

Les valeurs limites d'exposition professionnelle

ED 6443

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée en 1947 sous l'égide de la Caisse nationale d'assurance maladie, administrée par un Conseil paritaire (employeurs et salariés).

De l'acquisition de connaissances jusqu'à leur diffusion, en passant par leur transformation en solutions pratiques, l'Institut met à profit ses ressources pluridisciplinaires pour diffuser une culture de prévention dans les entreprises et proposer des outils adaptés à la diversité des risques professionnels à tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, services de santé au travail, instances représentatives du personnel, salariés... Toutes les publications de l'INRS sont disponibles en téléchargement sur le site de l'INRS : www.inrs.fr

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS) de l'Assurance maladie - Risques professionnels, disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé notamment d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ces professionnels sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Les caisses assurent aussi la diffusion des publications éditées par l'INRS auprès des entreprises.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 € (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2022.

Édition : Jérôme Lemarié

Conception graphique : Julie&Gilles

Mise en pages : Blue Graphic / Madehock



ED 6443 |
Mai 2022

Moyens de prévention
Dispositifs de mesure et d'évaluation

Les valeurs limites d'exposition professionnelle

Brochure INRS élaborée par B. Courtois,
avec la participation de S. Binet, E. Langlois,
G. Mater, D. Rousset et O. Witschger

Sommaire



Introduction	4
1 Utilisation et limites des valeurs limites	5
1.1 Définitions et objectifs	5
1.2 Convention d'additivité pour les VLEP – 8h	6
1.3 Éléments et composés	6
1.4 Limitations des VLEP	7
1.5 Cancérogènes	8
2 Valeurs limites réglementaires indicatives et valeurs limites réglementaires contraignantes	9
2.1 Au niveau européen	9
2.2 Au niveau français	10
2.3 Principaux textes fixant des VLEP réglementaires contraignantes	10
3 Valeurs admises	12
4 Valeurs recommandées par la Caisse nationale de l'Assurance maladie (Cnam)	13
5 Littérature scientifique	14
6 Évolution des VLEP	15

7	Indications complémentaires	16
7.1	Valeurs limites d'exposition professionnelle et tableaux des maladies professionnelles	16
7.2	Valeurs limites d'exposition professionnelle et valeurs limites biologiques (VLB)	16
7.3	Autres systèmes de valeurs limites	17
8	Surveillance de l'atmosphère des lieux de travail	18
8.1	Échantillonnage et analyse	18
8.2	Aérosols	18



Introduction

La prévention des risques liés à l'exposition aux agents chimiques dangereux consiste à éviter l'exposition des personnes à ces agents présents dans l'air des lieux de travail ou à la réduire aux niveaux les plus faibles possible.

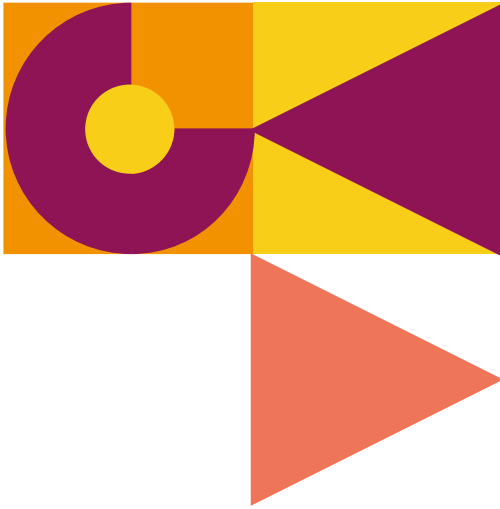
Dans la pratique, les valeurs limites d'exposition professionnelle sont des concentrations atmosphériques pondérées dans le temps et à ne pas dépasser. On distingue :

- les valeurs limites réglementaires, indicatives ou contraignantes ;
- les valeurs limites admises à caractère indicatif ;
- les valeurs limites recommandées par la Caisse nationale de l'Assurance maladie.

Ces valeurs fournissent des repères chiffrés d'appréciation de la qualité de l'air des lieux de travail qui supposent l'évaluation préalable des risques pour la santé ainsi que la recherche de méthodes de prélèvement et d'analyse adaptées.

Ce document complète le tableau des VLEP françaises (outil 65)¹.

1. <https://www.inrs.fr/media.html?reflNRS=outil65>



1. Utilisation et limites des valeurs limites

1.1 Définitions et objectifs

Les valeurs limites d'exposition professionnelle désignent des niveaux de concentration en agents chimiques dans l'atmosphère des lieux de travail à ne pas dépasser sur une période de référence déterminée et en dessous desquels le risque d'altération de la santé est négligeable, en l'état des connaissances au moment de leur établissement. Même si des modifications physiologiques réversibles sont parfois tolérées, aucune atteinte organique ou fonctionnelle de caractère irréversible ou prolongée n'est admise à ce niveau d'exposition pour la grande majorité des travailleurs. Ces niveaux de concentration sont déterminés en considérant que la population exposée (les travailleurs) est une population qui ne comprend ni enfants ni personnes âgées².

Toutefois, les connaissances des effets des agents chimiques continuant de progresser, il convient que les pratiques retenues visent à abaisser les niveaux d'exposition à des valeurs aussi basses que techniquement possible : **les valeurs limites doivent être considérées comme des objectifs minimaux.**

Deux types de valeurs limites ont été retenus par la réglementation³ :

- **la valeur limite d'exposition 8 heures (VLEP – 8h)** – anciennement dénommée valeur limite de moyenne d'exposition (VME) – correspond à la limite de la moyenne pondérée en fonction du temps de la concentration atmosphérique d'un agent chimique dans la zone de respiration d'un travailleur au cours d'une activité de 8 heures à un poste de travail. Dans l'état actuel des connaissances scientifiques (en toxicologie, médecine, épidémiologie), la VLEP – 8h est censée protéger d'effets sur la santé à moyen et long termes, les travailleurs exposés régulièrement et pendant la durée d'une vie de travail à l'agent chimique considéré ;
- **la valeur limite court terme (VLCT)**. Il s'agit de la limite de la moyenne de la concentration atmosphérique d'un agent chimique dans la zone de respiration d'un travailleur sur une période de référence de 15 minutes pendant le pic d'exposition, quelle que soit sa durée. Elle vise à protéger les travailleurs des effets néfastes sur la santé (effets toxiques immédiats ou à court terme, phénomènes d'irritation) dus à des pics d'exposition.

2. Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel. Document de référence pour l'élaboration de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel. Rapport d'expertise collective, Anses, juillet 2017 (disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/VLEP2016SA0248Ra.pdf>).

3. Il existe également la notion de valeur plafond, définie par l'Anses comme une limite de la concentration atmosphérique d'un agent chimique dans la zone de respiration d'un travailleur, qui ne doit être dépassée à aucun moment de la période de travail. Cette valeur est appliquée aux substances reconnues comme « irritant fort » ou « corrosif » ou pouvant causer un effet grave potentiellement irréversible, à très court terme. Il n'existe actuellement aucune valeur plafond fixée en France par la réglementation.

Pour les agents chimiques pour lesquels soit une VLCT, soit une VLEP – 8h n'a pas été fixée, l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) a conclu de la manière suivante :

- **absence de VLCT⁴** : les travailleurs ne doivent pas être exposés sur une journée de travail à plus de 6 périodes d'exposition maximale d'intensité supérieure ou égale à 5 fois la valeur de la VLEP-8h sur une durée de 15 minutes. Le facteur 5 a été choisi car il correspond au percentile 90 des valeurs françaises possédant un couple VLCT/VLEP – 8h et qu'il est jugé suffisamment protecteur ;
- **absence de VLEP – 8h⁵** : pour certaines substances dont aucun effet néfaste à moyen ou long terme n'a été mis en évidence, la répétition d'un effet aigu tel que l'irritation ou la corrosion pourrait conduire à l'apparition d'effets chroniques néfastes comme une inflammation chronique. Si l'effet critique retenu peut être prévenu par l'application d'une valeur limite court terme, l'Anses recommande, dans un objectif de prévention, de ne pas dépasser un cinquième (1/5) de la VLCT – 15 min au cours du poste de travail de 8 heures.

1.2 Convention d'additivité pour les VLEP – 8h

Dans le cas, fréquemment rencontré en situation industrielle, où plusieurs agents chimiques sont présents et lorsqu'il existe des éléments scientifiques établissant que leurs effets sur l'organisme sont indépendants, il convient de les considérer séparément. Dans le cas contraire, notamment lors de l'exposition simultanée à des vapeurs de solvants, il est possible d'utiliser conventionnellement une formule de sommation des concentrations individuelles rapportées aux VLEP correspondantes :

4. *Recommandations émises en vue de limiter l'importance et le nombre de pics d'exposition dans une journée de travail. Partie 1 : cas des substances ayant une VLEP-8h mais sans VLCT.* Avis Anses, juin 2009 (disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/VLE-P2009etPicsExpositionRa-1.pdf>).

5. *Recommandations émises en vue de limiter l'importance et le nombre de pics d'exposition dans une journée de travail. Partie 2 : cas des substances ayant une VLCT-15min mais pas de VLEP-8h.* Avis Anses, octobre 2010 (disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/VLEP-Ra-PicsExposition.pdf>).

$$C_1/VLEP_1 + C_2/VLEP_2 + \dots + C_n/VLEP_n < 1$$

en veillant toutefois à s'entourer de toutes les garanties nécessaires pour l'interprétation des résultats.

Pour le cas des silices cristallines, voir les précisions données au § 2.3.4.

L'outil Mixie France permet, à partir de données de mesure, d'évaluer le potentiel additif ou non des substances chimiques et de situer les niveaux d'exposition cumulés par rapport aux valeurs limites d'exposition professionnelle⁶.

1.3 Éléments et composés

Chaque composé métallique ou métalloïdique est expertisé séparément en fonction des données toxicologiques, médicales et physicochimiques (propriétés de surface, solubilité, granulométrie...) disponibles. Lorsqu'il n'y a pas de différence entre les effets nocifs d'un élément et de certains de ses composés, une VLEP unique, basée sur la concentration de l'élément lui-même, peut être attribuée à l'ensemble du groupe.

Sur le terrain, l'exposition à des formes « pures » est l'exception ; on observe plus souvent la coexistence de plusieurs espèces chimiques (de valences, degrés d'hydratation et d'oxydation différents) sous des formes physiques qui peuvent également différer. La complexité des espèces présentes dans l'atmosphère dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels la nature des matériaux d'origine et des traitements appliqués. Cependant, à l'heure actuelle, on ne dispose pas toujours des connaissances ou moyens techniques pour prendre en compte une telle spéciation.

La différenciation des espèces chimiques en présence, nécessaire par principe d'un point de vue toxicologique, est souvent impossible sans une procédure analytique spécifique, en général complexe et coûteuse et qui n'est pas toujours disponible. De plus, les méthodes analytiques actuellement disponibles pour le suivi des concentrations sur les lieux de travail fournissent, dans la plupart des cas, les concentrations totales des éléments dans les produits analysés.

6. *Mixie France. Un logiciel pour évaluer les multiexpositions aux substances chimiques.* INRS (disponible sur : <https://www.inrs.fr/publications/outils/mixie.html>).

1.4 Limitations des VLEP

1 Les données toxicologiques obtenues sur l'animal, même si elles permettent d'établir une relation dose-effet ou dose-réponse, ne sont pas directement utilisables pour l'homme car :

- l'homme ne présente pas toujours la même réponse que l'animal étudié (sensibilité différente, organe ou système cibles différents, spécificités physiologiques...) ;
- la population humaine présente une diversité génétique, exclue dans les études toxicologiques conventionnelles ;
- la voie d'exposition inhalatoire est toujours privilégiée mais pas toujours disponible. D'autres voies peuvent être alors considérées, par exemple orale ou injection intraveineuse...

C'est pourquoi la transposition de données expérimentales à l'homme nécessite de prendre en considération les facteurs d'incertitude (ou d'ajustement), et de rechercher les mécanismes d'action toxique s'ils sont disponibles.

2 La notion même de valeur limite admet l'existence d'une nuisance sur les lieux du travail. Dans ce contexte, certaines personnes particulièrement sensibles du fait de leur état physiologique (grossesse, maladie...) développent une réponse anormale (gênes à des niveaux considérés comme faibles, révélation ou induction d'un état pathologique...) et sont susceptibles de ne pas être protégées par la VLEP.

3 Les VLEP n'intègrent pas les conditions de réalisation de certaines tâches (comme les ambiances chaudes, le port de charges, les efforts physiques répétés), qui peuvent modifier sensiblement les caractéristiques de pénétration ou de métabolisation des agents chimiques.

4 Les valeurs adoptées ont pour but de protéger d'effets aussi différents que, par exemple, une irritation des voies respiratoires supérieures ou des muqueuses oculaires, une induction de somnolence, une allergie pulmonaire, des maux de tête... Néanmoins, le calcul des valeurs limites prend en compte les effets critiques les plus sensibles, c'est-à-dire aux concentrations les plus basses.

5 Les données se rapportent en général à des produits purs ou de qualité technique, mais non à des mélanges complexes tels que ceux rencontrés sur les lieux de travail (formulations techniques, produits d'émission ou de dégradation thermique). Il faut encore souligner que, dans certains cas spécifiques comme les métaux et leurs composés, les aérosols d'huiles, les poussières de bois ou les vapeurs d'essences, les produits visés ou la composition de l'atmosphère polluée sont souvent mal définis et les connaissances à leur sujet insuffisantes.

6 La principale voie de pénétration dans l'organisme dans un contexte professionnel est la voie respiratoire ; c'est essentiellement cette voie qui est prise en compte pour la définition des VLEP. Cependant, le contact cutané est une réalité courante et bon nombre de substances peuvent traverser la peau intacte et, *a fortiori*, fragilisée. Les possibilités d'intoxication sont réelles, mais difficiles à apprécier. Le contact cutané peut, par ailleurs, faciliter le développement de réactions d'intolérance telles qu'une irritation ou des allergies, ou de phénomènes toxiques imprévus comme des atteintes oculaires à la suite d'un contact avec des mains souillées. De même, pour certains types d'activité, il existe un risque de pénétration dans l'organisme par voie orale, en particulier lorsque les mesures d'hygiène sont insuffisamment respectées. Néanmoins, quand les données de pénétration cutanées sont disponibles, une « mention peau » associée à la VLEP peut être décidée.

7 La fixation des VLEP par les autorités administratives, notamment européennes, peut intégrer non seulement des critères scientifiques et techniques, mais également sociaux et économiques, voire psychologiques. Tous ces critères sont évolutifs ; les VLEP le sont donc également.

En France, l'évaluation scientifique indépendante est sous la responsabilité de l'Anses. La décision est prise par les autorités administratives après une phase de concertation sociale au Conseil d'orientation sur les conditions de travail (COCT). L'entrée en vigueur d'une valeur limite peut être décidée par étapes en fonction de critères socio-économiques ou de disponibilité des méthodes d'analyse.

8 Certaines VLEP sont anciennes et donc fondées sur des connaissances qui ne sont plus à jour. C'est pourquoi le tableau des VLEP françaises (outil 65, INRS)⁷ inclut une colonne donnant l'année de première publication du texte fixant les VLEP de chaque agent chimique.

Les VLEP présentent néanmoins l'avantage de fournir un repère chiffré, objectif et commun, en vue d'une protection minimale de la santé. Elles font progresser la notion complexe de risque chimique, ainsi que son contrôle et sa prévention. Elles rejoignent les démarches engagées par de nombreux pays et la Communauté européenne.

Les difficultés liées à la détermination des VLEP sont prises en compte dans les comités d'expert.

Pour garantir une expertise de qualité⁸, l'Anses recommande ainsi de s'appuyer sur les éléments suivants :

- l'approche pluridisciplinaire du sujet à traiter ;
- la diversité des sources de données et connaissances scientifiques ;
- la confrontation de différentes opinions, thèses ou écoles de pensées ;
- l'expression et l'argumentation d'éventuelles opinions divergentes ;
- l'indépendance de l'avis.

1.5 Cancérogènes

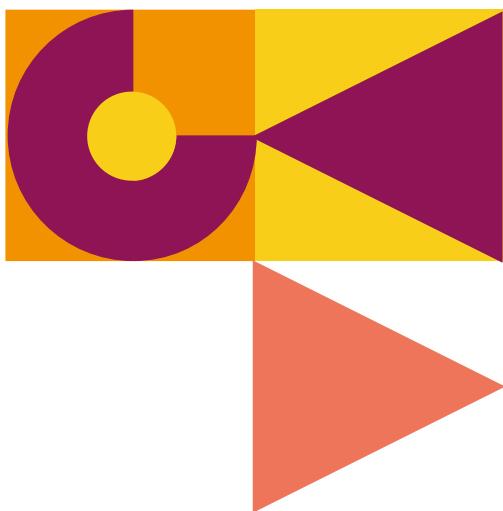
Les substances cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) sont classées en trois catégories dans la réglementation européenne (règlement CLP) selon le niveau d'évidence des résultats des études disponibles :

- **la catégorie 1A (C1A, M1A ou R1A)** correspond aux substances dont les effets sont avérés chez l'homme ;
- **la catégorie 1B (C1B, M1B ou R1B)** correspond aux substances dont les effets sont présumés chez l'homme ;
- **la catégorie 2 (C2, M2 ou R2)** correspond aux substances dont les effets sont suspectés chez l'homme.

Dans l'ignorance de l'existence d'un seuil de concentration au-dessous duquel le risque est inexistant et en raison de l'irréversibilité des effets à craindre, il est primordial de souligner que les valeurs retenues ne protègent pas nécessairement les personnes exposées.

7. <https://www.inrs.fr/media.html?reflNRS=outil65>

8. <https://www.anses.fr/fr/content/comit%C3%A9s-d'experts-sp%C3%A9cialis%C3%A9s-et-groupes-de-travail>



2. Valeurs limites réglementaires indicatives et valeurs limites réglementaires contraignantes

2.1 Au niveau européen

La notion de valeur limite est actuellement définie par la directive 98/24/CE du 7 avril 1998 modifiée concernant **la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à des agents chimiques** sur le lieu de travail. Elle prévoit la possibilité de fixer :

- **des VLEP indicatives** déterminées à partir de la relation entre les effets sur la santé des agents chimiques dangereux et le niveau d'exposition professionnelle, sur la base d'une évaluation scientifique indépendante analysant les données scientifiques les plus récentes, et des techniques de mesure disponibles. Six directives fixant des valeurs limites indicatives sont en vigueur : 91/322/CE du 29 mai 1991 (27 entrées), 2000/39/CE du 8 juin 2000 (63 entrées), 2006/15/CE du 7 février 2006 (33 entrées), 2009/161/UE du 17 décembre 2009 (19 entrées), (EU) 2017/164 du 31 janvier 2017 (31 entrées) et (EU) 2019/1831 du 24 octobre 2019 (10 entrées) ;
- **des VLEP contraignantes** déterminées en prenant également en compte des facteurs de faisabilité tout en maintenant l'objectif d'assurer la protection de la santé des travailleurs sur le lieu de travail. Elles figurent à l'annexe I de la directive

98/24/CE. Il existe actuellement une seule VLEP contraignante européenne fixée pour le plomb et ses composés.

Une VLEP indicative européenne est un objectif de prévention et les États membres la prennent en compte pour fixer une VLEP nationale selon leurs propres législation et pratique. Pour une VLEP contraignante européenne, les États membres doivent fixer une VLEP contraignante nationale correspondante qui ne peut pas être plus élevée que la valeur limite communautaire.

La directive 2004/37/CE modifiée concernant **la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail** prévoit la possibilité de fixer des valeurs limites pour les agents cancérigènes ou mutagènes sur la base des informations disponibles (données scientifiques et techniques, incidences socio-économiques...). Les valeurs limites figurent en annexe de la directive.

Le Comité d'évaluation des risques (Rac) de l'Agence européenne des produits chimiques (Echa) est chargé par la Commission européenne de l'établissement des projets de VLEP sur la base d'expertises scientifiques⁹.

9. Plus d'informations sont disponibles sur : <https://echa.europa.eu/fr/oel>

2.2 Au niveau français

Au niveau français, les VLEP peuvent avoir une origine européenne ou être établies sur les expertises scientifiques de l'Anses¹⁰.

La notion de VLEP est introduite dans le Code du travail par le 5^e alinéa de l'article R 4412-4 : « On entend par valeur limite d'exposition professionnelle, sauf indication contraire, la limite de la moyenne pondérée en fonction du temps de la concentration d'un agent chimique dangereux dans l'air de la zone de respiration d'un travailleur au cours d'une période de référence déterminée. »

La transposition des dispositions européennes a entraîné la mise en place d'un système d'établissement et de révision des valeurs limites qui permet :

- à l'administration de fonder des propositions de valeurs limites sur les résultats d'une expertise scientifique indépendante ;
- de faire participer les partenaires sociaux au processus de décision ;
- d'établir un rapport justifiant la décision de valeur limite, en vue d'une communication à la Commission européenne.

Les VLEP actuellement fixées en France sont soit **des valeurs limites réglementaires contraignantes** (fixées par décret), soit **des valeurs limites réglementaires indicatives** (fixées par arrêté). Le choix entre les deux statuts s'effectue selon des critères établis en 2005 avec les partenaires sociaux.

Le statut de VLEP réglementaire contraignante nécessite :

- l'existence d'une VLEP provenant d'une directive européenne ou d'une circulaire ;
- des critères de dangerosité de l'agent chimique (très toxique¹¹, toxique¹⁰ cancérogène, mutagène, toxique pour la reproduction, sensibilisant respiratoire ou existence d'un tableau de maladie professionnelle) ;
- une méthode de mesures de l'exposition validée.

10. Plus d'informations sont disponibles sur : <https://www.anses.fr/fr/content/les-valeurs-limites-pour-les-agents-chimiques-en-milieu-professionnel>.

11. Selon la classification de la directive 67/548/CE modifiée, abrogée par le règlement CLP.

Le statut de VLEP réglementaire indicative sera choisi pour les agents chimiques les moins dangereux pour la santé comme pour les irritants non précurseurs d'effet cancérogène ou pour ceux pour lesquels il n'existe pas de méthode de mesure de l'exposition validée.

Les valeurs limites réglementaires contraignantes sont fixées par l'article R. 4412-149 du Code du travail. Les valeurs limites réglementaires indicatives sont fixées en application de l'article R. 4412-150 du Code du travail par l'arrêté du 30 juin 2004 modifié.

Les agents chimiques dotés de VLEP réglementaire indicative ou contraignante sont soumis à des obligations de contrôle des expositions par des organismes accrédités¹² (article R. 4412-27 et R. 4412-76 du Code du travail). Pour les agents chimiques qui ne sont pas classés comme CMR, ce contrôle n'est pas nécessaire si l'évaluation des risques a conclu à un risque faible. Les modalités de réalisation des contrôles sont décrites dans un arrêté du 15 décembre 2009.

2.3 Principaux textes fixant des VLEP réglementaires contraignantes

2.3.1 Amiante

Article R 4412-100 du Code du travail

La concentration moyenne en fibres d'amiante dans l'air inhalé ne doit pas dépasser 10 fibres par litre sur 8 heures de travail.

Les fibres retenues sont caractérisées par une longueur supérieure à 5 µm, un rapport longueur sur largeur supérieur à 3 et une largeur inférieure ou égale à 3 µm. La technique utilisée pour le comptage des fibres est la microscopie électronique en transmission analytique (Meta).

Les articles R. 4412-101 à R. 4412-106 du Code du travail ainsi qu'un arrêté du 14 août 2012 modifié précisent les conditions de mesurage des empoussièrements ainsi que de contrôle du respect de la VLEP.

12. Une liste d'organismes accrédités est disponible sur : <https://www.cofrac.fr>.

2.3.2 Bromométhane (bromure de méthyle) et cyanure d'hydrogène (acide cyanhydrique)

Décret n° 88-448 du 26 avril 1988 modifié relatif à la protection des travailleurs exposés aux gaz destinés aux opérations de fumigation

Ce décret concerne la protection des travailleurs lors des opérations de fumigation et prévoit que la concentration en bromométhane ou cyanure d'hydrogène de l'air inhalé par un travailleur ne doit pas dépasser :

- pour le cyanure d'hydrogène : 2 ppm (ou 2 mg/m³) en moyenne sur 8 heures et 10 ppm (ou 10 mg/m³) sur moins de 15 minutes ;
- pour le bromométhane : 5 ppm (ou 20 mg/m³) en moyenne sur 8 heures.

Ces concentrations sont considérées comme constitutives de VLEP, au sens de l'article R. 4412-149 du Code du travail.

2.3.3 Poussières

Article R. 4222-10 du Code du travail

Dans les locaux à pollution spécifique (où des substances dangereuses ou gênantes sont émises), les concentrations moyennes en poussières totales et alvéolaires de l'atmosphère inhalées par un travailleur, évaluées sur une période de 8 heures, ne doivent pas dépasser, depuis le 1^{er} janvier 2022 et jusqu'au 30 juin 2023, respectivement 7 et 3,5 mg/m³ d'air. À partir du 1^{er} juillet 2023, ces valeurs sont abaissées à 4 et 0,9 mg/m³ respectivement. L'article R. 4422-13 précise que lorsque les limites des concentrations mentionnées à l'article R. 4222-10 ne peuvent être respectées en tout point d'un local à pollution spécifique, l'employeur met en œuvre les mesures organisationnelles nécessaires pour que l'exposition des travailleurs ne dépasse pas en moyenne ces limites sur une période de 8 heures.

La circulaire ministère du chargé du Travail du 9 mai 1985 précise que ces valeurs concernent les poussières réputées sans effet spécifique, c'est-à-dire qui ne sont pas en mesure de provoquer seules sur les poumons ou sur tout autre organe ou système du corps humain, d'autres effets que celui de surcharge. D'autres poussières font l'objet de VLEP particulières.

Pour les mines et carrières, le décret 2013-797 du 30 août 2013 modifié étend l'application de la valeur pour les poussières en fraction alvéolaire aux lieux de travail se trouvant à l'extérieur en maintenant cette valeur à 5 mg/m³ d'air. L'arrêté du 4 novembre 2013 précise les conditions des contrôles d'exposition à effectuer.

2.3.4 Valeurs fixées par l'article R. 4412-149 du Code du travail

Cet article fixe des valeurs limites réglementaires pour 92 agents chimiques à la date de parution de ce document. Les méthodes de prélèvement et d'analyse à utiliser pour les contrôles d'exposition sont précisées pour les poussières de bois (arrêté du 20 décembre 2004).

Pour la silice cristalline, la concentration moyenne des poussières alvéolaires de l'atmosphère inhalée sur 8 heures ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

- 0,1 mg/m³ pour le quartz ;
- 0,05 mg/m³ pour la cristobalite et la tridymite.

En présence de poussières alvéolaires contenant une ou plusieurs formes de silice cristalline et d'autres poussières non silicogènes, la condition suivante doit être satisfaite :

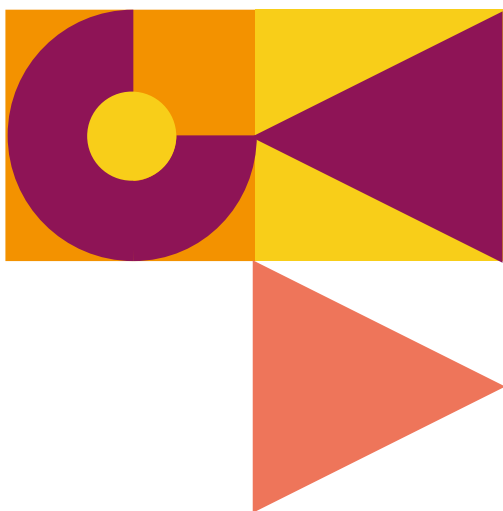
$$\text{Cns}/5 + \text{Cq}/0,1 + \text{Cc}/0,05 + \text{Ct}/0,05 \leq 1$$

Cns représente la concentration en poussières alvéolaires non silicogènes en mg/m³,

Cq, Cc et Ct les concentrations respectives en quartz, cristobalite et tridymite en mg/m³ (article R. 4412-154 et R. 4412-155 du Code du travail).

L'arrêté du 10 avril 1997 relatif au contrôle de l'exposition des travailleurs exposés aux poussières de silice cristalline précise les méthodes de prélèvement et d'analyse pouvant être employées pour les contrôles d'exposition.

Pour les fibres céramiques réfractaires, un arrêté du 30 mai 2018, précise les conditions de mesurage à des fins de contrôle du respect de la VLEP.



3. Valeurs admises

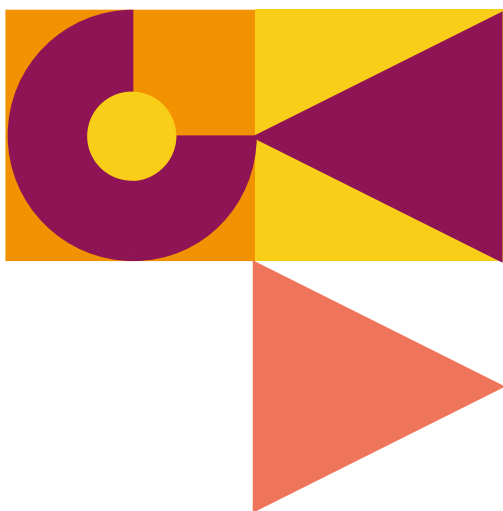
Entre 1982 et 1996, « la France a choisi prioritairement la voie des circulaires pour développer de manière significative les VLEP. En 1980, le Conseil supérieur de la prévention des risques professionnels a constitué un groupe de travail chargé d'élaborer des valeurs limites (le G2SAT). La circulaire du 19 juillet 1982 relative à certaines substances dangereuses et la circulaire du 14 mai 1985 relative à la prévention des cancers d'origine professionnelle, de nombreuses fois complétées jusqu'en 1996¹³, ont permis la fixation d'environ 540 VLEP non réglementaires. Ces VLEP ont été fixées en fonction des valeurs retenues dans la plupart des pays industrialisés, et notamment des valeurs retenues par l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Elles n'ont cependant aucune force contraignante, la circulaire n'ayant, par nature, aucune valeur réglementaire »¹⁴.

À partir de 1991, la fixation et la mise à jour des valeurs admises ont été confiées à un groupe scientifique pour la surveillance des atmosphères de travail, sous la direction du ministère chargé du Travail.

Ces valeurs admises sont progressivement remplacées par des valeurs limites réglementaires indicatives ou contraignantes.

13. Circulaires des 19 juillet 1982, 21 mars 1983, 1^{er} décembre 1983, 10 mai 1984, 5 mars 1985, 5 mai 1986, 13 mai 1987, 7 juillet 1992, 12 juillet 1993, 12 janvier 1995 et 21 août 1996 (non parues au JO). Circulaires des 14 mai 1985 (JO du 6 juin 1985), 12 mai 1986 (non parue au JO).

14. Conditions de travail. Bilan 2007. Ministère du Travail, des Relations sociales et de la Solidarité, 2008.



4. Valeurs recommandées par la Caisse nationale de l'Assurance maladie (Cnam)

Ne sont considérés ici que les agents chimiques qui n'ont pas de VLEP fixée par un texte réglementaire ou par une circulaire du ministère chargé du travail fixant des VLEP. Ces valeurs ont été adoptées soit par un Comité technique national (CTN), soit par le Comité central de coordination de la Commission des accidents du travail/maladies professionnelles.

■ Pour le benzo[3,4]pyrène

« En l'absence actuelle de valeur limite de concentration réglementaire ou officielle, on pourra se fixer comme objectif provisoire de maintenir la teneur en benzo[3,4]pyrène à une valeur inférieure à 150 ng.m^{-3} ».

Recommandations R 235 (industrie de l'aluminium, l'électrometallurgie, l'électrochimie et la fabrication de carbure et de siliciure de calcium), R 245 (préparation des pâtes carbonées) et R 258 (élaboration du brai de houille), adoptées respectivement le 7 décembre 1983, le 18 juin 1984 et le 28 février 1985 par le CTN des industries chimiques, et recommandation R 278 (exposition au brai et goudron de houille), adoptée par les CTN des industries du caoutchouc, papier, carton, des industries chimiques, des industries de la métallurgie et du bâtiment et des travaux publics respectivement les 13 novembre, 3 et 5 décembre 1985, et le 9 juillet 1986. Les recommandations fixant cet objectif sont aujourd'hui toutes abandonnées.

■ Pour l' α -phénylindole

« Comme pour l'instant, on ne connaît pas la concentration maximale admissible dans l'air de ce produit, un seuil provisoire de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ paraît pouvoir être provisoirement retenu ».

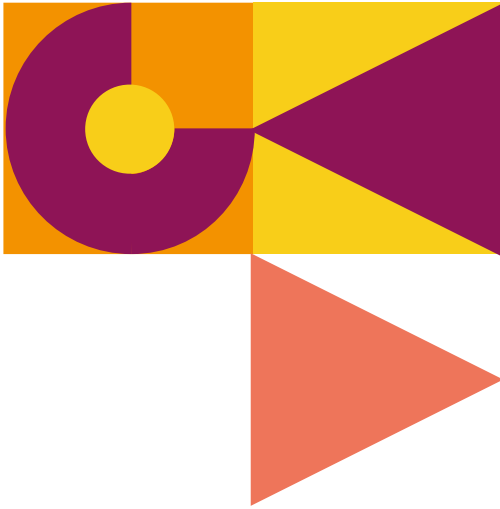
La recommandation R 123 (effets pathologiques de l' α -phénylindole) proposant cette valeur, adoptée par le Comité central de coordination le 11 décembre 1975 (partie « Commentaires »), est aujourd'hui abandonnée.

■ Pour les aérosols de fluide de coupe

« S'il n'existe pas de valeurs limites d'exposition professionnelle, en France, pour les aérosols d'huiles ou de fluides de coupe, il est recommandé de ne pas dépasser, dans l'air inhalé par les opérateurs, une concentration en aérosols de fluide de coupe (huiles entières ou fluides aqueux de $0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ en moyenne, sur la durée d'un poste de travail de 8 heures. »

« En cas de présence de substances dangereuses dans les fluides de coupe utilisés, il est nécessaire de respecter les valeurs limites d'exposition professionnelle indicatives et contraignantes les concernant. »

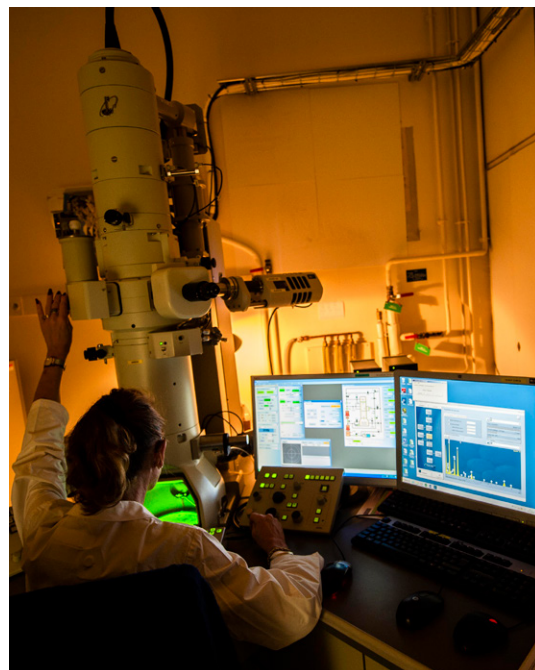
Recommandations R 451 (Prévention des risques chimiques causés par les fluides de coupe dans les activités d'usinage de métaux) adoptée par le Comité technique national des industries de la métallurgie (CTN A) le 5 octobre 2010 et modifié le 19 mai 2015.



5. Littérature scientifique

Il existe également dans la littérature scientifique des études faisant des propositions pour l'établissement de nouvelles VLEP comme celles publiées ces dernières années par l'INRS pour le dioxyde de titane¹⁵ ou le noir de carbone¹⁶.

Enfin, s'il n'existe pas encore au niveau européen ou français de valeur limite réglementaire pour les bioaérosols, des valeurs-guides ont déjà été publiées pour certains d'entre eux, notamment par l'INRS¹⁷. La base de données Métropol propose également des méthodes de prélèvement et d'analyse pour certains bioaérosols¹⁸.



© Gael Kerbaol - INRS 2018

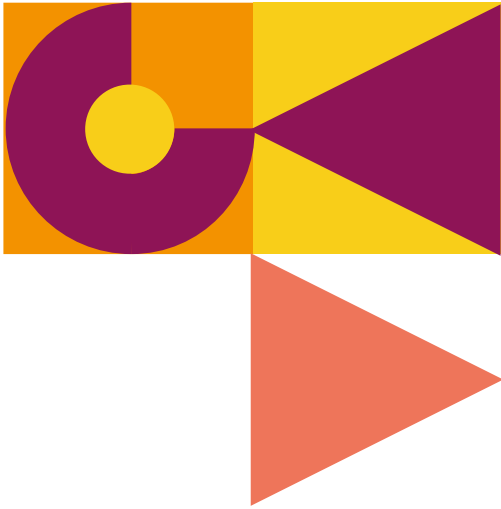
■ Observation au microscope électronique en transmission d'un échantillon contenant des particules de dioxyde de titane

15. « Dioxyde de titane nanométrique : de la nécessité d'une valeur limite d'exposition professionnelle », *Hygiène et sécurité du travail*, 2016, 233, NT 36.

16. « Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle », *Références en santé au travail*, 2020, 161, TC 168.

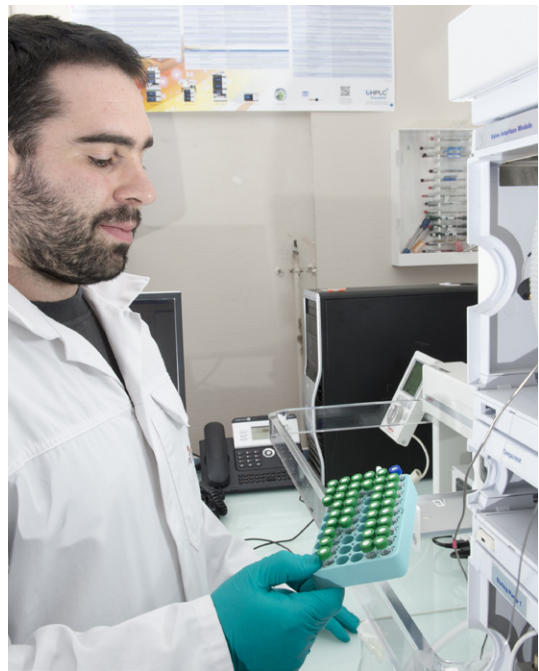
17. « Valeurs guides endotoxines. Interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols », *Hygiène et sécurité du travail*, 2015, 239, NT 25.

18. <https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html>



6. Évolution des VLEP

Les VLEP évoluent en fonction des connaissances sur la toxicologie des agents chimiques et en fonction des progrès, des méthodes de prélèvement et d'analyse et des choix de priorité faits par les autorités au niveau européen ou national. Il est possible de s'informer sur les évolutions en cours au niveau européen sur le site web de l'agence européenne des produits chimiques¹⁹ ou, au niveau français, sur le site web de l'Anses²⁰.

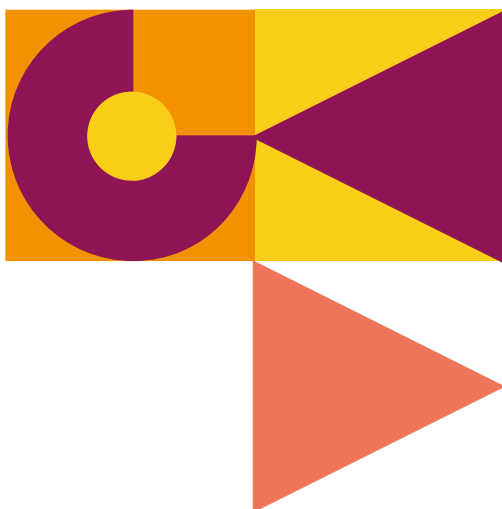


© Serge Morillon - INRS 2015

■ Dans un laboratoire de toxicologie et de biométrie

19. <https://echa.europa.eu/fr/oels-activity-list>

20. <https://www.anses.fr/fr/content/vlep-consultation-en-aval-des-expertises>



7. Indications complémentaires

7.1 Valeurs limites d'exposition professionnelle et tableaux des maladies professionnelles

Certains agents chimiques apparaissent dans des tableaux des maladies professionnelles. Le respect des VLEP ne garantit pas l'absence de risque d'apparition de maladies professionnelles (voir § 1.4 Limitations des VLEP, en particulier les points 2 à 6 inclus). Par ailleurs, bien des agents visés par les tableaux de maladies professionnelles ne font l'objet d'aucune valeur limite, c'est par exemple le cas des poussières de farine ou de cobalt, ou des chloramines. En effet, les bases juridiques et techniques pour la fixation des VL et l'établissement des tableaux des maladies professionnelles sont différentes.

7.2 Valeurs limites d'exposition professionnelle et valeurs limites biologiques (VLB)

La surveillance biologique des expositions consiste à mesurer dans le sang, l'urine, les cheveux ou l'air expiré des travailleurs exposés le niveau d'un indicateur biologique d'exposition à une substance chimique. Cette surveillance relève d'une prescription médicale par le médecin du travail²¹.

La surveillance biologique est complémentaire de la mesure atmosphérique des expositions. Elle permet d'affiner l'évaluation de l'exposition au poste de travail, en donnant un reflet de la quantité d'une substance chimique ayant pénétré dans l'organisme quelle que soit la voie d'exposition.

Les VLB sont définies selon le Code du travail comme les « *limites de concentration dans le milieu biologique approprié de l'agent chimique concerné, de ses métabolites ou d'un indicateur d'effet* ». Il n'existe actuellement, en France, qu'une seule VLB réglementaire contraignante qui concerne

21. Pour plus d'information, consultez le dépliant : *Surveillance biologique de l'exposition aux produits chimiques. Un outil pour la prévention* (INRS, ED 900).

le plomb ; le cadmium fait également l'objet d'une VLB fixée dans un arrêté²². Il existe des VLB recommandées par l'Anses ainsi que d'autres valeurs biologiques françaises ou internationales pouvant être utilisées pour l'interprétation des résultats de la surveillance biologique des expositions.

Pour plus d'informations sur les VLB et la surveillance biologique des expositions, consultez le dossier web « Surveillance biologique des expositions aux agents chimiques »²³ et la base de données Biotox²⁴.

7.3 Autres systèmes de valeurs limites

Il existe des systèmes de VLEP dans un grand nombre de pays, ceux des États-Unis et d'Allemagne font partie des plus utilisés.

■ Aux États-Unis

L'OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) fixe et publie des valeurs réglementaires²⁵. Cet organisme reconnaît que beaucoup de ses VLEP sont obsolètes et inadéquates pour assurer la protection de la santé des travailleurs. De ce fait, l'OSHA recommande aux employeurs d'utiliser les VLEP établies par d'autres organismes américains :

- *California Division of Occupational Safety and Health* (Cal/OSHA)²⁶;
- *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) qui publie des niveaux d'exposition recommandés (*Recommended Exposure Levels, REL*), fondés sur un examen critique des données scientifiques et techniques relatives à la

prévalence des effets sur la santé, à l'existence de risques pour la sécurité et la santé et à l'existence de méthodes adaptées d'identification et de prévention des risques²⁷ ;

- *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), un organisme privé à but non lucratif qui publie annuellement le fascicule : « *Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices* »²⁸. En raison de la similitude des démarches, de l'utilisation des mêmes sources d'information scientifiques et de la proximité d'ensemble des valeurs retenues, les valeurs établies par l'ACGIH continuent souvent à être utilisées comme un repère technique indicatif valable sur le terrain, en particulier en l'absence de VL nationales. L'ACGIH propose aussi des tableaux comparatifs des valeurs américaines (ACGIH, NIOSH, OSHA) et allemandes (DFG) dans le « *Guide to occupational exposure values* ».

■ En Allemagne

Une commission scientifique (*MAK-Kommission*) mandatée par la DFG (*Deutsche Forschungsgemeinschaft*) établit des propositions de VLEP. Celles-ci sont transmises au ministère fédéral chargé du travail et des affaires sociales qui s'appuie sur les recommandations du comité des substances dangereuses (*Ausschuss für Gefahrstoffe – AGS*) pour proposer ces valeurs réglementaires. Le comité AGS est composé de représentants des salariés, des employeurs, des pouvoirs publics et des organismes d'assurance et de prévention du commerce et de l'industrie. Ce comité peut également proposer des VLEP provenant d'autres sources (Europe, autres pays...). Les VLEP réglementaires sont listées dans la « Règle technique pour les substances dangereuses (TRGS) » n° 900. L'IFA (Institut de recherche pour la santé et la sécurité de la sécurité sociale allemande) met en ligne une base de données regroupant les VLEP de nombreux pays européens et non européens. Cette base de données est mise à jour tous les ans et est accessible sur : <http://limitvalue.ifa.dguv.de>.

22. Pour le cadmium et ses composés inorganique, l'arrêté du 14 mai 2019 fixant une valeur limite d'exposition professionnelle indicative pour un agent chimique prévoit que la VLEP-8h de 0,004 mg/m³ sur la fraction inhalable s'applique sur la fraction alvéolaire si une surveillance biologique est mise en place et que la VLB de 2 µg Cd/g de créatinine dans les urines est respectée.

23. <https://www.inrs.fr/risques/mesure-expositions-agents-chimiques-biologiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>

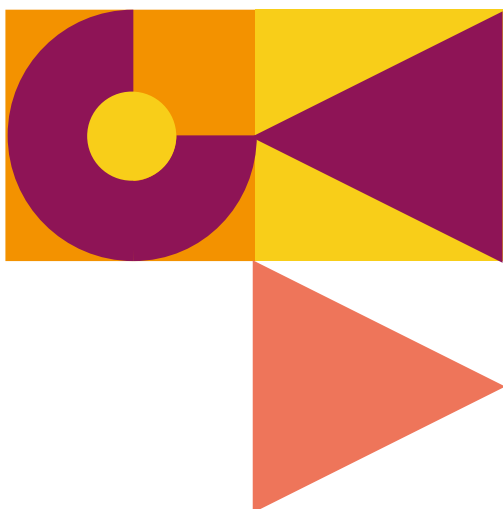
24. <https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html>

25. <https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/index.html>

26. https://www.dir.ca.gov/title8/5155table_ac1.html#_blank

27. <https://www.cdc.gov/niosh/npg/pgintrod.html#exposure>

28. Diffusé par ACGIH, 1330 Kemper Meadow drive, Cincinnati, OH 45240-1634, États-Unis.



8. Surveillance de l'atmosphère des lieux de travail

8.1 Échantillonnage et analyse

L'existence de VLEP suppose la disponibilité de méthodes pour l'échantillonnage et l'analyse des agents chimiques.

La base de données Metropol²⁹ de l'INRS comprend plus de 400 modes opératoires spécifiques à une substance ou à une famille chimique ainsi que des fiches méthodologiques qui font le point sur des aspects plus généraux des méthodes utilisées en prélèvement et analyse. Certaines méthodes de prélèvement font l'objet de normes françaises ou internationales. Il existe également des méthodes de prélèvement et d'analyses publiées par des organismes à l'étranger comme le NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*)³⁰, l'OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*)³¹ et le HSE (*Health and Safety Executive*)³².

La mise au point et la validation d'une méthode de prélèvement et d'analyse obéissent à des critères rigoureux tant du point de vue expérimental que

du point de vue du traitement des données. Néanmoins, les méthodes actuellement disponibles sont suffisantes pour permettre de résoudre la très grande majorité des problèmes.

Le guide méthodologique Metropol³³ donne des informations sur les étapes nécessaires à la réussite d'une évaluation des expositions aux produits chimiques et agents biologiques en entreprise. Il est composé de cinq volets correspondant aux étapes de la préparation de l'intervention, aux prélèvements au poste de travail, aux analyses au laboratoire, à l'interprétation des résultats et aux protocoles de mise au point des méthodes Metropol.

8.2 Aérosols

8.2.1. Généralités

Le terme « aérosol » désigne tout ensemble de particules (solides ou liquides) en suspension dans l'air et le mélange de gaz (et de vapeur) dans lequel elles sont en suspension. Les particules en suspension dans l'air peuvent être ou non en

29. Base de données Metropol consultable sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html>

30. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), disponible sur : <http://www.cdc.gov/niosh/nmam/>.

31. <https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/toc.html>

32. <https://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/index.htm>

33. <http://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/guide-methodologique-metropol.html>

équilibre avec leurs propres vapeurs. Les particules sont considérées comme en suspension si leur vitesse limite maximale de chute n'excède pas $0,25 \text{ m.s}^{-1}$. Dans l'air immobile à la température de 20°C et à la pression de 101 kPa , cette vitesse correspond sensiblement à celle atteinte par une sphère de diamètre $100 \mu\text{m}$ et de masse volumique 103 kg.m^{-3} .

Ce terme d'aérosol est générique ; il recouvre tous les types de particules en suspension telles que fumées, poussières, brouillards ou bioaérosols.

Une vapeur est une phase gazeuse d'une substance dans un état d'équilibre ou d'équilibre instable avec la même substance à l'état liquide ou solide, au-dessous de son point d'ébullition ou de sublimation.

Les fumées sont des dispersions dans l'air de particules solides, très fines, éventuellement accompagnées de gaz et de vapeurs, engendrées par des procédés thermiques, soit par condensation depuis la phase gazeuse (parfois accompagnée de réactions chimiques telles que l'oxydation), soit par combustion incomplète. Elles peuvent aussi résulter de réactions en phase gazeuse (par exemple entre l'ammoniac et le chlorure d'hydrogène).

Les poussières sont des dispersions de particules solides dans l'atmosphère, formées par un procédé mécanique ou par la remise en suspension depuis les lieux de dépôt.

Les brouillards sont des aérosols liquides produits par la condensation d'une vapeur ou la dispersion d'une phase liquide dans l'air.

Les bioaérosols sont des particules aéroportées constituées d'organismes vivants, tels que des micro-organismes (bactéries, moisissures, virus...), ou provenant d'organismes vivants (toxines, micro-organismes morts ou fragments de micro-organismes).

Le diamètre aérodynamique est le diamètre équivalent pertinent régissant le comportement aérodynamique d'un aérosol. C'est donc un paramètre essentiel des processus d'inhalation, de pénétration et dépôt dans l'arbre respiratoire, de prélèvement et de filtration. C'est pourquoi ce diamètre est pris comme référence dans la description des fractions conventionnelles. Il est défini comme le diamètre de la sphère de masse volumique 10^3 kg.m^{-3} dont la vitesse limite de chute en air calme est identique à celle de la particule dans

les mêmes conditions de pression, température et humidité relative. Le diamètre aérodynamique intègre à la fois la taille de la particule, sa forme et sa densité.

8.2.2. Inhalation

Lorsque des particules d'aérosol entrent dans la zone respiratoire d'un individu, elles sont susceptibles d'être inhalées. La probabilité d'inhalation d'une particule dépend de son diamètre aérodynamique, de la vitesse et de la direction de l'air au voisinage de l'individu, du mode, de la fréquence et de l'intensité de sa respiration. Une fois inhalées via le nez ou la bouche, les particules pénètrent dans les différents compartiments successifs de l'arbre respiratoire (voies aériennes supérieures, trachée, bronches, bronchioles respiratoires non ciliées, sacs alvéolaires) où elles sont susceptibles de se déposer. Elles peuvent alors avoir une action soit locale (par exemple irritation), soit à distance par le fait de différents mécanismes et selon leurs caractéristiques physicochimiques (forme, espèces chimiques, solubilité, propriétés de surface, etc.). Les particules inhalées qui ne se sont pas déposées dans l'arbre respiratoire sont exhalées.

8.2.3. Fractions d'aérosols

L'évaluation du risque pour l'homme s'effectue sur la base de différentes fractions d'aérosols :

- **fraction inhalable** : fraction des particules de l'aérosol présent dans la zone respiratoire qui sont inhalées par le nez ou la bouche ;
- **fraction thoracique** : fraction des particules de l'aérosol qui sont inhalées et qui pénètrent l'arbre respiratoire au-delà du larynx ;
- **fraction alvéolaire** : fraction des particules de l'aérosol qui sont inhalées et qui pénètrent l'arbre respiratoire au-delà des bronchioles non ciliées.

Le choix de la fraction à considérer dépend de l'agent chimique ou biologique, de la zone de dépôt où cet agent peut induire des effets toxiques locaux ou systémiques. Ces fractions dites conventionnelles sont les références en santé au travail³⁴ et sont définies dans la norme NF EN 481 (1993).

34. Les fractions granulométriques dites PM10 et PM2,5 sont utilisées dans le domaine de l'environnement. Elles ne doivent pas être utilisées en santé au travail.

Cette norme définit également des conventions de prélèvement correspondant aux fractions d'aérosols (voir figure ci-dessous). Ces conventions constituent des spécifications cibles pour les méthodes de prélèvement et d'analyse des aérosols dans le cadre de l'évaluation des expositions en milieu professionnel. Il est fondamental qu'une méthode mette en œuvre un dispositif dont la performance de prélèvement est connue et conforme à l'une ou l'autre des conventions. L'établissement des performances s'effectue au travers de travaux de laboratoire mais aussi de terrain dont les exigences en Europe sont décrites dans la série de normes NF EN 13205.

La « **convention inhalable** » correspondant au pourcentage (E_i) des particules de l'aérosol dans la zone respiratoire qui sont inhalées est décrite par la relation suivante :

$$E_i(D_{ae}) = 50 [1 + \exp(-0,06 D_{ae})]$$

où D_{ae} est le diamètre aérodynamique.

Cette convention n'est définie que pour $D_{ae} \leq 100 \mu\text{m}$. Elle a été établie sur la base d'expérimentations menées avec des mannequins de laboratoire, et pour des vitesses de vent qui n'excèdent pas 4 m/s.

La « **convention thoracique** » correspondant au pourcentage (E_t) des particules de l'aérosol qui sont inhalées et qui pénètrent l'arbre respiratoire au-delà du larynx est représentée par la relation suivante :

$$E_t = E_i \times [1 - F_T(D_{ae})]$$

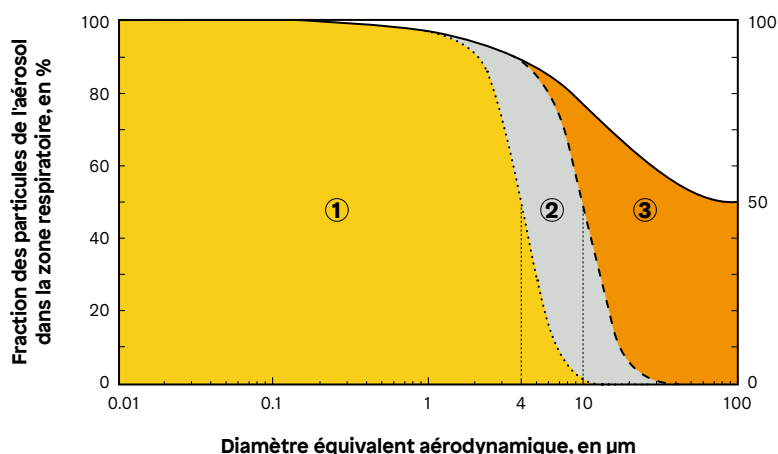
où $F_T(D_{ae})$ est une fonction de distribution log-normale cumulée, dont le D_{ae} médian est $11,64 \mu\text{m}$ et l'écart-type géométrique $\sigma_{gt} = 1,5$. Il en résulte que la convention thoracique se caractérise par une probabilité de 50 % de pénétration au-delà du larynx pour les particules ayant un diamètre aérodynamique de $10 \mu\text{m}$. Cette convention a été établie sur la base de données expérimentales obtenues chez l'adulte sain.

La « **convention alvéolaire** » correspondant au pourcentage (E_a) des particules de l'aérosol qui sont inhalées et qui pénètrent l'arbre respiratoire au-delà des bronchioles non ciliées est représentée par la relation suivante :

$$E_a = E_i \times [1 - FA(D_{ae})]$$

où $FA(D_{ae})$ est une fonction de distribution log-normale cumulée, dont le D_{ae} médian est $4,25 \mu\text{m}$ et l'écart-type géométrique $\sigma_{gt} = 1,5$. Il en résulte que la convention alvéolaire se caractérise par une probabilité de 50 % de pénétration au-delà des bronchioles non ciliées pour les particules ayant un diamètre aérodynamique de $4 \mu\text{m}$. Cette convention a été établie sur la base de données expérimentales obtenues chez l'adulte sain.

Pour plus d'informations concernant le prélèvement des aérosols, consultez le guide méthodologique Metropol sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/guide-methodologique-metropol.html>



Les fractions conventionnelles sont représentées par les zones que délimitent les courbes :

① alvéolaire ① + ② thoracique ① + ② + ③ inhalable.

Toutes les publications de l'INRS sont téléchargeables sur 
www.inrs.fr

**Pour commander les publications de l'INRS au format papier **

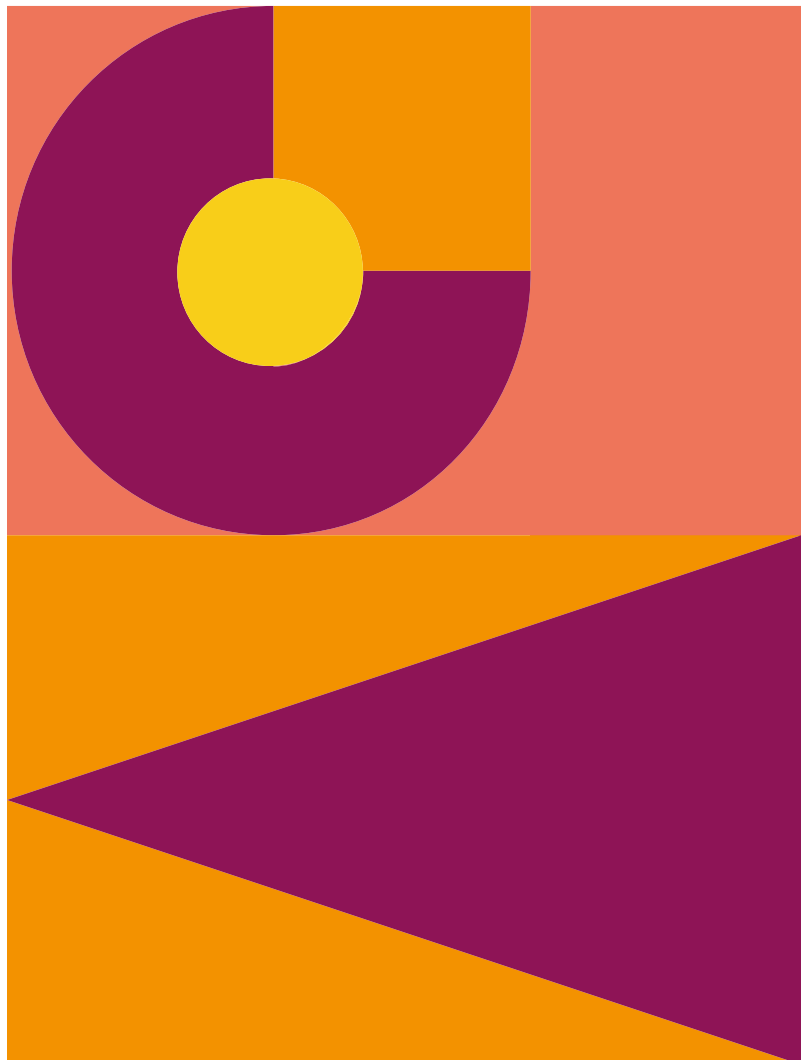
Les entreprises du régime général de la Sécurité sociale peuvent se procurer les publications de l'INRS à titre gratuit auprès des services prévention des Carsat/Cramif/CGSS.

Retrouvez leurs coordonnées sur www.inrs.fr/reseau-am

L'INRS propose un service de commande en ligne pour les publications et affiches, payant au-delà de deux documents par commande.

Les entreprises hors régime général de la Sécurité sociale peuvent acheter directement les publications auprès de l'INRS en s'adressant au service diffusion par mail à service.diffusion@inrs.fr

Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) sont des outils réglementaires pour la prévention du risque chimique par inhalation. Ce document présente le système français des VLEP avec les principales notions et explications permettant leur bonne utilisation. Il complète le tableau des VLEP françaises proposés par l'INRS (outil 65) qui est remis à jour lors de chaque évolution de celles-ci.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail
et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris
Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 6443

2^e édition | mai 2022 | ISBN : 978-2-7389-2753-8
Disponible uniquement au format web

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie - Risques professionnels

www.inrs.fr   