

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

suva

Suva

Protection de la santé
Division médecine du travail
Case postale, 6002 Lucerne

Renseignements

Case postale, 1001 Lausanne
Tél. 021 310 80 40
service.clientele@suva.ch

Téléchargement

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.
Edition: juin 2019

Référence

1903.f (disponible uniquement au format pdf)

Das Modell Suva Die vier Grundpfeiler



Die Suva ist mehr als eine
Versicherung; sie vereint
Prävention, Versicherung
und Rehabilitation.



Die Suva wird von den
Sozialpartnern geführt.
Die ausgewogene Zusam-
mensetzung im Suva-Rat
aus Arbeitgeber-, Arbeit-
nehmer- und Bundes-
vertretern ermöglicht breit
abgestützte, tragfähige
Lösungen.



Gewinne gibt die Suva
in Form von tieferen
Prämien an die Versicherten
zurück.



Die Suva ist selbsttragend;
sie erhält keine öffentlichen
Gelder.

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)

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. Les valeurs limites d'exposition aux postes de travail sont publiées par la Suva en vertu de l'article 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 de l'Association suisse de médecine, d'hygiène et de sécurité du travail (Suissepro).

Table des matières

1	Valeurs (limites) moyennes d'exposition (VME)	5
1.1	Remarques préliminaires	5
1.1.1	Définition de la VME	5
1.1.2	VLE calculée sur une courte durée	5
1.1.3	Explications; conditions requises	6
1.1.4	Rappel de certaines responsabilités exécutives	7
1.1.5	Comparaison entre VME et DNEL	7
1.2	Symboles R S O^B B P et *	9
1.2.1	R (Résorption transcutanée)	9
1.2.2	S (Sensibilisateurs)	9
1.2.3	O ^B (Ototoxicité, interaction entre le bruit et les substances chimiques)	9
1.2.4	B (Monitoring biologique)	10
1.2.5	P (Valeur provisoire)	10
1.2.6	*(Nouveautés, changements)	10
1.3	Substances cancérigènes (notation C)	11
1.3.1	Définition des catégories C	11
1.3.2	Substances cancérigènes avec et sans seuil de concentration	11
1.3.2.1	Généralités	11
1.3.2.2	Substances cancérigènes sans seuil de concentration	13
1.3.2.3	Substances cancérigènes avec seuil de concentration	14
1.3.3	Explications concernant des substances cancérigènes spécifiques	14
1.3.3.1	Substances cancérigènes sans VME	14
1.3.3.2	Formation de nitrosamines cancérigènes à partir d'amines	14
1.3.3.3	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	15
1.3.3.4	Amiante	16
1.3.3.5	Fibres synthétiques et poussières fibreuses	16
1.3.3.6	Chrome(VI) dans les procédés selon ORRChim	17
1.4	Substances mutagènes (notation M)	18
1.5	Substances reprotoxiques (notation R)	19

1.6	Lien entre l'effet toxique sur le fœtus et la VME (notations SS)	20
1.7	Toxicité critique	21
1.8	Poussières et nanoparticules	25
1.8.1	Aérosols	25
1.8.2	Poussières et gaz inertes	27
1.8.3	Nanoparticules et particules ultrafines	27
1.8.4	Substances responsables de sensibilisation (poussières de farine)	29
1.8.5	Risques biologiques, poussières et aérosols comportant un risque biologique	30
1.9	Sujets spéciaux	31
1.9.1	Appréciation du risque pour la santé des substances sans VME	31
1.9.2	Mélanges de substances	32
1.9.3	Substances neurotoxiques	33
1.9.4	Peroxydes organiques	34
1.9.5	Isocyanates	34
1.9.6	Liquides de refroidissement et de lubrification, huiles minérales	35
1.9.7	Composés métalliques solubles	36
1.10	Surveillance par analyse	36
1.10.1	Adresses	36
1.10.2	Unités	37
1.10.3	Substances pouvant simultanément apparaître sous forme de vapeur et d'aérosol	37
2	Valeurs biologiques tolérables (VBT)	39
2.1	Remarques préliminaires	39
2.1.1	Prévention en médecine du travail et monitoring biologique	39
2.1.2	Valeur biologique tolérable: définition	39
2.1.3	Interprétation	40
2.1.4	Structure de la liste des VBT	41
2.1.5	VBT pour les substances cancérigènes des catégories C _{1A} et C _{1B}	42
2.1.6	Contrôle de qualité des analyses	42

3	Valeurs admissibles pour les agents physiques aux postes de travail	43
<hr/>		
3.1	Radiations ionisantes	44
<hr/>		
3.2	Radiations non ionisantes	44
3.2.1	Lasers	44
3.2.2	Ultra-violets	44
3.2.3	Rayonnement dans le spectre visible et infrarouge (rayonnement incohérent)	46
3.2.4	Champs électromagnétiques	47
<hr/>		
3.3	Bruit et vibrations	50
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
<hr/>		
3.4	Milieu hyperbare	51
3.4.1	Gaz et vapeurs	51
3.4.2	Poussières et aérosols	52
<hr/>		
3.5	Chaleur (rayonnement infrarouge)	53
<hr/>		
4	Valeurs indicatives pour les contraintes corporelles	54
<hr/>		
4.1	Remarques préalables	54
<hr/>		
4.2	Valeur indicative de poids (manutention de charges)	55
<hr/>		
Abréviations dans la liste des VME		56
<hr/>		
Abréviations dans la liste des VBT		57

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

1.1 Remarques préliminaires

VME = valeur (limite) moyenne d'exposition, qui correspond à la «MAK-Wert» de l'édition allemande;

VLE = valeur limite d'exposition **calculée sur une courte durée**, qui est identique à la «Kurzeitgrenzwert» de l'édition allemande.

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 toxicolo-

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.

giques 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.

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, par ex. action caustique, effets allergisants ou notablement désagréables, 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 malades, peut néanmoins être atteinte; à l'inverse, les personnes exposées pendant un court laps de temps à des concentrations supérieures 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, notamment, de l'âge, du sexe, de la constitution, de l'état de nutrition, du climat, du stress physique ou psychique que comporte le travail effectué.

A la catégorie des individus particulièrement sensibles appartient 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'hyper-sensibilité). Dans ces cas, le respect de la VME n'offre qu'une sécurité limitée.

Les VME et les valeurs limites pour les agents physiques (voir chapitre 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.

Certaines substances peuvent présenter à des concentrations inférieures à sa valeur limite des dangers d'une autre nature, d'explosivité par exemple. De tels phénomènes dangereux ne font pas l'objet de cette publication.

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 qui visent 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 DNEL¹ ou niveaux dérivés sans effet

¹ DNEL = Derived No Effect Level (niveau dérivé sans effet)

sont déterminés par l'industrie, dans le cadre de l'enregistrement des substances chimiques dans l'EEE en vertu du règlement REACH² (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. A ce jour (2016), cela concerne environ 30 000 substances, soit un nombre bien supérieur à celui des VME.

Les DNEL ne sont pas fixés par un comité scientifique mais déterminés par l'entreprise concernée, suivant une méthode mise au point par l'ECHA³ dont l'algorithme est décrit dans un guide publié par cet organisme⁴. 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.⁵ 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.

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

³ ECHA = Agence européenne des produits chimiques

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

⁵ 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 R S O^B B P et *

s'applique en particulier aux poussières de céréales (froment, seigle), à l'amylase, aux acrylates, à la colophane et au latex. L'indication S doit inciter à une prudence toute particulière lors de l'emploi de ces substances.

1.2.1 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 (aniline, nitrobenzène, nitroglycol, phénols, quelques pesticides par ex.) la résorption transcutanée est même si importante qu'elle peut aboutir à des intoxications dangereuses même en l'absence de toute inhalation. Il en résulte que l'appréciation de la contamination externe par des dosages dans l'air ou dans des prélèvements sur les objets au poste de travail peut aboutir à une sous-estimation de l'intensité réelle de la charge toxique interne.

Ces substances sont marquées d'un **R**. Dans ces cas, il faut si possible pratiquer aussi 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 (de la peau, des voies respiratoires par ex.), l'exposition au produit déclenche plus ou moins rapidement des troubles allergiques plus ou moins intenses, selon les prédispositions de l'individu, et ceci même si la VME est respectée. Ceci

1.2.3 O^B (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^B».

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^B. 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, subs-

tances 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 respectées⁶. Notabene: Pour aucune substance, l'ototoxicité ne constitue la toxicité critique.

L'interaction entre le bruit et les substances ototoxiques marquées d'un «O^B» 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 chapitre 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.

1.2.6 * (Nouveautés, changements)

Un * dans la colonne «Substance» signifie que la substance ou la forme de celle-ci figure pour la première fois dans la liste. Un * placé après une VME ou une VLE signifie que cette valeur a été modifiée depuis l'édition précédente. Les notations ou remarques munies d'un * ont été introduites ou modifiées depuis l'édition précédente.

⁶ DGUV: Position Paper of the «Noise» and «Hazardous Substances» working group of the Occupational Medicine Committee of the German Institution for Statutory Accident Insurance and Prevention (DGUV) on Ototoxic Substances. Février 2011.

1.3 Substances cancérigènes (notation C)

1.3.1 Définition des catégories C

Depuis 2016, les substances cancérigènes sont classées en trois catégories C_{1A}, C_{1B} et C₂, sur la base du SGH et du règlement CLP⁷. 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 ₁	C _{1A}	H350
C ₂	C _{1B}	H350
C ₃	C ₂	H351

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

Catégorie C₁

- Catégorie C_{1A} (anciennement C₁): substances que l'on **sait** être cancérigènes pour l'homme. Le classement s'appuie principalement sur des preuves obtenues chez l'homme.
- Catégorie C_{1B} (anciennement C₂): substances **probablement** cancérigènes pour l'homme. Le classement s'appuie principalement sur des preuves obtenues sur l'animal.

Catégorie C₂ (anciennement C₃)

Substances **potentiellement** cancérigènes 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 cancérigène mais insuffisantes pour un classement de la substance dans la catégorie C₁.

Seuls sont considérés comme «agents cancérigènes» dans la CMD⁸ de l'UE les substances ou les mélanges remplissant les critères de classement en tant que substances cancérigènes de la catégorie C_{1A} ou C_{1B}.

1.3.2 Substances cancérigènes 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

⁸ CMD = directive 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail. Voir art. 2

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 préneoplasique
3. Progression: dégénérescence maligne de la lésion préneoplasique 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 cancérigènes, selon leur mécanisme d'action. Pour comprendre la notion de seuil de concentration cancérigène, il est important de distinguer les cancérigènes 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 cancérigènes de la manière suivante:

Les **cancérigènes 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 cancérigènes génotoxiques directs. Les HAP, les nitrosamines, les amines aromatiques et les carbamates sont des exemples de génotoxiques indirects.

Les cancérigènes 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 (aneuploidie), 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 aneugènes. Selon les définitions, elles sont la plupart du temps considérées comme des cancérigènes non génotoxiques:

Les **cancérigènes 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 cancérigènes sans seuil de concentration

Pour la plupart des substances cancérigènes, on ne connaît pas la concentration correspondant au seuil de déclenchement de l'effet cancérigène, 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 cancérigènes 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, détoxification, 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 précau-

tion, on considère qu'il n'y a pas de seuil pour ces substances.

Pour les substances cancérigènes sans seuil d'effet connu, le respect d'une VME ne constitue pas une protection absolue contre un risque résiduel de cancer. Ce risque est d'autant plus bas que la concentration et le pouvoir cancérigène de la substance est réduit. 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), sachant que ces précautions doivent être réalisables sans mobiliser des moyens excessifs (principe «ALARA»). Si l'on dispose d'informations suffisantes sur le rapport dose-risque des cancérigènes sans effet de seuil, on peut fixer les VME en fonction du risque dans le but de limiter le risque supplémentaire d'apparition de tumeurs malignes à 1 pour 100 000 sujets exposés par an. Ce risque devrait être du même ordre que celui lié à des facteurs environnementaux tels que la pollution de l'air.

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** (par exemple 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 cancérigènes 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 si nécessaire.

Ces directives reprennent celles des articles 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 cancérigènes, convention ratifiée par la Suisse.

1.3.2.3 Substances cancérigènes 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 cancérigènes 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 cancérigènes C1 ayant une valeur de seuil dans la catégorie C2 (voir le «Guide sur l'application des critères CLP» de l'ECHA). Les cancérigènes 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 cancé-

rogènes 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 (par exemple le 2-acétylamino-fluorène).

Dans la liste suisse des valeurs limites d'exposition, le symbole # a été placé à côté des substances C1 ayant un seuil de concentration connu proche de la VME ou supérieur. Le pouvoir cancérigène est ainsi pris en compte dans l'attribution d'une substance à une classe de cancérigène, 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 cancérigènes sans seuil de concentration.

1.3.3 Explications concernant des substances cancérigènes spécifiques

1.3.3.1 Substances cancérigènes sans VME

Pour certaines substances cancérigènes, 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 cancérigènes 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

nitrosyle, 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 cancérigènes; 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 cancérigènes. 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 cancérigènes.

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 suivants:

- Vaporisation des HAP contenus dans les matières premières sous l'effet de processus à hautes températures. Les substances qui contiennent une proportion 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 ex. 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.
- Erosion mécanique d'un matériau contenant des HAP.

Sur la base des résultats d'études de cancérigénicité et de mutagénicité, le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) a classé plusieurs HAP dans le groupe des cancérigènes 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 cancérigène 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/m³). 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 (par exemple dans les bureaux), la concentration à ne pas dépasser est fixée à 0,001 fibre d'amiante/ml (= 1000 fibres/m³); 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 à considérer 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. A 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 cancérigène.

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 4 critères d'exclusion mentionnés dans la Directive de la Commission Européenne 97/69/CE, 23^{ème} 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 cancérigènes. Par contre, les fibres céramiques (silicates d'aluminium) utilisées principalement dans le secteur des hautes températures sont actuellement classées dans la catégorie C1B des substances cancérigènes.

Pour les autres fibres synthétiques inorganiques, il existe certaines suspicions de cancérigénicité sur la base de l'expé-

rience 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 cancérigènes 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 hexavalente.

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/m³ (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 M1_A, M1_B 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 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.

Jusqu'à 2015	Dès 2016	Phrase H
M ₁	M1 _A	H340
M ₂	M1 _B	H340
M ₃	M2	H341

Catégorie M1

- Catégorie M1_A (anciennement M₁) substances que l'on **sait** être mutagènes pour l'homme. Le classement en catégorie M1_A s'appuie sur des résultats positifs d'études épidémiologiques chez l'homme.
- Catégorie M1_B (anciennement M₂) substances qui provoquent **probablement** des mutations héréditaires dans les cellules germinales humaines et doivent être considérées comme mutagènes. Le classement en catégorie M1_B 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 (par exemple 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 (par exemple augmentation du taux d'aneuploïdie 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.

Seuls sont considérés comme «agents mutagènes» dans la CMD⁹ de l'UE les substances ou les mélanges remplissant les critères de classement en tant que substances mutagènes de la catégorie M1_A ou M1_B.

⁹ CMD = directive 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail. Voir art. 2

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 prématuré 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 le chapitre 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 classées, depuis 2016, dans les catégories R1_A, R1_B et R2. Jusqu'à 2015, les désignations et définitions des catégories s'appuyaient sur celles de la DFG. Depuis 2016, elles reprennent, en les modifiant, les catégories de dangers correspondant aux substances reprotoxiques et les codes D et F des mentions de danger analogues dans le règlement CLP (CE 1272/2008). On se reportera au règlement CLP pour plus de précisions. L'affectation 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.

Jusqu'à 2015	Dès 2016	Phrase H
R _{E1}	R1 _{AD}	H360D
R _{E2}	R1 _{BD}	H360D
R _{E3}	R2 _D	H361d
R _{F1}	R1 _{AF}	H360F
R _{F2}	R1 _{BF}	H360F
R _{F3}	R2 _F	H361f

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).

Catégorie R1

- Catégorie R1_A: substances que l'on **sait** être reprotoxiques pour l'homme. Ce classement se fonde, dans une grande mesure, sur des observations chez l'homme.
R1_{AF} (anciennement R_{F1}) signifie que la reprotoxicité affecte la fertilité ou la sexualité;
R1_{AD} (anciennement R_{E1}) signale une reprotoxicité affectant le fœtus in utero.
- Catégorie R1_B substances **probablement** reprotoxiques. Ce classement se fonde, dans une grande mesure, sur des données d'expérimentation animale.
R1_{BF} (anciennement R_{F2}) signifie que la reprotoxicité affecte la fertilité ou la sexualité;
R1_{BD} (anciennement R_{E2}) signale une reprotoxicité affectant le fœtus in utero.

Catégorie R2 (anciennement R₃)

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 (**R2_F**, anciennement R_{F3}) ou du développement de la descendance (**R2_D**, anciennement R_{E3}), mais qui ne sont toutefois pas suffisants pour un classement dans la catégorie 1. Le classement est effectué après examen de tous les faits et audition d'experts.

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_A

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

Catégorie SS_B

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

Catégorie SS_C

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

1.7 Toxicité critique

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_D 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. A l'inverse, il existe des substances qui ont une notation SS mais ne sont pas notées R_D, parce que les deux notations ont été attribuées par des groupes de travail différents et n'ont pas été harmonisées.

Les substances cancérigènes 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.

Lorsqu'une personne est exposée à une substance, des effets indésirables spécifiques à celle-ci peuvent survenir (effets adverses). Leur intensité dépend notamment des facteurs suivants: concentration de la substance dans l'air ambiant, résorption transcutanée ou par voie digestive, augmentation du volume respiratoire par minute en cas d'effort physique. Les effets adverses se manifestent le plus souvent sous forme d'irritations, d'inflammations, de troubles du rythme cardiaque, de perturbations des fonctions cérébrales, d'affections chroniques entraînant des dommages aux organes (poumons, foie, reins, peau, moelle osseuse, squelette, cerveau, nerfs, etc.) ainsi que de tumeurs malignes. Les effets adverses sont d'autant moins observés que la concentration de la substance est faible. En dessous d'une certaine concentration, ils sont même inexistants, à l'exception, par exemple, de certaines substances ayant un effet génotoxique direct, pour lequel il ne semble pas exister de seuil.

L'effet indésirable pris en compte pour calculer la VME est appelé «toxicité critique». Il s'agit normalement, parmi les effets adverses, de celui qui survient à la concentration la plus faible.

La toxicité critique est déterminée sur la base d'études épidémiologiques et d'expériences sur l'animal. Pour définir la VME, les concentrations de substances

utilisées dans ces études sont extrapolées des conditions expérimentales aux conditions de travail en tenant compte de divers facteurs de sécurité et d'autres conditions spécifiques aux postes de travail.

En règle générale, il n'existe qu'une seule toxicité critique par substance, à partir de laquelle la valeur limite est calculée. Toutefois, si plusieurs effets indésirables surviennent simultanément à une faible concentration, ils peuvent être pris en compte ensemble pour déterminer la valeur limite.

Les critères qui permettent de déterminer quelles réactions du corps peuvent être qualifiées d'«indésirables» et quel effet adverse est suffisamment «pertinent» pour être considéré comme une toxicité critique sont définis par la Commission des valeurs limites.

La liste des valeurs limites indique la toxicité critique dans une colonne spécifique. Cette liste donne soit les structures anatomiques touchées (organes cibles) sur lesquelles la substance induit un effet indésirable, soit les modifications pathologiques elles-mêmes (fibrose pulmonaire, œdème de la cornée, par ex.).

Il faut souligner qu'il ne s'agit pas d'une énumération exhaustive des principaux effets indésirables de la substance mais uniquement de ceux pertinents pour le calcul de la valeur limite et qu'il convient toujours de consulter la littérature spécialisée. Cette liste ne signifie pas non plus que ces effets surviendront obligatoirement chez tous les travailleurs en cas de dépassement de la valeur limite.

Pour les substances irritantes, la documentation indique souvent plusieurs organes possiblement touchés (par ex.

conjonctives, voies respiratoires, peau), sans distinguer l'organe qui réagit en premier à la concentration la plus faible. Dans ce cas, les indications des organes concernés sont reliées par le signe «&».

Lorsqu'une valeur limite n'est pas déterminée en se basant sur la toxicité critique mais est établie sur des bases formelles, c'est la mention «**Formel**» qui est utilisée. Il se peut donc qu'une valeur limite soit fixée (par ex. à 1000 ou 10 000 ppm), bien que, en concentrations plus élevées, aucun effet adverse n'est attendu; pour des raisons d'hygiène du travail, il ne serait toutefois pas judicieux de dépasser ce seuil de concentration (formation de brouillard, par ex.).

Si une substance est marquée d'un C, le type de tumeur maligne n'est mentionné dans la colonne «toxicité critique» que si la substance s'est vu attribuer la catégorie C1_A. Dans le cas des substances génotoxiques directes sans valeur seuil, un risque résiduel minime de cancer ne peut pas être exclu même si la VME est respectée (voir le chapitre 1.3).

Alcool	Intolérance à l'alcool
Aryt	Arythmie
Asphyxie	Asphyxie (Hypoxie combinée hypercapnie)
Asthme	
Beryll	Beryllose, sensibilisation au Be
Cancnasal	Cancer nasal
Cancpulm	Cancer pulmonaire
Cataracte	
Céphalée	
Chloracné	
Cholin	Inhibiteur de la cholinestérase
Coeur	Muscle cardiaque
COHb	Formation de carboxyhémoglobine
Cornée	
Dent	
Diabetes	
Fatigue	Fatigue, épuisement
Fibrose	Fibrose pulmonaire (ex. pneumoconiose)
Fimétal	Fièvre des métaux
Foie	
Formel	VME établie sur base formelle
Halitose	Mauvaise haleine
Hémangiosarc	Hémangiosarcome du foie
Horripil	Horripilation
Immun	Système immunitaire
Leucémie	
MCorp	Masse corporelle
Méso	Mésothéliome
Métabol	Augmentation du métabolisme basal
MétHb	Formation de méthémoglobine
Muscle	
Nausée	Nausée
NitHb	Nitrosyl-hémoglobine
Oedcorn	Œdème cornéen (Inflammation de la cornée) / vision floue
Odeur	
Olfact	Nerf olfactif
Optic	Nerf optique
Ouïe	
Peau	

Potass	Modification de la kaliémie
Poumons	Système pulmonaire
Prothr	Changement du temps de prothrombine (trouble de la coagulation)
Rate	
Rein	
ReproF	Reprotoxicité femme (ex. ovaires)
ReproM	Reprotoxicité masculine (ex. testicules, sperme)
ReproP	Reprotoxicité prénatale (ex. malformation embryo-foetale)
Rhyth	Perturbation du rythme cardiaque
Salive	Augmentation de la salivation
Sang	Hématotoxicité, altérations de la formule sanguine
SCirc	Système circulatoire
SN	Système nerveux
SNC	Système nerveux central
SNP	Système nerveux périphérique
TGI	Tractus gastro-intestinal
Thyr	Thyroïde
VRI	Voies respiratoires inférieures (y.c larynx, trachée, arbre bronchique)
VRS	Voies respiratoires supérieures (y.c. nez, gorge)
Vasodil	Vasodilatation
Vertige	
Vessie	
Vitiligo	
Vresp	Voies respiratoires
Vue	Détérioration de la vue (excl. oedème cornéen)
Yeux	Yeux, conjonctives

1.8 Poussières et nano-particules

1.8.1 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.

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).

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/cm³.

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, cancérigènes, fibrogènes, allergisantes ou toxiques d'une autre nature.

Particules ultrafines, leurs agglomérats et agrégats

Les particules ultrafines (diamètre aérodynamique inférieur à 100 nm), resp.

Diamètre aérodynamique	Aérosols inhalables i	Aérosols alvéolaires a
0 µm	100 %	100 %
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 %
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

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 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

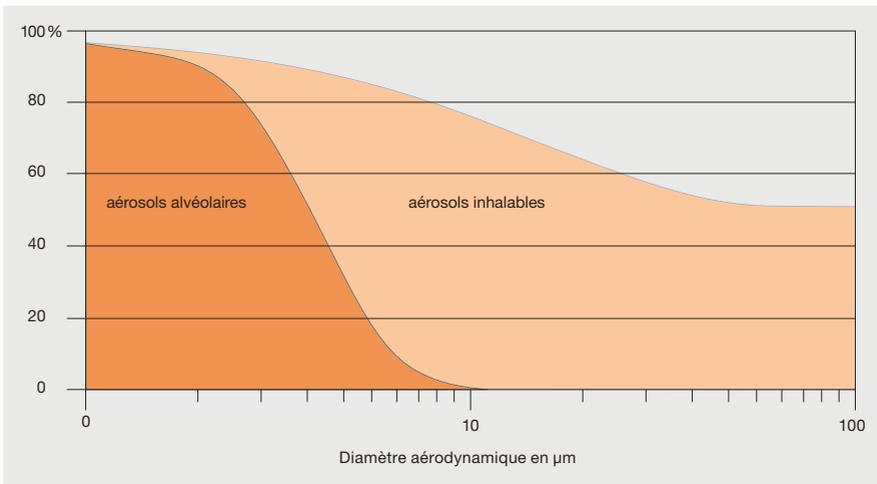
La comparaison avec les valeurs limites d'exposition n'est généralement réaliste qu'avec des résultats obtenus par prises d'échantillons sur l'homme (personal sampling). Les mesures stationnaires sont utilisables pour déterminer la contamination d'un site.

qui entourent tant l'échantillonnage que la fixation des valeurs limites.

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^{10, 11}. 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.

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

¹¹ 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 convention d'échantillonnage d'aérosols inhalables et alvéolaires en pourcentage 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	einatembar	inhalable
alvéolaire	alveolengängig	respirable

1.8.2 Poussières et gaz inertes

On qualifie d'inertes les poussières qui, en l'état actuel des connaissances, ne sont pas résorbées, ne suscitent pas la production de tissu fibreux dans les poumons (action fibrosante) et ne causent pas de maladies spécifiques.

Comme ces poussières peuvent cependant entraver le fonctionnement du système respiratoire par irritation mécanique, on leur attribue une VME de 3 mg/m^3 pour la poussière alvéolaire, dosée selon la norme EN 481, et de 10 mg/m^3 pour la poussière inhalable.

Les VME pour les poussières alvéolaires inertes ont été établies par un grand nombre d'études scientifiques.

La valeur VME d'une poussière inerte n'est valable qu'à la condition que celle-ci ne comporte aucun mélange avec des substances nocives comme l'amiante, le quartz etc.

Voici quelques exemples de poussières inertes:

- Amidon
- Carbonate de calcium (craie)
- Carbonate de magnésium (magnésite)
- Carbure de silicium non fibreux (carborundum)
- Cellulose
- Dioxyde d'étain
- Dioxyde de titane
- Oxyde d'aluminium (alundum, corindon)
- Sulfate de calcium (gypse)

Les gaz inertes peuvent provoquer l'asphyxie en prenant la place de l'oxygène de l'air respiré. Par exemple: argon, azote, néon, hélium.

Pour certaines poussières non inertes, on ne dispose pas encore de VME, faute de données quantitatives. Il est cependant clair que la VME de celles-ci ne saurait en aucun cas être plus élevée que celle des poussières inertes.

La valeur de 3 mg/m^3 pour la poussière alvéolaire et de 10 mg/m^3 pour la poussière inhalable constitue donc la valeur limite pour les poussières en général.

1.8.3 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.

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 **nano-fibres** (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 monoparoi (ou monofeuillet, SWCNT en anglais pour Single Walled Carbon Nanotubes) ou multiparois (ou multifeuillet, 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 ($= < 100 \text{ nm}$) 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'agréger.

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 na-

noparticules 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 physicochimiques 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 $0,3 \text{ mg/m}^3$ (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 $0,01 \text{ fibres/ml}$ 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 suivantes peuvent être formulées:

Nanotubes et nanofibres de carbone (longueur supérieure à $5 \mu\text{m}$, diamètre inférieur à $3 \mu\text{m}$, rapport entre longueur et diamètre supérieur à 3:1): $0,01 \text{ fibre/ml}$; cette valeur limite est la même que pour les fibres d'amiante pouvant pénétrer dans les poumons.

1.8.4 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 pré-existante, 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, 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.

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^3 (poussières inhalables), resp. – mesurée sur une durée de 15 minutes – de 2 mg/m^3 .

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 employés exposés aux poussières de farine.

1.8.5 Risques biologiques, poussières et aérosols comportant un risque biologique

La protection des travailleurs contre les risques liés aux microorganismes est régie par l'Ordonnance fédérale du 25.8.99 (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'article 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/m³ d'air (UFC = Unité formant colonie).

A 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/m³; bactéries gram négatives: 10^3 UFC/m³; moisissures 10^3 UFC/m³; endotoxines: 10^3 UE/m³ (grande dispersion en raison des diverses méthodes d'analyse).

1.9 Sujets spéciaux

1.9.1 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 ¹²:

- 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 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 présupposent 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

¹² Série ESCIS, cahier 13, 1998, Arbeitshygiene (n'existe qu'en langue allemande). (les cahiers ESCIS peuvent être obtenus auprès de la CESICS, www.escis.ch)

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 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) http://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/ctrl_banding/toolkit/icct/index.htm
- AIHA (American Industrial Hygiene Association): <http://www.aiha.org/insideaiha/volunteergroups/cbwg/Pages/default.aspx>
- HSE COSSH (Health and Safety Executive: Control of Substances Hazardous to Health) Essential Sector guidance sheets: <http://www.hse.gov.uk/pubns/guidance/>
- ECETOC TRA (Centre européen d'écotoxicologie et de toxicologie des produits chimiques: évaluation ciblée des risques): <http://www.ecetoc.org/tra>
- REACH EMKG-Expo tool (): <http://www.reach-clp-helpdesk.de/de/Themen/Expositionen/Expositionen.html>

1.9.2 Mélanges de substances

Dans la pratique, on n'est généralement exposé qu'à des substances pures, mais

qu'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 liées 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 détoxification en métabolites inactifs) et élimination. On parle alors d'**interactions toxicocinétiques**. Des interactions sont aussi possibles

par ex. 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 détoxification 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'excrétion 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 ex. 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 (cf. «dose addition» ci-dessus), comme c'est par ex. 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 (gaz d'échappement d'automobiles, par ex.), 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 (consommation d'alcool, de médicaments ou de tabac, par ex.), 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^B».

1.9.3 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.

1.9.4 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 minimes. L'inhalation des vapeurs cause une irritation plus ou moins intense des voies respiratoires. Les risques de ré-sorption sont en pratique minimes. On a signalé des cas de sensibilisation.

1.9.5 Isocyanates

Les isocyanates sont des composés organiques de type ester de l'acide isocyan-urique (HNCO). Les monomères

comportant un seul groupe isocyanate ($-N = C = O$), par ex. l'isocyanate de méthyle (CH_3NCO), servent essentiellement à la synthèse de pesticides et de produits pharmaceutiques. Les monomères comptant deux, trois ou davantage de groupes NCO, à savoir les di-, tri- ou polyisocyanates polymérisent facilement avec les polyols pour former des polyuréthanes qui sont utilisés dans la fabrication de plastiques, de mousses, de vernis et de colles.

Les groupes NCO qui confèrent aux isocyanates un pouvoir réactif élevé en raison de leur terminaison insaturée peuvent également réagir avec les molécules de structures biologiques, par ex. avec les groupes hydroxyl- ou amino- des protéines ou des lipoprotéines et développer ainsi des effets toxiques. Lors de surexpositions, on observe des irritations, des inflammations et des érosions des voies respiratoires, de la peau et des yeux; en cas de concentrations très élevées dans l'air, un oedème pulmonaire peut survenir.

Les monomères d'isocyanates comportant deux groupes NCO ou plus, ainsi que les prépolymères (c. à d. les oligomères porteurs de groupes NCO réactifs) pro-

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

voquent en outre un asthme chez une partie des personnes exposées. Comme l'action biologique des isocyanates dépend avant tout des groupes réactifs NCO, il est logique de se référer à ces groupes pour établir la VME des isocyanates. De cette manière, on peut mieux appréhender l'action toxique des isocyanates au cours du processus de polymérisation plutôt qu'en mesurant les composés isocyanates isolément, les divers monomères et prépolymères formant un mélange complexe de composition variable au cours de la polymérisation. Dans ce type de mélanges, certains composés peuvent rester non identifiés; d'autre part certains diisocyanates ainsi que tous les oligomères et prépolymères n'ont pas de VME spécifiques attribuées. En se référant à une VME basée sur les NCO pour apprécier la toxicité d'un mélange d'isocyanates on peut en outre, en règle générale, renoncer à l'analyse qualitative et quantitative des divers composants. La VME basée sur les NCO convient également bien à l'appréciation des mélanges de substances qui se dégagent dans l'air lors de la pyrolyse de polyuréthanes.

La valeur limite pour les isocyanates concerne donc pour la totalité des groupes réactifs NCO de tous les monomères et prépolymères. On peut ainsi renoncer à fixer des valeurs limites différenciées pour ces composés pris individuels.

1.9.6 Liquides de refroidissement et de lubrification, huiles minérales

Utilisés lors de différentes opérations d'usinage 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», agent anti-vieillesse, 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 le chapitre 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 métaux peuvent être cancérigènes. 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 cancérigènes 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 (par exemple pour certains distillats de pétrole).

1.9.7 Composés métalliques solubles

Les procédures à appliquer pour l'analyse des composés métalliques «solubles» sont fixées par convention de la manière suivante:

Les métaux portant dans la liste des VME (chapitre 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, Reinhaltung der Luft*, Springer VDI Verlag, 60 (2000) Nr. 6 Juni, S. 241-243.

1.10 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.

1.10.1 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, les abréviations ayant la signification. Veuillez consulter l'internet pour les adresses actuelles.

DGUV

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

- Analyseverfahren zur Festlegung der Konzentrationen von krebserzeugenden Arbeitsstoffen (DGUV Information 213-500ff., autrefois BGI 505) (periodisch ergänzte Loseblattsammlung)

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. (nur Übersichtsartikel)
- 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): Publikationen Nr. 84–100

OSHA

Occupational Safety and Health Administration

- OSHA Analytical Methods Manual (collection à compléments périodiques)

1.10.2 Unités

Les VME sont exprimées:

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

Formules de conversion

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

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

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^3 , elle concerne la phase sublimée, gazeuse de cette substance, alors qu'une valeur en mg/m^3 est valable tant pour la forme sublimée que pour la phase solide (poussière).

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

A 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 mis 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'examen 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».

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 biologiques 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. Réflétant la charge interne, le monitoring biologique tient compte de toutes les voies d'entrée dans l'organisme, par ex. 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.

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.

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.

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

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.-à-d. après plus de 15 heures sans exposition; à la fin du travail, c.-à-d. 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.-à-d. 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

Cancérogène avec valeur seuil

Les substances signalées par le symbole # sont des cancérogènes avec une valeur seuil. Le risque de cancer n'est normalement pas accru si la VBT est respectée.

qualité doivent être conservés par les laboratoires qui doivent en garantir l'accès aux organes d'exécution compétents de la sécurité au travail.

* VBT nouvelle ou modifiée

La présence d'un * suivant une VBT indique que celle-ci a été nouvellement introduite ou modifiée depuis la dernière édition. Les mentions (N, Q, X, P, T, #) et les remarques nouvellement introduites ou modifiées portent également un *.

2.1.5 VBT pour les substances cancérogènes des catégories C1_A et C1_B

Pour l'appréciation de l'exposition aux substances cancérogènes des catégories C1_A et C1_B, 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 reproductibles. 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

3 Valeurs admissibles pour les agents physiques aux postes de travail

Classe	Longueur d'onde (nm)	Puissance maximale	Danger
1	toutes	F (λ)	Sans aucun risque
1 M	toutes	F (λ)	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 spectre visible contre le rayonnement dangereux. Si l'on fixe uniquement volontairement le rayon, la rétine peut être lésée.
2 M	400–700 (spectre visible uniquement)	1 mW	Peuvent présenter un danger quand un instrument (spectre visible optique est utilisé. Le réflexe de fermeture oculaire uniquement) ne protège qu'insuffisamment.
3R	400–700	5 mW	Peuvent léser la rétine même sans l'intermédiaire d'un instrument optique.
	autres	5 x classe 1	
3 B	toutes	500 mW	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.

Tableau 1: F (λ) signifie que la puissance maximale dépend de la longueur d'onde et doit être déduite de la norme.

3.1 Radiations ionisantes

Les doses maximales admissibles d'irradiation résultant de l'action d'un rayonnement ionisant externe ou de celle d'une substance radioactive ayant pénétré dans le corps sont fixées par la Loi sur la radioprotection du 22.3.1991 et par l'Ordonnance sur la radioprotection du 26.4.2017.

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!» (Suva 66049.f).

3.2.2 Ultra-violet

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 protégés

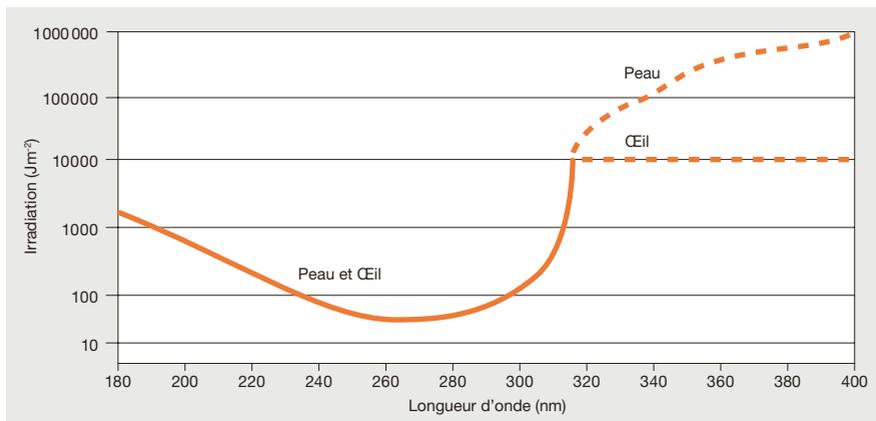


Figure 1: Irradiation UV maximale admissible pour une durée de 8 heures (journée de travail). Représentation graphique des valeurs limites du tableau 2.

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 ⁻²)	(-)	(nm)	(J·m ⁻²)	(-)	(J·m ⁻²)	(-)				
180	2500	0.012	315	10 000	0.003	10 000	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	10 000	0.003
305	500	0.060									
308	1200	0.026									
310	2000	0.015									
313	5000	0.006									
315	10 000	0.003									

Tableau 2: Irradiation UV maximale admissible pour une durée de 8 heures (journée de travail), efficacité spectrale relative S_{rel} .

gées 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.

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

où

E_{eff} = Energie effective rapportée à la longueur d'onde monochromatique de 270 nm [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

$E\lambda$ = Energie de rayonnement spectrale pour la longueur d'onde λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$]

S_{rel} = Efficacité spectrale relative du rayonnement pour la longueur d'onde λ [-] (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 se monte à $30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$) par l'énergie effective E_{eff} dérivée de la formule ci-dessous.

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

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 les rayonnements optiques artificiels» (p. 15)):

- Plafonniers fluorescents
- Ecrans 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
- Eclairage des rues

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

Source de rayonnement	Conditions d'usage sans danger
Plafonniers fluorescents sans écran diffuseur	Sans danger à puissance d'éclairage normale (≈ 600 lux)
Eclairage 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

Tableau 3

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 tra-

vailer 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

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.

Tableau 4

f	H (kA/m)	B (mT)	E (kV/m)	P (W/m²)
statique	1600 6400	2000 (pour la tête et le tronc) ²⁾ 8000 (pour les membres) ²⁾	40	¹⁾
f (Hz)	H (A/m)	B (μT)		
16 ⅔	1200	1500	20	¹⁾
50	400	500	10	¹⁾
400	50	62,5	1,25	¹⁾
30 000	24,4	30,7	0,61	¹⁾
f (MHz)			E (V/m)	
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
24 125	0,36	0,45	137	50

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/m²

¹⁾ sans objet à ce niveau de fréquence

²⁾ 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.

la puissance du champ électrique en particulier. Elles s'appliquent par ex. 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'installation 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 émetteurs. 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 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.

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.

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 (I_{cont}) suffisant pour faire disparaître ces effets désagréables (pour 0–2,5 kHz: $I_{\text{cont}} < 1,0$ 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'étincelles. 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'article 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 (OR-NI) RS 814.710 qui fait foi.

3.3 Bruit et vibrations

L'exposition au bruit au poste de travail est déterminée suivant la norme SN EN ISO 9612. Les niveaux d'exposition typiques aux postes de travail sont décrits dans les tableaux des niveaux sonores (réf. Suva 86005). Pour plus de précisions sur les mesures de protection à prendre, on se reportera au feuillet d'information «Valeurs acoustiques limites et indicatives» (réf. Suva 86048.f) et à la liste de contrôle «Bruit au poste de travail» (réf. Suva 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 (réf. Suva 86705). Les mesures de protection à prendre et d'autres informations sont présentées dans la publication «Les vibrations: un facteur de risque» (réf. Suva 44089).

3.3.1 Bruit continu

Si le niveau d'exposition au bruit L_{EX} 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).

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 dB¹³.

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 dB¹³.

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

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

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 m/s^2 (valeur limite d'exposition).

3.3.6 Vibrations corps entier

Si la charge vibratoire A(8) sur 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 mg/m^3 . En pratique, cela signifie que les VME exprimées en ppm doivent être converties, tandis que celles indiquées en mg/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: Evaluation de la charge thermique du travailleur par l'indice WBGT
- ENISO 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.-à.-d. 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 brochure 2869/26.f publiée par la Suva.

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 par ex.); fréquence cardiaque avant et pendant l'exposition; mesure de la quantité de sueur produite. Les résultats obtenus devraient 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'examen 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 employées 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 (Publication Suva «Détermination des dangers: levage et transport manuels de charges», réf. 88190.f)
 - Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Ziehen und Schieben von Lasten (Editeur: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheits- technik 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)
 - 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 Evaluation 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
- SO 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. Possibilité de téléchargement: www.seco.admin.ch
- Pour l'évaluation des contraintes corporelles au niveau du dos consécutive 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: 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.

Abréviations dans la liste des VME

Abr.	Signification	Chapitre
VLE	Valeur limite d'exposition calculée sur une courte durée	1.1.2
R	Résorption transcutanée	1.2.1
S	Sensibilisation	1.2.2
O ^B	Ototoxicité et bruit	1.2.3
B	Monitoring biologique	1.2.4
P	Valeur provisoire	1.2.5
*	Nouveauté	1.2.6
C	Cancérogène	1.3
#	Substance cancérogène avec seuil de concentration	1.3.3.2
M	Mutagène	1.4
R	Toxique pour la reproduction	1.5
R _F	Altération de la fertilité	
R _D	Effet toxique sur le développement dans l'espèce humaine	
SS _A -SS _C	VME et grossesse	1.6
i	Poussières inhalables (poussières totales G)	1.8
a	Poussières alvéolaires (poussières fines F)	1.8

Abréviations dans la liste des VBT

Abr.	Signification	Chapitre 2.1.4
B	Sang complet	} Substrat d'examen
E	Erythrocytes	
U	Urine	
A	Air alvéolaire	
P/Se	Plasma/Serum	
a	Indifférent	} Moment du prélèvement
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	
N	Paramètre non spécifique	
Q	Interprétation quantitative difficile	
X	Influence de l'environnement	
P	Valeur provisoire	
T	Effet toxique aigu	
#	Substance cancérigène avec seuil de concentration	

Suva

Case postale, 6002 Lucerne

Tél. 041 419 58 51

www.suva.ch

Référence

1903.f