir le «Guide sur l'application des critères CLP» de l'ECHA). Les cancérogènes qui ont une valeur de seuil comprennent des substances ayant une action non génotoxique ou agissant exclusivement sur les chromosomes, ainsi que des substances génotoxiques qui n'apportent pas une contribution notable au risque de cancer si la VME est respectée (seuil «pratique» ou «apparent»).

La question d'un seuil d'action n'est pas toujours facile à éclaircir car les cancérogènes peuvent agir selon plusieurs mécanismes à la fois. Il existe ainsi des substances qui ont un seuil pour certains sites de cancers mais pas pour d'autres (p. ex. le 2-acétylaminofluorène).

Dans la liste suisse des valeurs limites d'exposition, des substances C1 ayant un seuil de concentration connu proche de la VME ou supérieur sont signalées par le symbole # et la mention indiquant: «Pas de contribution notable au risque de cancer si la VME est respectée». Le pouvoir cancérogène est ainsi pris en compte dans l'attribution d'une substance à une classe de cancérogène, alors que traditionnellement il ne jouait pas de rôle. Le respect de la VME remplit l'obligation de minimisation du risque. Les substances C1 pour lesquelles des considérations mécanistes suggèrent l'existence d'un seuil mais dont la valeur

de seuil n'est pas connue à ce jour ne sont pas signalées; elles sont traitées comme les cancérogènes sans seuil de concentration.

### **1.3.3 Explications concernant des substances cancérogènes spécifiques**

#### **1.3.3.1 Substances cancérogènes sans VME**

Pour certaines substances cancérogènes, on ne dispose pas de suffisamment de données pour fixer une VME. Ces substances ne figurent pas dans la liste des valeurs limites d'exposition. Lors de l'appréciation du risque, les fiches de données de sécurité ou toute autre littérature pertinente comme l'ORRChim doivent être consultées.

#### **1.3.3.2 Formation de nitrosamines cancérogènes à partir d'amines**

Les amines secondaires peuvent produire des nitrosamines en présence d'agents nitrosants (oxydes d'azote principalement, mais aussi le chlorure de nitrosoyle, les esters de l'acide nitreux, les nitrites métalliques et les substances qui contiennent un groupe nitroso). La nitrosation de certaines amines produit des nitrosamines cancérogènes; la liste des valeurs limites d'exposition inclut ainsi la nitrosodiméthylamine (produite à partir de diméthylamine, de thirame ou de triéthylamine), la nitrosodiéthylamine (à partir de diéthylamine), la nitrosométhylaniline (à partir de méthylaniline) et la nitrosomorpholine (à partir de morpholine). Il est souvent question des nitrosamines à propos des produits de refroidissement et de lubrification. Ces derniers peuvent, en effet, contenir des nitrites qui sont des agents nitrosants. Ces nitrites

peuvent entrer dans la composition d'antirouilles ou se former quand le produit de refroidissement et de lubrification est contaminé par des bactéries qui réduisent les nitrates en nitrites.

On ne connaît pas encore assez bien ce domaine pour donner des évaluations quantitatives sur la formation de nitrosamines à des postes de travail où se font des opérations complexes et des mélanges de substances. Deux précautions s'imposent donc pour l'utilisation de ces amines au poste de travail: éliminer les agents nitrosants ou les remplacer par des substances ne donnant pas lieu à la formation de nitrosamines cancérogènes. En particulier, la concentration d'oxydes d'azote dans l'air ambiant au poste de travail doit être surveillée et réduite le cas échéant. Cela est particulièrement vrai lors de l'utilisation d'amines qui peuvent se transformer en nitrosamines fortement cancérogènes.

### **1.3.3.3 Hydrocarbures aromatiques polycycliques**

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP, en anglais Polycyclic Aromatic Hydrocarbons = **PAH**) résultent de la pyrolyse ou de la combustion incomplète de substances organiques, par exemple de gaz brut de cokerie. Selon les substances de base et les conditions de la réaction, les HAP ont une composition différente.

Une exposition professionnelle aux HAP est possible lors des processus industriels ci-dessous.

- Vaporisation des HAP contenus dans les matières premières sous l'effet de processus à hautes températures. Les substances qui contiennent une pro-

portion élevée de HAP comprennent, par exemple, les goudrons de lignite et de houille, ainsi que le brai et l'huile tirés de la houille. Des HAP sont présents en plus petite quantité dans les fractions lourdes de la distillation du pétrole, comme par exemple l'asphalte, le bitume et les huiles pour moteurs.

- Formation de HAP par pyrolyse ou combustion incomplète de substances organiques. Ainsi, les gaz bruts des cokeries sont riches en HAP.
- Érosion mécanique d'un matériau contenant des HAP.

Sur la base des résultats d'études de cancérogénicité et de mutagénicité, le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) a classé plusieurs HAP dans le groupe des cancérogènes à la suite d'expérimentations animales. Des études épidémiologiques ont montré une relation significative entre l'exposition professionnelle aux composés volatils du goudron de houille (Coal Tar Pitch Volatiles) contenant des HAP dans les cokeries et les usines de gazéification du charbon et l'augmentation de la mortalité par cancer du poumon. Les HAP peuvent également provoquer des cancers de la peau.

En raison de son haut pouvoir cancérogène et de sa proportion de 1 à 5 % dans les mélanges de HAP, le benzo(a)pyrène (BaP) est souvent utilisé comme substance de référence pour l'appréciation globale d'une exposition aux HAP. La valeur VME pour le benzo(a)pyrène est une grandeur qui ne permet pas d'évaluer précisément la cancérogénicité d'un mélange de HAP mais qui peut être

utilisée pour l'estimer approximativement. Des facteurs d'équivalence de toxicité ont été déterminés pour une série de HAP et la recherche d'une exposition professionnelle à ce groupe de substances au poste de travail ne devrait pas se limiter au benzo(a)pyrène mais être étendue aux autres HAP qui se sont avérés cancérogènes dans les expérimentations animales, comme par exemple le benzo(a)anthracène, le chrysène, le benzo(b)fluoranthène, le benzo(k)fluoranthène, le benzo(j)fluoranthène, l'indéno(1,2,3-cd)pyrène, le dibenzo(a,h)anthracène, le dibenzo(a,i)pyrène, le dibenzo(a,l)pyrène et le dibenzo(a,e)pyrène. En tenant compte de ces divers HAP, rencontrés à différents postes de travail en proportion variable, il sera possible de mieux déterminer le risque cancérogène qu'ils représentent.

#### 1.3.3.4 Amiante

La VME pour l'amiante a été fixée à 0,01 fibre d'amiante/ml (= 10 000 fibres/m<sup>3</sup>). Cette valeur se base sur les données épidémiologiques concernant la relation dose-effet entre l'exposition à l'amiante et la fréquence d'apparition de cas de mésothéliome ou de cancer du poumon. Pour tous les postes de travail où il n'est pas nécessaire de travailler avec des matériaux amiantés (p. ex. dans les bureaux), la concentration à ne pas dépasser est fixée à 0,001 fibre d'amiante/ml (= 1 000 fibres/m<sup>3</sup>); cette valeur correspond à la recommandation de l'OFSP pour les locaux d'habitation et les locaux où des personnes séjournent de façon continue.

Le risque de maladie dépend, entre autres, de la concentration de l'amiante, de la durée d'exposition ou du type et de

la forme des fibres. Ainsi, les fibres longues et fines sont associées à un risque accru.

Sont considérées comme biologiquement significatives les fibres dont le rapport longueur/diamètre dépasse 3:1 avec une longueur qui excède 5 µm et un diamètre qui est inférieur à 3 µm («fibres OMS»). La géométrie des fibres ainsi que leur composition minéralogique et chimique jouent un rôle déterminant dans l'appréciation du danger.

En recourant au microscope électronique à balayage (MEB), il est possible d'identifier des fibres allant jusqu'à un diamètre de seulement 0,1 µm. Par microscope électronique en transmission (MET), des fibres encore plus fines peuvent être visualisées. La valeur limite d'exposition à l'amiante s'appuie toutefois sur des examens épidémiologiques qui utilisaient le plus souvent des microscopes optiques et ne mettaient pas en évidence les fibres très fines. L'utilisation du MEB pour les mesures servant à la vérification du respect de la VME, par exemple avec la méthode VDI 3492 allemande, suffit donc dans la plupart des cas.

#### 1.3.3.5 Fibres synthétiques et poussières fibreuses

Les fibres minérales artificielles (FMA) sont des fibres inorganiques, obtenues à partir de matières premières minérales. À l'inverse des fibres d'amiante cancérogènes d'origine naturelle qui se scindent parallèlement à leur grand axe, les FMA se brisent presque toujours transversalement.

Sont à considérer comme biologiquement significatives les fibres dont le rapport longueur/diamètre dépasse 3:1 avec une longueur supérieure à 5 µm et un diamètre inférieur à 3 µm. En dehors de leur composition minéralochimique, c'est la géométrie des fibres qui joue un rôle déterminant dans l'appréciation du risque, ainsi que les expériences faites avec les poussières fines d'amiante l'ont démontré. Il en résulte que les FMA utilisées habituellement dans l'industrie présentent le plus souvent un trop grand diamètre ou sont trop longues pour parvenir jusque dans les alvéoles pulmonaires. Cependant, en fonction de leur mode de production ou de leur usage, il est possible que des FMA présentent aussi des dimensions permettant leur accès aux alvéoles. Cet élément doit être considéré, conjointement à la biopersistance généralement élevée des FMA, lors de l'appréciation d'un éventuel potentiel cancérogène.

Les fibres de verre artificielles (silicates) contenant un poids en oxydes alcalins et alcalinoterreux ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO}$ ) supérieur à 18 % sont classées dans la catégorie C2, à condition qu'aucun des quatre critères d'exclusion mentionnés dans la Directive de la Commission Européenne 97/69/CE, 23<sup>e</sup> révision de la Directive de la Commission Européenne 67/548/CEE, ne soit rempli. Les laines de roche et de verre fabriquées en Suisse, ainsi que les fibres haute température (jusqu'à 900 °C) contenant une forte proportion de potassium et/ou de magnésium remplissent au moins l'un de ces critères d'exclusion. Ces fibres ne sont donc pas classées dans les substances cancérogènes.

Par contre, les fibres céramiques (silicates d'aluminium) utilisées principalement dans le secteur des hautes températures sont actuellement classées dans la catégorie C1<sub>B</sub> des substances cancérogènes.

Pour les autres fibres synthétiques inorganiques, il existe certaines suspicions de cancérogénicité sur la base de l'expérimentation animale; les résultats des expériences d'inhalation ne sont cependant pas concluants et les résultats positifs lors de l'administration intrapéritonéale, intrapleurale ou intratrachéale ne peuvent être transposés directement à l'homme, qui est exposé par la seule voie respiratoire. Ce groupe comprend, entre autres, les fibres d'oxyde d'aluminium. Ces considérations sont également valables pour les fibres organiques de p-aramide.

### **1.3.3.6 Chrome(VI) dans les procédés selon ORRChim**

Les composés hexavalents de chrome sont des substances cancérogènes sans seuil d'effet connu (voir aussi 1.3.2.2). Le risque de cancer doit être maintenu au niveau le plus faible possible en minimisant le degré et la durée de l'exposition (règle de minimisation).

L'emploi professionnel ou commercial des composés hexavalents de chrome est interdit en vertu de l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim), annexe 1.17. Certains composés hexavalents de chrome ne sont pas visés par cette interdiction s'ils sont employés dans des procédés où le chrome présent dans les produits finaux ne l'est pas sous forme hexavaleure.

Pour ces exceptions («chrome(VI) dans les procédés»), la règle de minimisation pour les composés hexavalents de chrome, à appliquer conformément aux règles de la technique, est considérée comme respectée si l'exposition des travailleurs, en moyenne sur une journée de travail (8 heures), ne dépasse pas 0,001 mg/m<sup>3</sup> (exprimée en Cr). Les composés concernés selon l'ORRChim sont le dichromate de sodium (CAS 7789-12-0), le trioxyde de chrome (CAS 1333-82-0) ainsi que les acides générés à partir du trioxyde de chrome: acide chromique (CAS 7738-94-5) et acide dichromique (CAS 13530-68-2).

## 1.4 Substances mutagènes (notation «M»)

Les substances mutagènes provoquent des mutations des cellules germinales humaines qui peuvent être transmises à la descendance. Depuis 2016, les substances mutagènes sont classées en trois catégories M<sub>1<sub>A</sub></sub>, M<sub>1<sub>B</sub></sub> et M2, sur la base du SGH et du règlement CLP (CE 1272/2008). On se reportera au document d'origine pour plus de précisions. L'affectation d'une substance à une catégorie est indépendante du règlement

Jusqu'à 2015	Dès 2016	Phrase H
M <sub>1</sub>	M <sub>1<sub>A</sub></sub>	H340
M <sub>2</sub>	M <sub>1<sub>B</sub></sub>	H340
M <sub>3</sub>	M2	H341

CLP et peut donc parfois être différente de celui-ci. Le tableau suivant compare les anciennes notifications de la liste suisse des valeurs limites d'exposition (jusqu'à 2015) avec les nouvelles catégories (dès 2016). Les phrases H correspondantes du règlement CLP y figurent également.

### Catégorie M1

- Catégorie M<sub>1<sub>A</sub></sub> (anciennement M1) substances que l'on **sait** être mutagènes pour l'homme. Le classement en catégorie M<sub>1<sub>A</sub></sub> s'appuie sur des résultats positifs d'études épidémiologiques chez l'homme.
- Catégorie M<sub>1<sub>B</sub></sub> (anciennement M2) substances qui provoquent **probablement** des mutations héréditaires dans les cellules germinales humaines et doivent être considérées comme mutagènes.

Sont considérés comme «agents mutagènes» dans la **CMRD**<sup>9</sup> de l'UE uniquement les substances ou mélanges qui répondent aux critères de classification dans la catégorie M1<sub>A</sub> ou M1<sub>B</sub> des agents mutagènes.

<sup>9</sup> CMRD = directive 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérogènes ou mutagènes ou à des substances reprotoxiques au travail.

Le classement en catégorie M1<sub>B</sub> s'appuie sur:

- des résultats positifs d'essais in vivo de mutagénicité héréditaire chez des mammifères ou
- des résultats positifs de tests de mutagénicité in vivo sur des cellules somatiques de mammifères, associés à des indices suggérant que la substance a le potentiel de provoquer des mutations des cellules germinales (p. ex. essais de mutagénicité et génotoxicité in vivo sur des cellules germinales, mise en évidence de la capacité de la substance ou de ses métabolites à agir sur le matériel génétique des cellules germinales) ou
- des résultats positifs d'essais démontrant des effets mutagènes sur les cellules germinales humaines, sans démonstration d'une transmission à la descendance (p. ex. augmentation du taux d'aneuploidie dans les spermatozoïdes des sujets exposés).

#### **Catégorie M2 (anciennement M3)**

Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets mutagènes **possibles** sur les cellules germinales humaines. Le classement en catégorie M2 se fonde sur

des résultats positifs de tests sur des mammifères et/ou, dans certains cas, d'essais de mutagénicité in vivo sur des cellules somatiques de mammifères ou d'autres tests de génotoxicité in vivo sur des cellules somatiques, étayés par des résultats positifs de tests de mutagénicité in vitro mais qui ne justifient pas un classement en catégorie M1.

## **1.5 Substances reprotoxiques (notation R)**

La notion de «reprotoxicité» (toxicité pour la reproduction) désigne l'altération des fonctions ou de la capacité de reproduction chez l'homme ou la femme et l'induction d'effets néfastes sur la descendance.

**L'altération des fonctions ou de la capacité de reproduction** inclut à son tour les lésions des organes reproducteurs, les anomalies de la formation des gamètes et de leur transport, du cycle reproductif, du comportement sexuel, de la fécondité, de l'accouchement, de la grossesse, de la puberté, ainsi que le vieillissement prématûr ou les altérations d'autres fonctions dépendant de la bonne santé de l'appareil reproducteur.

Les **effets néfastes sur la descendance** désignent, au sens très large, toutes les anomalies du développement normal de l'enfant avant et après la naissance qui résultent de l'exposition de l'un des parents avant la conception ou de l'exposition de l'enfant au cours de son développement in utero ou après sa naissance jusqu'à sa maturité sexuelle.

Les troubles de la lactation ou les effets indésirables consécutifs à l'allaitement font également partie de la toxicité pour la reproduction mais sont classés séparément dans le règlement CLP. La liste suisse des valeurs limites d'exposition ne prévoit pas de notation spécifique pour les troubles de la lactation et la mise en danger par l'allaitement.

La mise en danger du fœtus fait également l'objet d'une autre classification: la notation «SS» (voir chap. 1.6). Ces classes indiquent si une atteinte du fœtus est à craindre ou pas lorsque la VME est respectée. Pour sa part, la notation «R» dont il est question dans le présent chapitre concerne la substance elle-même, sans précision quant au potentiel nocif pour le fœtus lorsque la VME est respectée.

Les substances toxiques pour la reproduction sont étiquetées et classées dans les catégories R1<sub>A</sub>, R1<sub>B</sub> et R2, sur la base du règlement CLP (CE 1272/2008). L'affection d'une substance à une catégorie dans la liste suisse des valeurs limites d'exposition est indépendante du règlement CLP et peut donc parfois être différente de celui-ci. La qualification de reprotoxique concerne les substances ayant la capacité intrinsèque et spécifique de nuire à la reproduction; elle n'est toutefois pas fiable pour les substances qui ne produisent cet effet que comme conséquence secondaire d'une autre toxicité. L'influence de la toxicité maternelle doit être prise en compte dans l'examen des effets toxiques sur le

développement de la descendance. Le tableau suivant compare les anciennes notifications de la liste suisse des valeurs limites d'exposition (jusqu'à 2015) avec la nouvelle classification (dès 2016).

Jusqu'à 2015	Dès 2016	Phrase H
R <sub>1</sub>	R1 <sub>A</sub>	H360D/F
R <sub>2</sub>	R1 <sub>B</sub>	H360D/F
R <sub>3</sub>	R2	H361d/F

### Catégorie R1

- Catégorie R1<sub>A</sub> (anciennement R<sub>1</sub>): substances que l'on **sait** être reprotoxiques pour l'homme. Ce classement se fonde, dans une grande mesure, sur des observations chez l'homme.
- Catégorie R1<sub>B</sub> (anciennement R<sub>2</sub>): substances **probablement** reprotoxiques. Ce classement se fonde, dans une grande mesure, sur des données d'expérimentation animale.

### Catégorie R2 (anciennement R<sub>3</sub>)

Substances **potentiellement** reprotoxiques pour l'homme. Sont classées dans la catégorie R2 des substances pour lesquelles on dispose, chez l'homme ou dans l'expérimentation animale, d'indices d'une atteinte de la fonction sexuelle et de la fertilité ou du développement de la descendance, mais qui ne sont toutefois pas suffisants pour un classement dans la catégorie R1. Le classement est effectué après examen de tous les faits et audition d'experts.

Seuls sont considérés comme «substance reprotoxique» dans la CMRD\* de l'UE les substances ou les mélanges remplissant les critères de classement en tant que substances reprotoxiques de la catégorie R1<sub>A</sub> ou R1<sub>B</sub>.

\* CMRD = Directive 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérogènes ou mutagènes ou à des substances reprotoxiques au travail

## 1.6 Lien entre l'effet toxique sur le fœtus et la VME (notations SS)

Les VME sont valables pour des individus en bonne santé en âge d'exercer une activité lucrative. Des observations épidémiologiques et expérimentales montrent cependant qu'elles ne sont pas applicables sans réserve pour les femmes enceintes en bonne santé, car même si elles sont respectées on ne peut pas toujours garantir la protection du fœtus contre certaines atteintes.

Lors de l'emploi de femmes enceintes ou allaitantes, on se reportera à l'ordonnance 1 du 10 mai 2000 relative à la loi sur le travail (OLT1), ainsi qu'à l'ordonnance du DFE du 20 mars 2001 sur les activités dangereuses ou pénibles en cas de grossesse et de maternité (ordonnance sur la protection de la maternité).

Les substances fœtotoxiques sont classées en trois groupes dans la liste suisse des valeurs limites d'exposition.

### Catégorie SS<sub>A</sub>

Le fœtus peut présenter des lésions même lorsque la VME a été respectée.

### Catégorie SS<sub>B</sub>

On ne peut pas exclure des atteintes fœtales même si la VME a été respectée.

### Catégorie SS<sub>C</sub>

Si la VME a été respectée, il n'y a pas à craindre de lésions du fœtus.

Cette catégorisation se base sur les réflexions de la DFG et concorde, dans une grande mesure, avec la classification de cette organisation. Contrairement à la notation «R», cette classification décrit la relation entre le développement des propriétés toxiques d'une substance par rapport à la VME, alors que la notation «R» caractérise la toxicité pour le développement en tant que propriété d'une substance en soi, sans référence à la VME. Il se peut donc qu'une substance soit notée «R», mais ne possède pas de notation «SS»: dans un tel cas, on ne sait pas à partir de quelle concentration la propriété reprotoxique de la substance commence à montrer ses effets. À l'inverse, il existe des substances qui ont une notation «SS», mais qui ne sont pas notées «R» car les deux notations ont été attribuées par des groupes de travail différents et n'ont pas été harmonisées.

Les substances cancérogènes sans seuil d'effet ne sont pas classées dans le système de notation SS. L'exposition à ces substances doit, de toute manière, être évitée dans tous les cas ou réduite au maximum.

## 1.7 Poussières et nanoparticules

### 1.7.1 Aérosols

#### **i = fraction inhalable**

La fraction inhalable (précédemment poussières totales G) est définie dans la norme comme l'ensemble des particules en suspension dans l'air qui sont aspirées à travers la bouche et le nez.

#### **a = fraction alvéolaire**

La fraction alvéolaire (précédemment poussières fines F) est définie dans la norme comme l'ensemble des particules en suspension dans l'air qui parvient jusqu'aux alvéoles pulmonaires.

Au sens de la norme EN 481, il s'agit de fractions de poussières collectées à l'aide d'échantillonneurs respectant les caractéristiques de séparation mentionnées dans le tableau ci-dessous; ceci, pour les particules de masse volumique égale à 1 g/cm<sup>3</sup>.

Le respect des valeurs limites d'exposition pour les poussières ne constitue une garantie de protection de la santé que si celles-ci n'ont pas de propriétés génotoxiques, cancérogènes, fibrogènes, allergisantes ou toxiques d'une autre nature.

Les VME des aérosols portent les symboles i = fraction inhalable (précédemment G) ou a = fraction alvéolaire (précédemment F). Les définitions i/a correspondent en partie aux définitions valables (G/F), mais sont basées sur la norme internationalement reconnue EN 481 (ISO 7708).

#### **Particules ultrafines, leurs agglomérats et agrégats**

Les particules ultrafines (diamètre aérodynamique inférieur à 100 nm), resp. leurs agglomérats et agrégats, sont produits essentiellement lors de processus de combustion ou de réactions en phase gazeuse. L'action locale de ces particules sur les voies respiratoires augmente

Diamètre aérodynamique	Aérosols inhalables i	Aérosols alvéolaires a
0 µm	100,0%	100,0%
1 µm	97,1%	97,1%
3 µm	91,7%	73,9%
5 µm	87,0%	30,0%
7 µm	82,9%	9,0%
9 µm	79,1%	2,5%
10 µm	77,0%	1,3%
11 µm	75,8%	0,7%
16 µm	69,1%	0,0%
25 µm	61,2%	
50 µm	52,5%	
100 µm	50,1%	

Valeurs numériques des conventions: pourcentage des poussières totales en suspension dans l'air

moins en fonction de leur masse que de leur surface totale ou de leur concentration en nombre. Il n'est actuellement pas encore possible de fixer des valeurs limites d'exposition pour ce type de particules en se basant sur des données toxicologiques ou médicales.

### Techniques d'échantillonnage

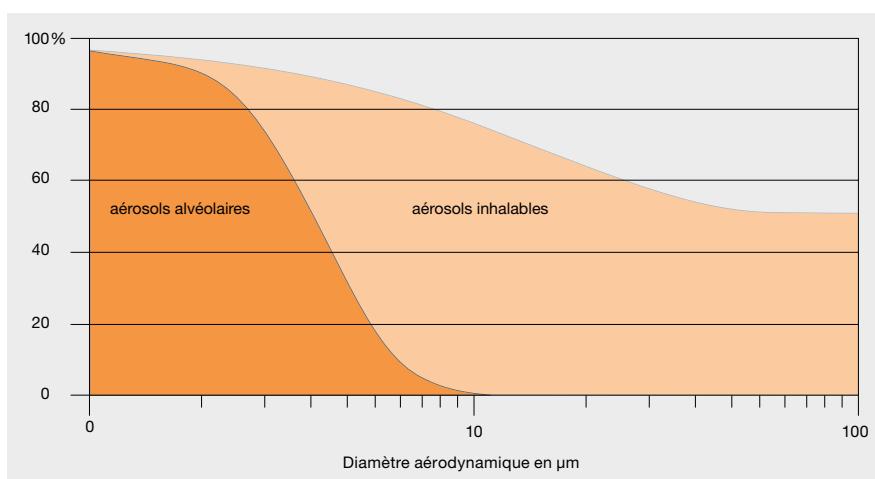
La technique d'échantillonnage ainsi que l'interprétation des résultats obtenus doivent rester le fait de personnes exercées et compétentes connaissant les nombreuses incertitudes et approximations qui entourent tant l'échantillonnage que la fixation des valeurs limites.

La comparaison avec les valeurs limites d'exposition n'est généralement réaliste qu'avec des résultats obtenus par prises d'échantillons sur l'homme (personal sampling). Les mesures stationnaires sont utilisables pour déterminer la contamination d'un site.

Pour les poussières inhalables, la prise d'échantillons doit être effectuée avec un appareillage dont la capacité d'échantillonnage selon la norme a été décrite dans la littérature et vérifiée par des tests tant pratiques qu'expérimentaux. Plusieurs systèmes de ce type sont actuellement en développement. Par exemple, les systèmes d'échantillonnage IOM et GSP ont fait leurs preuves en la matière<sup>10, 11</sup>. Pour les poussières alvéolaires, la prise d'échantillons doit être effectuée avec un appareillage dont la capacité d'échantillonnage selon la norme a été décrite dans la littérature et vérifiée par des tests tant pratiques qu'expérimentaux. Sont particulièrement adaptés les systèmes d'échantillonnage type cyclone.

<sup>10</sup> Kenny LC: Developments in Workplace Aerosol Sampling – A review. *Analyst*, Sept. 1996. Vol. 121 (1233–1239)

<sup>11</sup> Kenny LC and alt: A Collaborative European Study of Personal Inhalable Aerosol. Sampler Performance. *Ann. occup. Hyg.*, 1997. Vol. 41, No. 2. (135–153)



Le graphique montre les conventions d'échantillonnage d'aérosols inhalables et alvéolaires en pourcentages des poussières totales en suspension dans l'air.

## Appareils à lecture directe

En raison des nombreuses variations des caractéristiques des poussières (densité, morphologie des particules, répartition granulométrique etc.), il n'est en principe pas possible d'effectuer des analyses quantitatives à l'aide de **photomètres à lecture directe** basés sur la technologie de la diffusion lumineuse (Streulichtfotometer). Par contre, l'utilisation de tels systèmes est indiquée par exemple pour la détection de sources d'émission, pour l'évaluation dans le temps des variations de concentrations ou pour la vérification de l'efficacité d'un système de réduction des émissions de poussières.

## Nomenclature

Français	Deutsch	English
inhalable	einatembare	inhalable
alvéolaire	alveolengängig	respirable

### 1.7.2 Poussières granulaires

#### biopersistantes (PGB)

Sont qualifiées de granulaires et biopersistantes les poussières qui, en l'état actuel des connaissances, sont peu solubles, ne présentent pas de toxicité spécifique, n'interagissent pas chimiquement avec les structures de l'organisme et ne sont pas dégradées au niveau des poumons. La VME pour ce type de poussières est de  $3\text{ mg}/\text{m}^3$  pour la fraction alvéolaire, mesurée selon la norme EN 481, et de  $10\text{ mg}/\text{m}^3$  pour la fraction inhalable. La fraction alvéolaire comprend surtout les particules ayant un diamètre aérodynamique inférieur à  $5\text{ }\mu\text{m}$  et la fraction inhalable celles dont le diamètre aérodynamique est inférieur à  $150\text{ }\mu\text{m}$ .

La VME des poussières granulaires biopersistantes (poussières sans effet spécifique) n'est valable qu'à la condition que ces dernières ne contiennent aucune substance nocive comme l'amiante, le quartz, etc. et qu'elles ne sont pas nanométriques ou ultrafines. Si des VME plus basses ont été fixées pour certaines substances, il est impératif de les appliquer. Quelques exemples de poussières granulaires biopersistantes (liste non exhaustive):

- aluminium
- hydroxyde d'aluminium
- oxyde d'aluminium (alundum et corindon)
- sulfate de baryum
- carbonate de calcium (craie)
- graphite
- poussières de matières synthétiques (p. ex. PVC, PET, polystyrène, PTFE)
- carbonate de magnésium (magnésite)
- oxyde de magnésium
- carbure de silicium (carborundum) non fibreux
- talc
- tantale
- dioxyde de titane
- dioxyde de zirconium

La concentration dans l'air de poussières granulaires non biopersistantes (poussières sans effet spécifique), pour lesquelles il n'était pas possible jusqu'à présent de fixer une VME faute de données quantitatives, ne doit en aucun cas dépasser celle des poussières granulaires biopersistantes.

Les VME des poussières sans effet spécifique de 3 mg/m<sup>3</sup> pour la fraction alvéolaire et de 10 mg/m<sup>3</sup> pour la fraction inhalable sont appelées **valeurs limites générales pour les poussières**.

Afin de garantir une exécution uniforme, la VME est également fixée à 10 mg/m<sup>3</sup> dans le cas des matières solides pour lesquelles une VME supérieure à la valeur limite générale pour les poussières pourrait être déduite concernant la fraction inhalable du point de vue toxicologique.

Les **nano-objets** sont des structures fabriquées volontairement dont une, deux ou trois dimensions extérieures sont de l'ordre nanométrique (entre 1 et 100 nm environ). Les **nanoparticules** et les **nanofibres** (respectivement trois et deux dimensions extérieures nanométriques) sont deux catégories importantes de nano-objets. Les nanoparticules sont obtenues par réduction de grosses particules ou par synthèse. Les nanofibres peuvent également avoir une forme tubulaire, tels les nanotubes de carbone; ces derniers peuvent être monoparoï (ou monofeuillet, SWCNT en anglais pour Single Walled Carbon Nanotubes) ou multiparoï (ou multifeuillots, MWCNT en anglais pour Multi Walled Carbon Nanotubes). Pour les nanofibres, lorsque le rapport entre la longueur et le diamètre est élevé, on parle de nanoparticules à fort aspect ratio (HARN en anglais pour High Aspect Ratio Nanoparticles).

Les **particules ultrafines** (en anglais **ultrafine particles**) désignent des particules dont le diamètre équivalent de mobilité est inférieur à 0,1 µm (= < 100 nm) et qui sont issues de différents processus thermiques (éruptions volcaniques, incendies de forêt, chauffage, moteurs diesel ou soudage) ou lors de traitement de certains matériaux. Les nanoparticules et les particules ultrafines ont plus ou moins tendance à s'agglomérer ou à s'agrérer.

### 1.7.3 Nanoparticules et particules ultrafines

Outre la taille et la géométrie, d'autres caractéristiques permettent de différencier les nanoparticules: composition chimique, propriétés physicochimiques de surface, capacité de produire des espèces réactives de l'oxygène (ERO ou ROS en anglais pour Reactive Oxygen Species) ou solubilité dans des milieux biologiques.

Dans les nations occidentales industrialisées, aucune maladie professionnelle spécifique n'a été observée à ce jour lors d'études sur des travailleurs exposés aux nanoparticules dans le cadre des nanotechnologies. Des éléments indiquent toutefois que des affections dues aux nanoparticules pourraient se déclarer à un stade ultérieur en l'absence de mesures de protection appropriées. C'est ce que suggèrent des études expérimentales et la connaissance d'une association entre pollution de l'environnement induite par des particules et maladies.

Des études expérimentales ont montré également que les nanoparticules et les particules ultrafines peuvent déclencher des réactions inflammatoires au niveau des bronches et des alvéoles après inhalation. D'autres études ont révélé que la production d'espèces réactives de l'oxygène et l'effet pro-inflammatoire des nanoparticules dans les poumons dépendent de façon déterminante de leur composition chimique, respectivement de leurs propriétés physico-chimiques de surface. Les nanotubes de carbone peuvent également provoquer des réactions inflammatoires dans les

poumons. Ils présentent par ailleurs des similitudes structurelles avec les poussières fibreuses telles que l'amiante. Les fibres sont généralement considérées comme dangereuses lorsqu'elles sont très longues (longueur supérieure à 20 µm en particulier), inférieures à 3 µm de diamètre et biopersistantes dans les tissus, en particulier les tissus pulmonaires. Certaines études suggèrent que les nanotubes de carbone, spécialement les tubes multiparois rigides, longs et fins, pourraient être cancérogènes.

Pour définir des valeurs limites, il faut connaître les relations dose-effet, si possible sur la base d'études épidémiologiques et expérimentales. Jusqu'à présent, il existe encore peu d'études qui permettent de définir des relations dose-effet claires pour les nanoparticules. Il s'agit également de déterminer des critères applicables tels que la concentration massique, le nombre de particules, la surface spécifique des particules, les propriétés physicochimiques superficielles ou la production d'espèces réactives oxygénées.

Aucune valeur limite n'a encore été publiée à l'échelle internationale. Aux États-Unis, le National Institute of Occupational Safety and Health a proposé une valeur indicative de 0,3 mg/m<sup>3</sup> (fraction alvéolaire) pour les nanoparticules de dioxyde de titane. Pour les expositions mixtes à de l'oxyde de titane fin et ultrafin, aucune quantification précise n'est possible en l'absence de convention de mesurage; la proportion de particules ultrafines de dioxyde de titane ne peut être qu'estimée.

En Grande-Bretagne, une valeur indicative de 0,01 fibres/ml est recommandée pour les nanofibres et les nanotubes de carbone. Pour les nanotubes de carbone, il n'existe encore toutefois ni procédure de mesurage normée ni règles de calcul adaptées (mesure de la longueur, traitement des pelotes, etc.).

Dans l'état actuel des données, les valeurs indicatives ci-dessous peuvent être formulées.

Nanotubes et nanofibres de carbone (longueur supérieure à 5 µm, diamètre inférieur à 3 µm, rapport entre longueur et diamètre supérieur à 3:1): **0,01 fibre/ml.**

Cette valeur limite est la même que pour les fibres d'amiante pouvant pénétrer dans les poumons.

#### 1.7.4 Substances responsables de sensibilisation (poussières de farine)

Les poussières de farine comme les farines de blé ou de seigle provoquent des sensibilisations et peuvent avoir des effets irritatifs sur les voies aériennes. Le phénomène de sensibilisation est particulièrement important en pratique, puisque l'asthme chez les travailleurs exposés à la farine compte parmi les formes d'asthme professionnel les plus fréquentes. Lors de sensibilisation préexistante, de très faibles expositions peuvent amener à des problèmes de santé et des atteintes fonctionnelles. Le risque de survenue d'une sensibilisation dépend d'une part de l'intensité de l'exposition (concentration de farine dans l'air), d'autre part de facteurs individuels (atopie). La relation dose-effet entre l'exposition à la farine et la survenue d'une sensibilisation ou, respectivement,

Les relations dose-effet connues nous permettent de conclure que pour les poussières de farine, il faut viser une concentration de **moins de 1 mg/m<sup>3</sup> (poussières inhalables)**, resp. – mesurée sur une durée de 15 minutes – de 2 mg/m<sup>3</sup>.

d'une allergie respiratoire manifeste est différente chez les personnes avec ou sans atopie. Sur la base des relations dose-effet connues à ce jour, il n'est pas possible de fixer un NOAEL (No Observable Adverse Effect Level) et donc une valeur limite pour la santé.

Vu que les fortes expositions aux poussières sur une courte durée jouent un rôle important dans la sensibilisation, les pics d'exposition doivent être évités le plus possible. Si cela ne peut être obtenu par des mesures techniques et d'organisation du travail, des moyens de protection personnelle doivent être utilisés. En outre, un examen médical d'aptitude est recommandé dans le cadre de l'orientation professionnelle pour les futurs apprentis et travailleurs exposés aux poussières de farine.

### 1.7.5 Risques biologiques, poussières et aérosols comportant un risque biologique

La protection des travailleurs contre les risques liés aux microorganismes est réglée par l'ordonnance fédérale du 25 août 1999 (OPTM). On se référera à cette ordonnance pour la classification des microorganismes et pour les systèmes de sécurité biologique (art. 3 et 4 OPTM). En vertu de l'art. 5, l'employeur est tenu d'analyser les dangers encourus lors de la manipulation ou de l'exposition aux microorganismes et de déterminer l'importance du risque qui en découle. Il doit en outre indiquer sur demande aux instances de contrôle quels critères il a utilisés lors de cette analyse de risque.

Il n'est actuellement pas possible de fixer des valeurs limites pour les agents biologiques présents dans l'air. Les problèmes suivants y font obstacle: pathogénicité variée des microorganismes; exposition fréquente à des mélanges d'organismes très différents; par rapport aux produits chimiques, variabilité plus grande de la sensibilité personnelle, notamment en raison des mécanismes de défense individuels; insuffisance actuelle de standardisation des méthodes de prélèvement et d'analyse des échantillons.

Par conséquent, on ne peut donner actuellement que des valeurs indicatives concernant les mesures des taux d'endotoxines et le comptage des germes, valeurs qui doivent être interprétées en tenant compte des conditions de travail particulières, des méthodes de mesure et d'analyse utilisées, de l'appréciation qualitative des microorganismes concernés, ainsi que de l'état de santé des travailleurs exposés. En outre, il faut tenir compte de la teneur naturelle en microorganismes de l'air ambiant qui est sujette à des variations saisonnières et météorologiques. Ce «bruit de fond» se situe habituellement entre  $10^2$  et  $10^3$  UFC/m<sup>3</sup> d'air (UFC = Unité formant colonie).

À titre d'**orientation**, compte tenu des restrictions mentionnées, les valeurs suivantes peuvent être qualifiées d'acceptables aux postes de travail: germes aérobies mésophiles:  $10^4$  UFC/m<sup>3</sup>; bactéries gram négatives:  $10^3$  UFC/m<sup>3</sup>; moisissures  $10^3$  UFC/m<sup>3</sup>; endotoxines:  $10^3$  UE/m<sup>3</sup> (grande dispersion en raison des diverses méthodes d'analyse).

## 1.8 Sujets spéciaux

### 1.8.1 Appréciation du risque pour la santé des substances sans VME

Pour de nombreuses substances utilisées professionnellement, il n'existe pas de VME. Ceci ne signifie pas que ces substances soient pour autant dépourvues de danger.

Ne sont reportées dans la liste des valeurs limites d'exposition que les substances dont les valeurs VME sont établies. Les substances cancérogènes, sensibilisantes ou susceptibles de perméation transcutanée auxquelles aucune valeur VME n'est attribuée ne sont pas mentionnées.

La manière de se comporter avec ces substances ne diffère en aucune façon de celle adoptée à l'égard de celles dotées d'une VME. Néanmoins, il est tout particulièrement recommandé lors de la manipulation de nombreuses substances de procéder à une analyse du risque pour la santé. Cette procédure doit se faire sur place et comporte les étapes suivantes<sup>12</sup>:

- analyse du risque
- appréciation du degré d'exposition
- mesures à prendre
- nouvelle appréciation après un certain temps ou en présence d'éléments nouveaux

La fiche de données de sécurité est une importante source d'informations pour l'évaluation des risques pour la santé. Elle renseigne notamment sur les principales propriétés connues ainsi que sur

<sup>12</sup> Série ESCIS, cahier 13, 1998, Arbeitshygiene (uniquement en allemand: les cahiers ESCIS peuvent être obtenus auprès de la CESICS, [www.escis.ch](http://www.escis.ch).)

les mesures de sécurité et de premiers secours. Elle accompagne chaque produit et doit être mise à disposition par le fournisseur.

Il peut parfois s'avérer difficile d'évaluer l'exposition à une substance et de définir des mesures de sécurité appropriées lorsqu'il n'existe pas de VME. Différentes manières de procéder ont fait leurs preuves dans la pratique pour résoudre ce problème (voir ci-après). Elles presupposent néanmoins des connaissances solides en matière de médecine du travail, de toxicologie et d'hygiène du travail.

#### **Définir ses propres valeurs indicatives**

Si, pour une substance chimique, ses données toxicologiques sont suffisantes et/ou si son effet pharmacologique est suffisamment bien connu, une valeur limite peut être définie en dessous de laquelle un effet nuisible pour la santé peut être exclu (No Observed Adverse Effect Level, NOAEL). En connaissant ce NOAEL et en prenant en compte divers facteurs de sécurité, une entreprise peut définir ses propres valeurs indicatives pour ce type de substances. Cette manière de faire est notamment utilisée par des entreprises de l'industrie pharmaceutique pour les substances actives qu'elles produisent. Dans ce cas, les mesures à prendre doivent être déterminées de manière à pouvoir respecter ces valeurs indicatives. Si, pour une substance donnée, il existe une valeur VME, celle-ci prime sur les valeurs indicatives fixées par l'entreprise.

#### **Control Banding**

Lorsque les informations sont insuffisantes pour définir ses propres valeurs indicatives, il reste possible de classer les substances selon leurs caractéristiques physico-chimiques et de définir des mesures, sur la base des connaissances disponibles. On peut par exemple utiliser la méthode du «Control Banding». Cette méthode consiste à définir des groupes (ou «bandes»), dans lesquels sont classées les substances présentant un risque similaire pour la santé, en tenant compte de leurs propriétés. Parallèlement, un train de mesures est défini pour chaque groupe en fonction du niveau de risque de ce dernier.

Informations complémentaires au sujet du Control Banding:

- Zalk D. M. et al.: Banding the World Together; the global growth of Control Banding and qualitative occupational risk management. ICOH Newsletter 9 (2011);3: 4–7
- OIT ICCT (Organisation internationale du travail: International Chemical Control Toolkit)
- AIHA (American Industrial Hygiene Association)
- HSE COSSH (Health and Safety Executive: Control of Substances Hazardous to Health) Essential Sector guidance sheets
- ECETOC TRA (Centre européen d'éco-toxicologie et de toxicologie des produits chimiques: évaluation ciblée des risques)
- REACH EMKG-Expo too

### 1.8.2 Mélanges de substances

Dans la pratique, on n'est généralement pas exposé à des substances pures, mais à des mélanges de substances. Or les VME sont, par définition, applicables pour des expositions à des substances pures. Elles ne doivent être utilisées qu'avec prudence pour l'évaluation des risques liés aux mélanges de substances et aux produits techniques contenant des additifs ou des impuretés toxiques, car les connaissances scientifiques sur une potentialisation ou, au contraire, une inhibition réciproque de la toxicité des substances en présence sont encore insuffisantes. Néanmoins la qualité de l'air des places de travail où des mélanges de substances nocives peuvent être présents doit pouvoir être évaluée selon des critères uniformes.

En l'absence d'interaction et lorsque les substances agissent sur des organes différents, on peut supposer que ces substances ont des effets indépendants. Si elles agissent sur le même organe, on obtient un **effet additif**. Ceci correspond à l'effet toxique lié à la concentration totale des différentes substances, respectivement à celui de la somme des concentrations relatives de chaque substance prise individuellement. Ainsi, l'effet additif est obtenu non par addition des effets (effect addition), mais par addition des doses (dose addition).

Lors d'expositions multiples, des interactions peuvent fréquemment se présenter. Celles-ci influencent les concentrations des substances toxiques ou de leurs métabolites au niveau de l'organe cible et modifient les paramètres du monitoring biologique. Ces interactions peuvent

généralement survenir à plusieurs niveaux: absorption, distribution, biotransformation (activation de substances en métabolites actifs ou détoxicification en métabolites inactifs) et élimination. On parle alors d'**interactions toxicocinétiques**. Des interactions sont également possibles au niveau des récepteurs (réponse de l'organe cible à la substance). Dans ce cas, on parle d'**interactions toxicodynamiques**.

Si une substance inhibe le métabolisme d'une autre substance, la détoxicification de la substance active en métabolite (in) actif est ralentie. Une inhibition réciproque du métabolisme est également possible. Dans ce cas, l'action simultanée de ces substances entraîne une augmentation des concentrations des substances ayant un effet toxique dans le sang, avec un **effet global supra- ou hyper-additif**. On assiste alors à un ralentissement accompagné d'un pic moins important de l'excration des métabolites inactifs dans l'urine. Cela peut donner lieu à une mauvaise interprétation car l'on suppose alors une exposition moindre des travailleurs à ces substances.

L'effet toxique d'une substance peut aussi être amoindri par une autre substance (**effet infra-additif** ou **antagonisme**), par exemple en raison d'une accélération du métabolisme.

En pratique, on utilise la formule qui suit lorsque l'on a affaire à des mélanges de substances qui agissent sur le même organe sans effet de synergie entre composants (voir «dose addition» ci-dessus), comme c'est par exemple le cas pour les mélanges de solvants:

$$\frac{C_1}{VME_1} + \frac{C_2}{VME_2} + \frac{C_3}{VME_3} + \dots + \frac{C_i}{VME_i} \leq 1$$

Si la somme des fractions relatives de chaque substance en présence dépasse 1, il faut prendre les mesures nécessaires pour abaisser leur concentration globale, afin que la somme de ces indices soit ramenée avec certitude en dessous de 1.

Si l'on a affaire à des mélanges de substances agissant sur des organes différents ou dont les effets toxiques ne se potentialisent pas (p. ex. gaz d'échappement d'automobiles), on utilise la formule suivante:

$$\frac{C_1}{MAK_1} \leq 1; \frac{C_2}{MAK_2} \leq 1; \dots; \frac{C_i}{MAK_i} \leq 1$$

Lors d'une analyse du risque, en plus des influences multiples sur le poste de travail, il faut également tenir compte de facteurs extra-professionnels (p. ex. consommation d'alcool, de médicaments ou de tabac), qui peuvent interagir avec les facteurs liés à la profession. Il convient aussi de tenir compte de la toxicocinétique ou de la demi-vie des métabolites des substances utilisées.

Le monitoring biologique permet d'apprécier la charge interne due à une substance ou à une sollicitation. Il correspond à la réaction de l'organisme à la

substance en cause. Les interactions toxicocinétiques peuvent être documentées dans le cadre du monitoring biologique en suivant une stratégie judicieuse. L'effet toxique potentiel des interactions entre substances peut lui aussi être évalué au moyen d'un monitoring biologique.

L'interaction entre le bruit et les substances ototoxiques doit être prise en compte dans l'appréciation des risques. Voir à ce sujet le chapitre 1.2.3, qui introduit le marquage «O<sup>L</sup>» (ototoxicité).

### 1.8.3 Substances neurotoxiques

Divers agents peuvent développer des effets toxiques sur le système nerveux central et périphérique.

Pour les agents avec des effets indésirables sur le système nerveux central, il est important qu'un spécialiste de la sécurité au travail procède à une appréciation du risque. Lors de cette appréciation, il faut en particulier prendre en compte les coexpositions avec d'autres substances neurotoxiques, une éventuelle sensibilité accrue des travailleurs dans le cadre du travail posté de nuit, tout effet indésirable supplémentaire dû à la prise de certains médicaments ainsi que la nécessité d'une stricte abstinence vis-à-vis de l'alcool avant le travail par équipe.

#### 1.8.4 Peroxydes organiques

Le pouvoir inflammatoire et corrosif des peroxydes organiques sur la peau et les muqueuses varie fortement d'un composé à l'autre. Certains d'entre eux causent encore des nécroses graves de la peau ou de la cornée, avec perte de l'œil, à des dilutions élevées et en quantités très minimales. L'inhalation des vapeurs cause une irritation plus ou moins intense des voies respiratoires. Les risques de résorption sont en pratique minimes. On a signalé des cas de sensibilisation.

#### 1.8.5 Liquides de refroidissement et de lubrification, huiles minérales

Utilisés lors de différentes opérations d'usage des métaux, les liquides de refroidissement et de lubrification sont des mélanges complexes composés de nombreux constituants, qui peuvent être miscibles ou non miscibles avec l'eau. Sur le principe, ils se composent d'une huile de base, d'additifs et de composants secondaires. La substance de base peut être une huile minérale, une huile estérifiée naturelle ou une substance

de synthèse. De nos jours, divers additifs sont habituellement ajoutés à la substance de base, par exemple des biocides, agents émulsifiants, anticorrosifs, conservateurs, antimousses, additifs «haute pression», agents anti-vieillissement, etc. Lors de l'utilisation d'un liquide de refroidissement et de lubrification, d'autres substances dites secondaires peuvent s'accumuler ou se former, par exemple des HAP (à haute température), des particules métalliques, des détergents, des peintures, des vernis ou des solvants. Une colonisation microbienne est également possible, notamment avec formation d'endotoxines et de nitrosamines. Les nitrosamines se forment à partir d'amines secondaires en présence d'agents nitrosants (voir chap. 1.3.3). Les nitrites, produits par réduction bactérienne à partir des nitrates, sont un exemple répandu de telles substances.

Les substances préoccupantes pour la santé sont en particulier les additifs et les substances secondaires. Les HAP, certaines nitrosamines et certains

Substance	Concentration	Actions sur la peau
Peroxyde de benzoyle		pratiquement nulle ou très faible
Peroxyde de dibutyle tertiaire	50%	
Peroxyde de dilauroyle	50%	
Hydroperoxyde de butyle tertiaire		moyenne
Peracétate de butyle tertiaire	50%	
Acide peracétique		
Hydroperoxyde de cumène	40%	
Peroxyde de diacétyle	50%	
Peroxyde de dicyclohexyle	50%	très forte
Peroxyde de méthyl-éthyl-cétone	30%	
Peroxydes de cyclohexanone (mélanges)	40%	

métaux peuvent être cancérogènes. Toutefois, dans la mesure où ils ne se forment que pendant l'utilisation du produit de refroidissement et de lubrification, les huiles minérales et les produits de refroidissement et de lubrification ne sont pas considérés comme cancérogènes mais seulement classés en C2.

Les substances toxiques s'accumulent en particulier dans les aérosols (brouillards) qui sont générés au cours de l'utilisation d'un produit de refroidissement et de lubrification. En outre, certains composants sont volatils et peuvent former des vapeurs (phase gazeuse). La liste des valeurs limites d'exposition comporte aussi bien une valeur limite pour les aérosols que pour la concentration totale des aérosols et des vapeurs. La valeur pour les aérosols est fixée sur la base de considérations liées à la santé; en revanche, celle pour la concentration totale se fonde sur des aspects strictement techniques d'hygiène du travail. Dans le cas où il existe des valeurs limites d'exposition et des indications pour certains composants des produits de refroidissement et de lubrification, il y a lieu d'en tenir compte (p. ex. pour certains distillats de pétrole).

#### 1.8.6 Composés métalliques solubles

Les procédures à appliquer pour l'analyse des composés métalliques «solubles» sont fixées par convention de la manière décrite ci-dessous.

Les métaux portant dans la liste des VME (chap. 1.2) la mention «soluble» resp. leurs composés, seront préparés en appliquant le protocole suivant, fixé

par convention dans le but d'obtenir une meilleure reproductibilité des résultats.

Paramètres	Conditions d'analyse
Milieu d'extraction	Acide chlorhydrique*, 0,1 mol/l
Durée d'extraction	2 heures
Température d'extraction	Température d'ébullition
Rapport volume d'air analysé/volume d'extraction	Env. 20 000/1

\* En cas de risque de formation de chlorures métalliques peu solubles, utiliser l'acide nitrique.

On trouvera une justification et une description détaillée de ce procédé dans: J. U. Hahn, Gefahrstoffe, Reinhal tung der Luft, Springer VDI Verlag, 60 (2000) Nr. 6 Juni, S. 241–243.

#### 1.8.7 Plomb et ses composés

Le plomb et ses composés peuvent être absorbés par l'organisme par les voies respiratoires, le tractus gastro-intestinal ou, dans le cas des composés organiques du plomb, par la peau. Selon la concentration de plomb dans le sang, les travailleurs peuvent souffrir de diverses atteintes à la santé: atteinte du système nerveux, de la fertilité, du développement du fœtus, des reins, du tractus gastro-intestinal ou de constituants sanguins.

Le risque pour la santé d'une personne exposée est estimé idéalement par des analyses régulières de sang dans le cadre d'un monitoring biologique. Il existe une VBT liée à la santé qui repose sur des études de neurotoxicité réalisées chez des volontaires. Si possible, un monitoring biologique devrait être enta-

mé avant l'entrée en fonction à un nouveau poste de travail, afin de connaître la valeur initiale et de pouvoir distinguer une exposition préexistante au plomb.

Le plomb s'accumule notamment dans les os. Selon la **quantité de plomb stockée** au fil du temps, l'os peut le libérer dans le sang pendant des semaines ou des années après la fin de l'exposition. Il faut tenir compte de ce phénomène lorsqu'une personne présente une concentration de plomb trop élevée et qu'il est question de mesures à prendre. En fonction de l'analyse de risque individuelle et si la concentration de plomb diminue avec le temps lors du monitoring biologique régulier, la personne peut rester à son poste de travail.

Le plomb peut notamment provoquer des troubles du développement de l'enfant à naître. Il n'est pas possible d'indiquer un seuil en-dessous duquel des lésions toxiques sur le développement peuvent être exclues avec certitude. C'est pourquoi, dans la mesure où une grossesse est possible, l'exposition au plomb chez les **femmes en âge de procréer** ne devrait pas être supérieure à l'exposition de fond de la population générale. Du fait qu'il n'existe pas de valeurs de référence nationales pour la population générale en Suisse, la Suva s'aligne sur la directive européenne 2024/869. Cette directive recommande qu'en l'absence de valeurs de référence, la concentration de plomb dans le sang ne dépasse pas les 45 µg/l sang. La Suva remplacera la valeur BAT actuelle pour les femmes en âge de procréer par cette recommandation au plus tard en

2029. Les femmes en âge de procréer exposées de manière significative au plomb doivent bénéficier régulièrement d'un monitoring biologique du plomb débutant avant l'entrée en service et être informées des risques possibles et des comportements à adopter. Si les résultats de laboratoire dépassent la recommandation de 45 µg/l sang, les mesures à prendre doivent être envisagées dès maintenant en raison de la longue demi-vie du plomb osseux, en tenant compte de la situation globale de la femme (p. ex. la possibilité de futures grossesses). Selon la directive européenne, un dépassement n'est pas considéré comme un indicateur des effets néfastes identifiables sur la santé, mais de l'exposition qui devrait indiquer la nécessité de mesures supplémentaires. En cas de grossesse et pendant l'allaitement, les dispositions de l'ordonnance sur la protection de la maternité doivent être respectées.

Il n'y a pas de lien particulièrement étroit entre la concentration de plomb dans le sang et la **concentration dans l'air**. En effet, le plomb peut également être absorbé par voie orale et libéré à partir de l'accumulation osseuse. Le calcul d'une VME à partir d'une concentration de plomb dans le sang est donc moins fiable que la fixation d'une VBT ; dans le cadre de la prévention des maladies professionnelles, les mesures dans l'air seules sont moins pertinentes que des analyses sanguines régulières. Si les mesures de concentration dans l'air montrent des valeurs dépassant régulièrement la VME suisse et qu'une évaluation du risque individuel est indiquée, il est recommandé de mettre en place un

monitoring biologique. Les mesures dans l'air peuvent par exemple servir à évaluer l'efficacité de mesures technico-organisationnelles et – en combinaison avec un monitoring biologique – fournir des indications sur le comportement individuel au poste de travail (p. ex. manger ou fumer avec les mains contaminées, surfaces de travail ou vêtements souillés). Le monitoring du plomb n'est pas un outil approprié pour représenter une exposition aiguë.

La Suva estime que le plomb est **probablement cancérogène** pour l'homme, mais seulement à partir d'une certaine concentration de plomb sanguin. Le plomb sera donc pourvu d'une notation C1<sub>B</sub><sup>#</sup>. La concentration de plomb dans le sang est là aussi déterminante pour l'évaluation des risques pour la santé.

## 1.9 Surveillance par analyse

Une méthode importante pour contrôler si les valeurs limites (VME/VLE) sont respectées consiste à doser le contaminant dans l'air du poste de travail. La technique de dosage doit être telle que l'on obtienne des données représentatives.

La planification, l'exécution et l'interprétation des dosages est affaire de spécialiste.

### 1.9.1 Adresses

Dans la colonne de la liste intitulée «Indications analytiques», on trouvera la mention en abrégé des institutions qui ont publié des méthodes de dosage praticables. Veuillez vérifier les adresses actuelles sur Internet.

#### DGUV

**Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung**

- Analyseverfahren zur Festlegung der Konzentrationen von krebserzeugenden Arbeitsstoffen (DGUV Information, 213-500 ff, bisher BGI 505) (collection à compléments périodiques)

#### IFA

**Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung**

- IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen

#### DFG

**Deutsche Forschungsgemeinschaft** (Arbeitsgruppe «Analytische Chemie» der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe)

- Luftanalysen, analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (collection à compléments périodiques)

#### HSE

**Health and Safety Executive** (Occupational Medicine and Hygiene Laboratory)

- **Methods for the Determination of Hazardous Substances MDHS** (collection à compléments périodiques)

#### INRS

**Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles**

- Prélèvement et Analyse de Polluants Organiques Gazeux; Méthodes utilisées par l'INRS (documentation générale)
- Cahiers de Notes Documentaires 114, 55–61 (1984)
- Base de données MÉTROPOL

## NIOSH

**National Institute for Occupational Safety and Health**

- NIOSH Manual of Analytical Methods (collection à compléments périodiques)
- DHHS (NIOSH): publications n° 84-100

## OSHA

**Occupational Safety and Health Administration**

- OSHA Analytical Methods Manual (collection à compléments périodiques)

### 1.9.2 Unités

Les VME sont exprimées:

- pour les gaz et les vapeurs, en ppm (parties par million) ou en mg/m<sup>3</sup> d'air
- pour les substances en suspension, en mg/m<sup>3</sup> d'air

#### Formules de conversion

$$\text{mg/m}^3 = \frac{\text{masse moléculaire}}{24,06} \times \text{ml/m}^3$$

$$\text{ml/m}^3 = \frac{\text{masse moléculaire}}{24,06} \times \text{mg/m}^3$$

24,06 l = volume molaire à 20°C (293 K) et 760 Torr (1013,25 mbar, 101325 Pa).

Si une VME pour une substance solide est indiquée en ml/m<sup>3</sup>, elle concerne la phase sublimée, gazeuse de cette substance, alors qu'une valeur en mg/m<sup>3</sup> est valable tant pour la forme sublimée que pour la phase solide (poussière).

### 1.9.3 Substances pouvant simultanément apparaître sous forme de vapeur et d'aérosol

À température ambiante, lorsque la pression de la vapeur est faible, certaines substances peuvent simultanément

apparaître sous forme de vapeur et d'aérosol. Le point d'ébullition de ces substances est normalement compris entre 180°C et 350°C. De telles substances peuvent se produire sous forme de mélanges de vapeur et d'aérosol lors du traitement des métaux et des céramiques, lors des procédés de trempage en galvanoplastie, lors des procédés de pulvérisation, lors du traitement à chaud des bitumes et lors du soudage au laser, ainsi que lors d'autres processus. Pour la mesure et l'évaluation de ces substances, il est donc nécessaire de tenir compte de cette situation.

Conformément aux recommandations prDIN EN 13936, il faut – au moyen d'un système d'échantillonnage – déterminer simultanément la vapeur et l'aérosol pour les substances présentant une pression de vapeur inférieure à 100 Pa et supérieure à 0,001 Pa à température ambiante. Pour ce faire, les systèmes d'échantillonnage les plus appropriés sont ceux qui permettent de collecter ensemble les vapeurs et les aérosols et dans lesquels la teneur en aérosol est déterminée en tant que fraction inhalable. Dans l'optique d'un scénario du pire, cela est également recommandé pour les substances dont la VME ne se réfère qu'à la fraction alvéolaire, car celle-ci ne peut en général pas être mesurée aux postes de travail.

Pour les substances apparaissant simultanément sous forme de vapeur et d'aérosol, la liste des valeurs limites comporte une remarque appropriée.

# 2 Valeurs biologiques tolérables (VBT)

## 2.1 Remarques préliminaires

### 2.1.1 Prévention en médecine du travail et monitoring biologique

Les conditions de travail à un poste donné sont appréciées en comparant les résultats des dosages faits dans l'air ambiant de ce poste avec les VME. Cette surveillance est complétée par des examens de médecine du travail, qui consistent en contrôles cliniques (examen d'entrée en danger, contrôles périodiques, contrôles ultérieurs) et par des analyses de laboratoire visant à détecter aussi précocement que possible les effets toxiques d'une substance. Ces examens médicaux de prévention permettent également de repérer certaines maladies qui ne sont pas dues au travail, mais qui font que la santé de celui qui en souffre est plus menacée dans son métier. En vertu de l'ordonnance du Conseil fédéral sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles (OPA), c'est la division médecine du travail de la Suva qui procède, en collaboration avec des médecins installés et des médecins d'entreprises, aux contrôles médicaux.

La mesure de l'exposition à un produit chimique au poste de travail peut s'effectuer dans l'air ambiant proche du travailleur (ambient monitoring) ou par la surveillance biologique (biological monitoring). La mesure de la concentration d'un produit dans l'air ambiant permet d'apprécier l'environnement de travail. L'estimation de la situation résultera de la confrontation des résultats obtenus avec les valeurs moyennes limites d'exposition (VME). Le monitoring biologique consiste à quantifier l'exposition du travailleur à une substance chimique, par la mesure de cette substance ou de ses métabolites dans un substrat biologique (paramètre de charge), ou par la variation d'un indicateur biologique qui témoigne de la réaction de l'organisme à la substance chimique en cause (paramètre d'épreuve). Le risque pour la santé peut être apprécié en comparant les résultats des paramètres biologiques obtenus avec les valeurs biologiques tolérables (VBT).

## 2.1.2 Valeur biologique tolérable: définition

La **VBT** (valeur biologique tolérable) décrit sur le plan de la toxicologie professionnelle la concentration d'une substance, de ses métabolites ou d'un paramètre indicateur d'effet dans un liquide biologique correspondant, pour laquelle la santé d'un travailleur n'est, dans la vaste majorité des cas, pas mise en danger, même lors d'exposition répétée ou à long terme. Les valeurs VBT reposent sur une relation entre l'exposition externe et interne ou entre l'exposition interne et l'effet causé par la substance. La détermination de la valeur VBT prend comme base de référence les expositions internes moyennes.

La valeur VBT est considérée comme dépassée lorsque la concentration moyenne du paramètre est au-dessus de la VBT lors d'examens répétés du travailleur; les valeurs mesurées au-dessus de la VBT doivent être évaluées sur le plan de la toxicologie professionnelle. On ne peut pas nécessairement conclure à une atteinte à la santé sur la base d'un dépassement unique de la VBT. Ce principe s'applique uniquement aux substances pour lesquelles la VBT ne doit pas être dépassée en tant que valeur maximale dans un cas d'espèce. Un **T** est alors marqué en regard de la substance correspondante dans la colonne «Remarques».

giques témoignant de la charge interne ou de l'épreuve de l'organisme.

Les VBT sont établies pour des expositions à une seule substance chimique pure. En cas d'exposition à deux ou plusieurs substances, les résultats doivent être interprétés à la lumière des données toxicocinétiques et des interactions possibles entre ces diverses substances.

Le monitoring biologique peut être associé aux mesures faites dans l'air, ou mis en œuvre seul, selon les circonstances. Reflétant la charge interne, le monitoring biologique tient compte de toutes les voies d'entrée dans l'organisme, par exemple par résorption cutanée ou par voie digestive, ainsi que par une augmentation de la captation respiratoire lors d'efforts physiques, en raison de l'accroissement du débit ventilatoire. Toutes les sources d'exposition sont incluses, par exemple celles résultant d'une activité privée ou de l'environnement. En outre, l'efficacité des moyens de protection individuelle peut être testée. Tous ces paramètres expliquent que la charge interne d'un travailleur ne soit pas strictement corrélée avec la charge externe reflétée par les mesures dans l'air ambiant dans toutes les situations professionnelles rencontrées.

## 2.1.3 Interprétation

Pour fixer une VBT, il faut disposer de suffisamment de données médicales, toxicologiques et cinétiques sur la substance en cause. Les VBT sont déterminées en se basant sur la corrélation entre les paramètres biologiques obtenus et les atteintes à la santé constatées, ou par comparaison entre les valeurs limites d'exposition (VME) et les résultats biolo-

De manière générale, le fait que les VBT ne soient pas dépassées à un poste de travail ne délie par l'employeur de la surveillance de l'air ambiant, surtout en présence de substances possédant une action irritative sur la peau, les conjonctives et les muqueuses respiratoires.

On veillera tout particulièrement à interpréter les VBT signalées par les lettres N, Q, T et X en fonction des critères qu'elles indiquent.

Les résultats des analyses biologiques doivent être interprétés par des spécialistes compétents. Les remarques préliminaires du chapitre 1, les valeurs limites d'exposition (VME) et les remarques concernant certaines substances particulières de la liste des VME doivent être dans tous les cas respectées. On tiendra compte de la protection des données.

### 2.1.4 Structure de la liste des VBT

Pour chaque substance, le choix s'est porté sur les paramètres qui sont souvent utilisés dans la pratique et pour lesquels on dispose de suffisamment d'expérience en médecine du travail et en toxicologie. Pour les paramètres moins usités, on consultera la littérature. Le substrat biologique nécessaire ou recommandé pour la détermination du paramètre est indiqué: urine; sang complet; érythrocytes; plasma ou sérum; air alvéolaire. Comme le moment précis de la prise d'échantillon est important pour l'interprétation de nombreux paramètres, les indications nécessaires figurent sous la rubrique «prélèvement». Pour les substances à très longues demi-vies et s'accumulant dans l'organisme au cours des années, le moment du prélèvement est indifférent. Pour les paramètres à demi-vie plus courte, le moment du prélèvement est indiqué: avant le travail, c'est-à-dire après plus de 15 heures sans exposition; à la fin du travail, c'est-à-dire en général dans les 2 heures suivant la fin de l'exposition; dans certains cas, lors d'expositions prolongées au cours de plusieurs journées de travail, c'est-à-dire après 4 ou 5 périodes de travail.

### Substrat d'examen

- S Sang complet
- E Erythrocytes
- U Urine
- A Air alvéolaire
- P/Se Plasma/Sérum

### Moment du prélèvement

- a Indifférent
- b Fin de l'exposition, de la période de travail
- c Exposition de longue durée: après plusieurs périodes de travail
- d Avant la reprise du travail

Les mentions suivantes figurent dans la liste.

#### N Paramètre non spécifique

Les paramètres biologiques portant la mention N ne sont pas spécifiques de la substance indiquée, mais peuvent également être modifiés par l'exposition à d'autres substances chimiques. Leur utilisation a cependant fait ses preuves dans la pratique. Lors de problème d'interprétation, il est recommandé de faire appel en plus à un paramètre spécifique.

#### Q Interprétation quantitative difficile

L'interprétation quantitative exacte des paramètres portant la mention Q se heurte à des difficultés. Ces paramètres se prêtent donc à des tests de dépistage ou peuvent compléter la détermination de paramètres non spécifiques (N).

#### X Influence de l'environnement

Les paramètres biologiques portant la mention X présentent à divers degrés des modifications également chez des personnes professionnellement non exposées, ceci en raison de l'influence de l'environnement.

#### **P Valeur provisoire**

Les VBT de ces paramètres biologiques ne sont pas encore définitivement fixées, pour diverses raisons.

#### **T Effet toxique aigu**

Pour les substances marquées avec T, la VBT s'applique en tant que valeur maximale dans un cas d'espèce et ne doit pas être dépassée

#### **# Substances cancérogènes avec valeur seuil**

Pour les substances cancérogènes dont la VBT est signalée par le symbole #, il n'y a pas de contribution notable au risque de cancer si la VBT est respectée.

#### **2.1.5 VBT pour les substances cancérogènes des catégories C1<sub>A</sub> et C1<sub>B</sub>**

Pour l'appréciation de l'exposition aux substances cancérogènes des catégories C1<sub>A</sub> et C1<sub>B</sub>, voir le chapitre 1.3. Les VBT indiquées pour les substances cancérogènes sont soumises aux mêmes restrictions que les VME des substances cancérogènes. Pour les substances cancérogènes avec valeur seuil, le risque de cancer n'est pas accru si la VBT est respectée, dans la mesure où la valeur seuil dans le matériel biologique en question est connue. Les substances qui ne contribuent pas, ou pas de façon déterminante, au risque de cancer lorsque la VBT est respectée sont signalées par le symbole # dans la colonne «Remarques» de la liste des VBT.

#### **2.1.6 Contrôle de qualité des analyses**

Les méthodes d'analyse utilisées doivent livrer des résultats précis et reproducibles. Les laboratoires qui les exécutent doivent se soumettre à un contrôle de qualité, sur le plan interne et externe. Les documents relatifs aux contrôles de qualité doivent être conservés par les laboratoires qui doivent en garantir l'accès aux organes d'exécution compétents de la sécurité au travail.

# 3 Valeurs admissibles pour les agents physiques aux postes de travail

## 3.1 Radiations ionisantes

Les doses maximales admissibles d'irradiation résultant de l'action d'un rayonnement ionisant externe

ou de l'action d'une substance radioactive ayant pénétré dans le corps sont fixées par la loi sur la radioprotection du 22 mars 1991 et par l'ordonnance sur la radioprotection du 26 avril 2017.

**Tableau 1**

$F(\lambda)$  signifie que la puissance maximale dépend de la longueur d'onde et doit être déduite de la norme.

Classe	Longueur d'onde (nm)	Puissance maximale	Danger
1	toutes	$F(\lambda)$	Sans aucun risque
1M	toutes	$F(\lambda)$	Peuvent présenter un danger quand un instrument optique (microscope ou jumelles) est utilisé. Les lunettes ne sont pas considérées comme instrument optique.
1C	toutes	selon application	La puissance émise correspond à la classe 3R, 3B ou 4. Les lasers de la classe 1C produisent des émissions uniquement en contact avec un rayonnement superficiel. La libération du rayon doit être surveillée par un ou plusieurs dispositifs de sécurité pour empêcher une mise en danger des yeux.
2	400–700 (spectre visible uniquement)	1 mW	Le réflexe naturel de fermeture de l'œil le protège contre le rayonnement dangereux. Si l'on fixe volontairement le rayon, la rétine peut être lésée.
2M	400–700 (spectre visible uniquement)	1 mW	Peuvent présenter un danger quand un instrument optique est utilisé. Le réflexe de fermeture oculaire ne protège qu'insuffisamment.
3R	400–700	5 mW	Peuvent lésier la rétine même sans l'intermédiaire d'un instrument optique.
	autres	5 x classe 1	
3B	toutes	500mW	Le rayonnement direct ou réfléchi peut occasionner des dégâts oculaires même lors de courte exposition.
4	toutes	illimité	Le rayonnement direct ou réfléchi (même diffus) est très dangereux pour les yeux et la peau. Possibilité de libération de produits dangereux ou d'incendie lors de contact avec certains matériaux.

## 3.2 Radiations non ionisantes

### 3.2.1 Lasers

La norme européenne SN EN 60825-1 s'applique à l'ensemble des lasers. En raison de la dangerosité du rayonnement accessible, les lasers sont rattachés aux différentes classes 1, 1M, 1C, 2, 2M, 3R, 3B et désignés en conséquence (tableau 1). Des mesures correspondant à la classe de laser doivent être prises pour garantir un maniement sûr au poste de travail. La norme SN EN 60825-2 s'applique à la transmission de données par fibres optiques. Vous trouverez des informations complémentaires dans la brochure «Attention: rayonnement laser!» sur [www.suva.ch/66049.f](http://www.suva.ch/66049.f).

### 3.2.2 Ultra-violets

Longueurs d'onde de 180–400 nm.

Les valeurs admissibles d'irradiation UV pour les yeux ou pour la peau s'appliquent aux sources telles que lampes à arc, lampes à décharge à gaz ou vapeur, lampes fluorescentes ou à incandescence, rayonnement solaire. Elles sont utilisables pour une irradiation continue,

dont la durée n'est pas inférieure à 0,1 s. Pour les lasers, les prescriptions spéciales du chapitre 3.2.1 sont applicables.

Les personnes sensibles à la lumière (par prédisposition naturelle ou par le biais de certaines substances ou médicaments) peuvent n'être qu'insuffisamment protégées même en respectant ces recommandations; il en va de même pour les personnes opérées de la cataracte, en ce qui concerne l'exposition de l'œil aux rayons UV.

En présence d'une source de rayons UV monochromatique à bande étroite, la radiation émise peut être directement comparée avec la valeur admissible de la longueur d'onde correspondante (tableau 2). Pour les sources UV à bande large ou en présence d'un mélange de rayons UV monochromatiques, il faut tout d'abord calculer l'énergie effective du rayonnement. Cette valeur peut être ensuite comparée à la longueur d'onde de référence de 270 nm.

$$E_{\text{eff}} = \sum E_{\lambda} \cdot s_{\text{rel}} \cdot \Delta\lambda$$

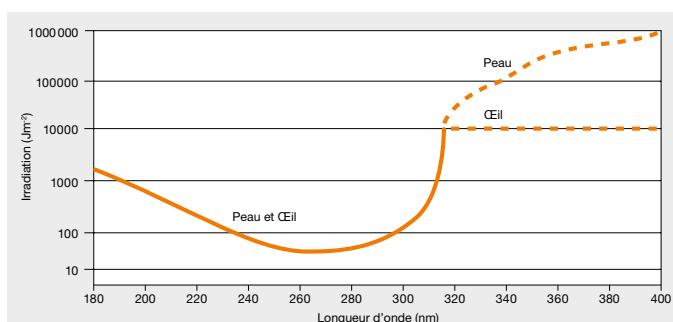


Fig. 1: Irradiation UV maximale admissible pour une durée de 8 heures (journée de travail). Représentation graphique des valeurs limites du tableau 2.

**Tableau 2**

Irradiation UV maximale admissible pour une durée de 8 heures (journée de travail), efficacité spectrale relative  $S_{\text{rel}}$ .

Peau et œil		Peau				Œil	
Longueur d'onde	Irradiation admissible	Efficacité spectrale relative du rayonnement pour la longueur d'onde	Longueur d'onde	Irradiation admissible	Efficacité spectrale relative	Irradiation admissible	Efficacité spectrale relative du rayonnement pour la longueur d'onde
(nm)	(J·m <sup>-2</sup> )	(-)	(nm)	(J·m <sup>-2</sup> )	(-)	(J·m <sup>-2</sup> )	(-)
180	2500	0,012	315	10 000	0,003	10 000	0,003
190	1600	0,019	316	13 000	0,0024		
200	1000	0,030	317	15 000	0,0020		
205	590	0,051	318	19 000	0,0016		
210	400	0,075	319	25 000	0,0012		
215	320	0,095	320	29 000	0,0010		
220	250	0,120	322	45 000	0,00067		
225	200	0,150	323	56 000	0,00054		
230	160	0,190	325	60 000	0,00050		
235	130	0,240	328	68 000	0,00044		
240	100	0,300	330	73 000	0,00041		
245	83	0,360	333	81 000	0,00037		
250	70	0,430	335	88 000	0,00034		
254	60	0,500	340	110 000	0,00028		
255	58	0,520	345	130 000	0,00024		
260	46	0,650	350	150 000	0,00020		
265	37	0,810	355	190 000	0,00016		
270	30	1,000	360	230 000	0,00013		
275	31	0,960	365	270 000	0,00011		
280	34	0,880	370	320 000	0,000093		
285	39	0,770	375	390 000	0,000077		
290	47	0,640	380	470 000	0,000064		
295	56	0,540	385	570 000	0,000053		
297	65	0,460	390	680 000	0,000044		
300	100	0,300	395	830 000	0,000036		
303	250	0,120	400	1 000 000	0,000030	10 000	0,003
305	500	0,060					
308	1 200	0,026					
310	2 000	0,015					
313	5 000	0,006					
315	10 000	0,003					

où

- $E_{\text{eff}}$  = énergie effective rapportée à la longueur d'onde monochromatique de 270 nm [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]  
 $E_{\lambda}$  = énergie de rayonnement spectrale pour la longueur d'onde  $\lambda$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ]  
 $S_{\text{rel}}$  = efficacité spectrale relative du rayonnement pour la longueur d'onde  $\lambda$  [-] (tableau 2)  
 $\Delta\lambda$  = largeur de la bande spectrale [nm]

La durée maximale admissible d'irradiation en secondes par journée de travail peut être calculée en divisant l'irradiation admissible pour la longueur d'onde de référence de 270 nm au cours d'une journée de travail de 8 heures (selon le tableau 1, elle s'élève à  $30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ) par l'énergie effective  $E_{\text{eff}}$  dérivée de la formule ci-dessous.

$$t_{\text{max}, 8 \text{ h}} [\text{s}] = \frac{30 [\text{J} \cdot \text{m}^{-2}]}{E_{\text{eff}} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]}$$

### 3.2.3 Rayonnement dans le spectre visible et infrarouge (rayonnement incohérent)

Plage de longueurs d'ondes de 300 à 1400 nm.

Voir les valeurs limites de la publication «ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Incoherent Visible and Infrared Radiation» (Health Physics 105(1):74-91; 2013) de la Commission Internationale pour la protection contre les radiations non ionisantes (ICNIRP).

On trouve des sources de rayonnement incohérent dans le spectre visible et infrarouge à tous les postes de travail. La plupart ne présentent aucun danger.

Les sources suivantes respectent les valeurs limites susmentionnées et peuvent donc être considérées comme sans danger si elles sont utilisées de manière conforme à l'usage prévu (Commission européenne 2011: «Guide à caractère non contraignant pour la mise en œuvre de la directive 2006/25/CE sur

Tableau 3

Source de rayonnement	Conditions d'usage sans danger
Plafonniers fluorescents sans écran diffuseur	Sans danger à puissance d'éclairage normale ( $\approx 600 \text{ lux}$ )
Éclairage à halogénures métalliques ou à mercure sous haute pression	Sans danger tant que le verre protecteur est intact et que l'éclairage est hors du champ de vision
Projecteurs de bureau	Sans danger en l'absence de vision directe dans le faisceau
Lumière noire UVA basse pression	Sans danger hors du champ de vision
Tout appareil de classe 0 et 1 selon EN 62471	Sans danger hors du champ de vision; danger possible si l'enveloppe protectrice est ôtée
Phares de véhicule	Sans danger en l'absence de vision directe prolongée dans le faisceau
Flash photographique fort	Sans danger en l'absence de vision directe dans le faisceau

les rayonnements optiques artificiels» [p. 15]):

- plafonniers fluorescents
- écrans d'ordinateur
- projecteur avec lampes à basse consommation
- lampes à incandescence
- voyants LED
- clignotants, feux de frein, de recul et de brouillard
- appareils surélevés de chauffage à rayonnement au gaz
- éclairage des rues

Le tableau 3 décrit les circonstances dans lesquelles ces sources ne constituent probablement pas un risque pour la santé.

En ce qui concerne les lampes non mentionnées dans cette liste ou utilisées sous une forme non sécurisée, le groupe de risque donne des indications sur leur dangerosité (voir tableau 4). Toutes les lampes utilisées doivent être classées par leur fournisseur dans l'un de ces groupes de risque, conformément à la norme NF EN 62471:2008 (sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes). Le risque augmente avec le groupe de risque.

La prudence est de mise pour utiliser les sources pouvant causer un éblouissement, en particulier si la manière de travailler exige que l'on regarde fréquemment dans leur direction. D'autres examens sont nécessaires dans ce cas.

### 3.2.4 Champs électromagnétiques

Domaine de fréquence: champs statiques (0 Hz) jusqu'à 300 GHz.

Les valeurs limites pour les champs EM (tableau 5) sont applicables aux situations dans lesquelles le corps entier est exposé à un champ électrique, magnétique ou électromagnétique. Elles sont définies pour le poste de travail inoccupé, car la présence d'une personne modifie fortement la puissance du champ électrique en particulier. Elles s'appliquent par exemple aux postes de travail proches d'électroaimants, d'appareils de tomographie à résonance magnétique, de transformateurs, de fours à induction, d'appareils de soudure et d'installations de séchage à haute fréquence et de fours industriels à microondes.

Elles sont aussi utilisables pour les travailleurs d'entreprise de production et de distribution d'énergie (trains, centrales électriques, industrie) et pour les émet-

Tableau 4

Classe de risque	Description
Classe de risque 0 (catégorie «exemptée»)	Ces lampes ne représentent aucun danger selon les critères de la norme.
Groupe de risque 1 (faible risque)	Ces lampes ne représentent aucun danger en utilisation normale.
Groupe de risque 2 (risque moyen)	La réaction étant de détourner le regard pour éviter l'éblouissement face à une source lumineuse intense ou pour fuir la chaleur, ces lampes ne représentent aucun danger.
Groupe de risque 3 (risque important)	Ces lampes représentent un danger même en cas d'exposition de courte durée.

teurs. Pour garantir le respect des valeurs limites de base selon le CIPRNI (Commission internationale pour la protection contre les radiations non ionisantes), les champs dans le domaine statique et des basses fréquences ne doivent à aucun moment dépasser les valeurs du tableau 5. Pour les champs proches des appareils de tomographie à résonance magnétique, l'employeur doit effectuer une analyse de risque et déterminer des mesures de protection.

Lorsqu'il s'agit de champs à haute fréquence modulés ou pulsés, il convient de déterminer la densité moyenne d'émission sur une période représentative de 6 min.

Les valeurs pics des impulsions à hautes fréquences de courte durée (radar) ne doivent pas dépasser de plus du facteur de 1000 la densité de puissance moyenne  $P$  figurant dans le tableau 5.

#### Tableau 5

Valeurs limites pour les champs EM (valeurs effectives) pour des fréquences industrielles choisies;  $f$  = fréquence en Hertz;  $H$  = intensité du champ magnétique en Ampère/mètre;  $B$  = densité du flux magnétique en Tesla;  $E$  = intensité du champ électrique en Volt/mètre;  $P$  = densité de puissance moyenne en Watt/m<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Sans objet à ce niveau de fréquence

<sup>2)</sup> Des expositions jusqu'à 8000 mT peuvent être justifiées pour des applications spéciales, à condition que l'environnement soit contrôlé et que des règles de comportement propres à prévenir les effets induits par le mouvement soient appliquées.

<b><math>f</math></b>	<b><math>H</math> (kA/m)</b>	<b><math>B</math> (mT)</b>	<b><math>E</math> (kV/m)</b>	<b><math>P</math> (W/m<sup>2</sup>)</b>
statique	1600 6400	2000 (pour la tête et le tronc) <sup>2)</sup> 8000 (pour les membres) <sup>2)</sup>	40	1)
<b><math>f</math> (Hz)</b>	<b><math>H</math> (A/m)</b>	<b><math>B</math> (<math>\mu</math>T)</b>		
16 $\frac{2}{3}$	1200	1500	20	1)
50	400	500	10	1)
400	50	62,5	1,25	1)
30000	24,4	30,7	0,61	1)
<b><math>f</math> (MHz)</b>			<b><math>E</math> (V/m)</b>	
13,56	0,16	0,20	61	10
27,12	0,16	0,20	61	10
40,68	0,16	0,20	61	10
433,92	0,17	0,21	62,5	11
900	0,24	0,30	90	22,5
1800	0,34	0,42	127	45
2450	0,36	0,45	137	50
5800	0,36	0,45	137	50
24125	0,36	0,45	137	50

Les porteurs d'un stimulateur cardiaque ou d'autres appareils médicaux de type électronique peuvent être insuffisamment protégés même en respectant ces valeurs limites. De telles situations nécessitent une enquête particulière.

Ces limites ont pour but de protéger les travailleurs de l'effet thermique direct des champs à hautes fréquences et de la gêne causée par les champs statiques et à basses fréquences. Il est possible qu'en raison du contact avec des structures métalliques importantes, des sensations désagréables soient cependant perçues. Dans de tels cas, il faut obtenir par une mise à terre sélective ou par une isolation de ces structures un abaissement du courant de contact (Icont) suffisant pour faire disparaître ces effets désagréables (pour 0–2,5 kHz: Icont < 1,0 mA).

Le respect de ces limites ne garantit pas que certains appareils sensibles aux champs EM comme les instruments de navigation, les écrans d'ordinateurs, les microscopes électroniques, les analyseurs, les récepteurs radio ne puissent être dérangés. Des mécanismes électro-explosifs ainsi que des explosions peuvent être déclenchés par la formation d'éclatelles. Des perturbations majeures sont possibles, susceptibles d'entraîner éventuellement des risques secondaires. Ce problème fait l'objet de prescriptions spéciales notamment sur la résistance aux champs électromagnétiques (EMV) des installations et appareils techniques (ordonnance sur la compatibilité électromagnétique, RS 734.5).

Les valeurs limites d'exposition aux **champs magnétiques statiques** figurant dans le tableau 5 correspondent

aux valeurs de référence pour les postes de travail (occupational) de la Directive sur les limites d'exposition aux champs magnétiques statiques (0 Hz) de la Commission Internationale pour la protection contre les radiations non ionisantes (Directive ICNIRP 2009, *Health Phys.* 96(4), 504–514).

Les valeurs limites d'exposition aux **champs alternatifs** figurant dans le tableau 5 correspondent aux valeurs de référence pour les postes de travail (occupational) de la Directive sur la limitation des immissions des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques alternatifs (jusqu'à 300 GHz) de la Commission Internationale pour la protection contre les radiations non ionisantes (Directive ICNIRP 1998, *Health Phys.* 74, 494–522).

Pour la protection pendant **la grossesse et la maternité**, il faut suivre les valeurs limites de l'ordonnance du DEFR sur les activités dangereuses ou pénibles en cas de grossesse et de maternité (voir annexe 1 de l'art. 12, paragraphe 3 de l'ordonnance sur la protection de la maternité).

Pour la protection de **la population générale** et la planification des locaux, c'est l'ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI, RS 814.710) qui fait foi.

### 3.3 Bruit et vibrations

**L'exposition au bruit au poste de travail** est déterminée selon la norme SN EN ISO 9612. Les niveaux d'exposition typiques aux postes de travail sont décrits dans les tableaux des niveaux sonores sur [www.suva.ch/86005.f](http://www.suva.ch/86005.f). Les mesures de protection à prendre sont précisées dans le feuillet d'information «Valeurs acoustiques limites et indicatives» sur [www.suva.ch/86048.f](http://www.suva.ch/86048.f) et dans la liste de contrôle «Bruit au poste de travail» à l'adresse [www.suva.ch/67009.f](http://www.suva.ch/67009.f).

**Les expositions aux vibrations sont mesurées et évaluées** selon les normes ISO 5349 (vibrations main-bras) et ISO 2631 (vibrations corps entier). Les charges vibratoires typiques des postes de travail, machines et appareils sont indiquées dans les tableaux correspondants sur [www.suva.ch/86705.f](http://www.suva.ch/86705.f). Les mesures de protection à prendre et d'autres informations utiles sont présentées dans la publication «Les vibrations: un facteur de risque» à l'adresse [www.suva.ch/44089.f](http://www.suva.ch/44089.f).

#### 3.3.1 Bruit continu

Lorsque le niveau d'exposition au bruit  $L_{EX}$  calculé pour une journée de travail atteint ou dépasse 85 dB(A) (valeur d'action), des mesures de protection contre le bruit doivent être prises.

Le niveau d'exposition au bruit rapporté à une année de travail  $L_{EX, 2000h}$  doit être inférieur à 85 dB(A) (valeur limite d'exposition).

<sup>13</sup> Le niveau sonore des ultrasons et des infrasons doit être mesuré sans pondération en fréquence (linéaire).

#### 3.3.2 Bruit impulsif

Si des événements sonores atteignent un niveau de pression acoustique de crête  $L_{peak}$  de 135 dB(C) (valeur d'action), des mesures de protection contre le bruit doivent être prises.

Lors d'événements sonores de ce type, le niveau d'exposition acoustique global  $L_E$  ne doit pas dépasser 120 dB(A) au maximum sur une heure (valeur limite d'exposition).

#### 3.3.3 Ultrasons

Les ultrasons dans la bande de fréquences de 20 kHz à 100 kHz ne causent aucun dommage, dans l'état actuel des connaissances, si le niveau maximal  $L_{Fmax}$  dans cette bande de fréquences reste inférieur à 140 dB et le niveau sonore permanent équivalent  $L_{eq}$  rapporté à une journée de travail de 8 heures inférieur à 110 dB<sup>13</sup>

#### 3.3.4 Infrasons

Les infrasons dans la bande de fréquences de 2 Hz à 20 Hz ne causent pas de lésions de l'ouïe, dans l'état actuel des connaissances, si le niveau maximal  $L_{Fmax}$  dans cette bande de fréquences reste inférieur à 150 dB et le niveau d'exposition acoustique équivalent  $L_{eq}$  rapporté à une journée de travail de 8 heures inférieur à 135 dB<sup>13</sup>.

Si un niveau sonore permanent équivalent  $L_{eq}$  de 120 dB est dépassé, les infrasons peuvent causer une sensation de malaise.

### 3.3.5 Vibrations main-bras

Si la charge vibratoire A(8) sur une journée de travail de 8 heures atteint ou dépasse  $2,5 \text{ m/s}^2$  (valeur d'action), il faut prendre des mesures et procéder à une évaluation approfondie du risque.

La charge vibratoire A(8) sur une journée de travail de 8 heures ne doit pas dépasser  $5 \text{ m/s}^2$  (valeur limite d'exposition).

### 3.3.6 Vibrations corps entier

Si la charge vibratoire A(8) sur une journée de travail de 8 heures atteint ou dépasse  $0,5 \text{ m/s}^2$  (valeur d'action), il faut prendre des mesures et procéder à une appréciation approfondie du risque.

La charge vibratoire A(8) sur une journée de travail de 8 heures ne doit pas dépasser  $1,15 \text{ m/s}^2$  (valeur limite d'exposition).

### 3.4 Milieu hyperbare

Dans certaines situations, les travailleurs peuvent être exposés à une surpression externe. C'est notamment le cas sur les chantiers de construction effectués dans l'air comprimé lorsque la surpression dépasse 0,1 bar, ou pendant les interventions en plongée dès lors que le plongeur, équipé d'une tenue de plongée, se trouve sous la surface de l'eau. Les effets des substances employées au travail sur un corps humain en milieu hyperbare sont encore peu connus. Il est toutefois possible de formuler des recommandations sur la base de considérations expérimentales, étant entendu qu'il ne s'agira pas de vérités médicalement avérées et qu'il conviendra d'en tenir compte pour l'évaluation des risques.

Pour les recommandations, on distingue d'une part les gaz et les vapeurs et, d'autre part, les poussières et les aérosols.

### 3.4.1 Gaz et vapeurs

Lorsque la pression ambiante augmente, la pression partielle d'une substance gazeuse ou sous forme de vapeur augmente en proportion si sa concentration dans la quantité totale de gaz reste constante. La pression partielle est liée au nombre de particules ou à la masse par unité de volume, et son augmentation suit par conséquent celle de la masse par unité de volume de la substance en question. Un travailleur en milieu hyperbare est donc exposé à une quantité accrue de substances dans l'air ambiant en milieu hyperbare par rapport au milieu normobare. Dans ces conditions, si la valeur limite d'exposition (VME) sur le lieu de travail est exprimée en ppm, on peut se trouver exposé à une dose inadmissible d'une substance alors même que la concentration de celle-ci, mesurée en ppm, ne dépasse pas cette limite. La VME exprimée en ppm doit donc être abaissée en proportion de l'élévation de la pression ambiante absolue afin de ne pas dépasser la masse par unité de volume. Cette extrapolation n'est pas nécessaire pour les VME exprimées en  $\text{mg}/\text{m}^3$ . En pratique, cela signifie que les VME exprimées en ppm doivent être converties, tandis que celles indiquées en  $\text{mg}/\text{m}^3$  peuvent être utilisées sans changement.

Prenons l'exemple du n-hexane, dont nous allons calculer la VME à 500 kPa. Le n-hexane est un gaz dont la VME dans des conditions normales, à 101,3 kPa, est de 50 ppm (180  $\text{mg}/\text{m}^3$ ). Si la pression est multipliée par cinq, de 101,3 à 500 kPa, 50 ppm de n-hexane correspondent à 900  $\text{mg}/\text{m}^3$ , soit cinq fois la masse par unité de volume.

En conséquence, la VME en ppm doit être divisée par cinq pour avoir une pression partielle constante (soit 10 ppm dans une atmosphère hyperbare de 500 kPa).

### 3.4.2 Poussières et aérosols

Le comportement physique des poussières et des aérosols ne change pas avec les variations de la pression ambiante. Il n'est donc pas nécessaire d'adapter leurs VME lorsque la pression est différente.

Pour plus de précisions sur cette question, voir par exemple le document «Occupational exposure limits for hyperbaric conditions» (2000) publié par le Health and Safety Executive (HSE), organisme chargé de la sécurité au travail au Royaume-Uni. Une ordonnance suisse sur les travaux en milieu hyperbare est en cours d'élaboration.

### 3.5 Chaleur (rayonnement infrarouge)

On considère qu'une activité dans la chaleur est nuisible pour la santé quand elle provoque une élévation au-dessus d'environ 38°C de la température centrale du corps, cette dernière constituant un paramètre d'évaluation de la mise à l'épreuve de l'organisme. Pour juger de la chaleur qui règne, on se fonde soit sur des critères de charge externe, soit sur des paramètres biologiques qui renseignent sur la mise à l'épreuve. Cela demande des connaissances spéciales en hygiène et en médecine du travail.

**Pour juger de la chaleur à laquelle l'organisme est soumis**, on dispose de deux sortes de renseignements: les facteurs climatiques qui règnent à la place de travail (température, humidité et mouvements de l'air, rayonnement calorique) et les facteurs individuels de charge (difficulté et durée du travail, habillement, degré d'acclimatation, etc.). La méthode du thermomètre humide permet une mesure simple de la chaleur au poste de travail (méthode WBGT [Wet-Bulb-Globe-Temperature Index]). La résistance à la chaleur varie beaucoup d'un individu à l'autre, ce qui fait qu'il est impossible d'indiquer des limites de température valables pour tout le monde. Ces limites, et la méthode de mesure, devraient en conséquence être déterminées dans chaque cas par un spécialiste en hygiène industrielle. Comme base d'appréciation, les directives suivantes peuvent être utilisées:

- EN 27243: Évaluation de la charge thermique du travailleur par l'indice WBGT

- EN ISO 7726: Instruments de mesure des données physiques de l'environnement

La valeur limite pour les travailleurs occupés dans les chantiers souterrains est de 28°C de température sèche. Cette limite est valable dans tous les secteurs principaux d'activité, c'est-à-dire ceux dans lesquels on travaille durant des périodes prolongées; elle constitue également la valeur horaire moyenne à respecter. Par des mesures techniques, à savoir un système de refroidissement efficace, on doit donc être en mesure de garantir qu'une température sèche d'au maximum 28°C n'est pas dépassée dans ces secteurs. Pour plus de détails, on voudra bien se référer à la publication disponible à l'adresse [www.suva.ch/2869/26.f](http://www.suva.ch/2869/26.f).

Quant à l'épreuve que représente la chaleur pour l'organisme, on peut en juger d'après divers critères: enregistrement continu de la température du corps (buccale ou rectale), de la fréquence cardiaque avant et pendant l'exposition ou mesure de la quantité de sueur produite.

Les résultats obtenus doivent être interprétés par un médecin du travail.

**En jugeant de l'ensemble des résultats obtenus et des observations faites à un poste**, les hygiénistes et médecins du travail devront avant tout se prononcer sur la nécessité du recours à des moyens de protection techniques et individuels, et sur celle d'examens médicaux de prévention (examens d'aptitude et de contrôle).

# 4 Valeurs indicatives pour les contraintes corporelles

## 4.1 Remarques préalables

Une atteinte à la colonne lombaire et cervicale peut en particulier résulter de la manutention manuelle de charges. Est considérée comme manutention manuelle de charge chaque activité qui nécessite la mise en œuvre de la force par l'être humain pour soulever, abaisser, porter, mettre en mouvement ou freiner un objet.

Le risque pour la colonne vertébrale dépend entre autres du poids de la charge. D'autres facteurs importants sont par exemple la hauteur de la charge, son angle, sa distance sur le plan horizontal, la fréquence du mouvement, la force déployée, la hauteur du déplacement, les durées de l'effort et de la récupération, la rotation ou l'inclinaison sur le côté, les conditions de préhension et des facteurs individuels. Parmi les facteurs individuels, il faut tenir compte de l'âge, du sexe, de la constitution et du poids corporels, de la force, de l'entraînement, de l'expérience et de la forme physique. Pour ces raisons, il n'est pas possible de définir un poids de charge maximal de manière absolue.

Pour les travailleuses enceintes ou qui allaitent, prière de se référer à l'ordonnance 1 du 10 mai 2000 relative à la loi sur le travail (OLT1) et à l'ordonnance du DFE du 20 mars 2001 sur les activités dangereuses ou pénibles en cas de grossesse et de maternité (ordonnance sur la protection de la maternité).

L'évaluation des contraintes corporelles lors de la manipulation de charges se fait à l'aide de facteurs spécifiques à certaines méthodes. De manière générale, les méthodes d'évaluation, normes et directives suivantes au sens des «Règles reconnues en matière de technique de sécurité et de médecine du travail» (art. 3 OPA) peuvent être consultées.

- Méthode de screening:
  - méthodes caractéristiques pour soulever et porter des charges (p. ex. «Évaluation des contraintes corporelles: manutention de charges», [www.suva.ch/88190.f](http://www.suva.ch/88190.f))
  - Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Ziehen und Schieben von Lasten (éditeur: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik LASI)

- Méthodes d'évaluation pour les spécialistes:
  - équation du NIOSH (Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation; [www.cdc.gov/niosh/docs/94-110](http://www.cdc.gov/niosh/docs/94-110))
  - NF X 35-109 Ergonomie – manutention manuelle de charge pour soulever, déplacer et pousser/tirer – Méthodologie d'analyse et valeurs seuils
  - SN EN 1005-1 Sécurité des machines – Performance physique humaine – Partie 1: Termes et définitions
  - SN EN 1005-2 Sécurité des machines – Partie 2: Manutention manuelle de machines et d'éléments de machines
  - SN EN 1005-3 Sécurité des machines – Partie 3: Limites des forces recommandées pour l'utilisation de machines
  - SN EN 1005-4 Évaluation des postures et mouvements lors du travail en relation avec les machines
  - SN EN 1005-5 Appréciation du risque relatif à la manutention répétitive à fréquence élevée
  - ISO 11228-1 Ergonomie – Manutention manuelle – Partie 1: Manutention verticale et manutention horizontale
- De plus, il faut se référer aux commentaires de l'ordonnance 3 relative à la loi sur le travail (OLT3) – Art. 25 Charges
- Instrument d'évaluation: «Risques pour l'appareil locomoteur» et Guide d'utilisation «Risques pour l'appareil locomoteur». Ces publications aident à vérifier que les exigences de la loi sur le travail sont remplies, aussi pour d'autres contraintes corporelles telles que les postures forcées et les tâches répétitives. Document pdf à télécharger sur [www.seco.admin.ch](http://www.seco.admin.ch).
- Pour l'évaluation des contraintes corporelles au niveau du dos consécutives à la manutention de charges et aux contraintes de posture dans un processus de travail, il faut se référer à la directive correspondante de la Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM). ([www.dgaum.de](http://www.dgaum.de): directive n°28).

## 4.2 Valeur indicative de poids (manutention de charges)

Les valeurs indicatives de poids tolérables sont de 25 kg pour les hommes et de 15 kg pour les femmes.

Lors du levage et du port réguliers de charges (respectivement de manipulation), il faut effectuer une appréciation de risque à partir de charges de 12 kg pour les hommes et de 7 kg pour les femmes.

## Le modèle Suva

### Les quatre piliers



La Suva est mieux qu'une assurance: elle regroupe la prévention, l'assurance et la réadaptation.



La Suva est gérée par les partenaires sociaux. La composition équilibrée du Conseil de la Suva, constitué de représentants des employeurs, des travailleurs et de la Confédération, permet des solutions consensuelles et pragmatiques.



Les excédents de recettes de la Suva sont restitués aux assurés sous la forme de primes plus basses.



La Suva est financièrement autonome et ne perçoit aucune subvention de l'État.

**Suva**  
Case postale, 6002 Lucerne

**Renseignements**  
Médecine du travail  
Tél. 058 411 12 12  
valeurs-limites@suva.ch

**Téléchargement**  
[www.suva.ch/1903.f](http://www.suva.ch/1903.f)

**Titre**  
Valeurs limites d'exposition  
aux postes de travail

Reproduction autorisée, sauf à des fins commerciales, avec mention de la source.  
Édition: janvier 2026

**Référence**  
1903.f (disponible uniquement au format pdf)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Financé par la CFST  
[www.cfst.ch](http://www.cfst.ch)