

**anses**

agence nationale de sécurité sanitaire  
alimentation, environnement, travail



*Connaître, évaluer, protéger*

# Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel

## Le trifluorure de bore

Avis de l'Anses  
Rapport d'expertise collective

Janvier 2019 - Édition scientifique



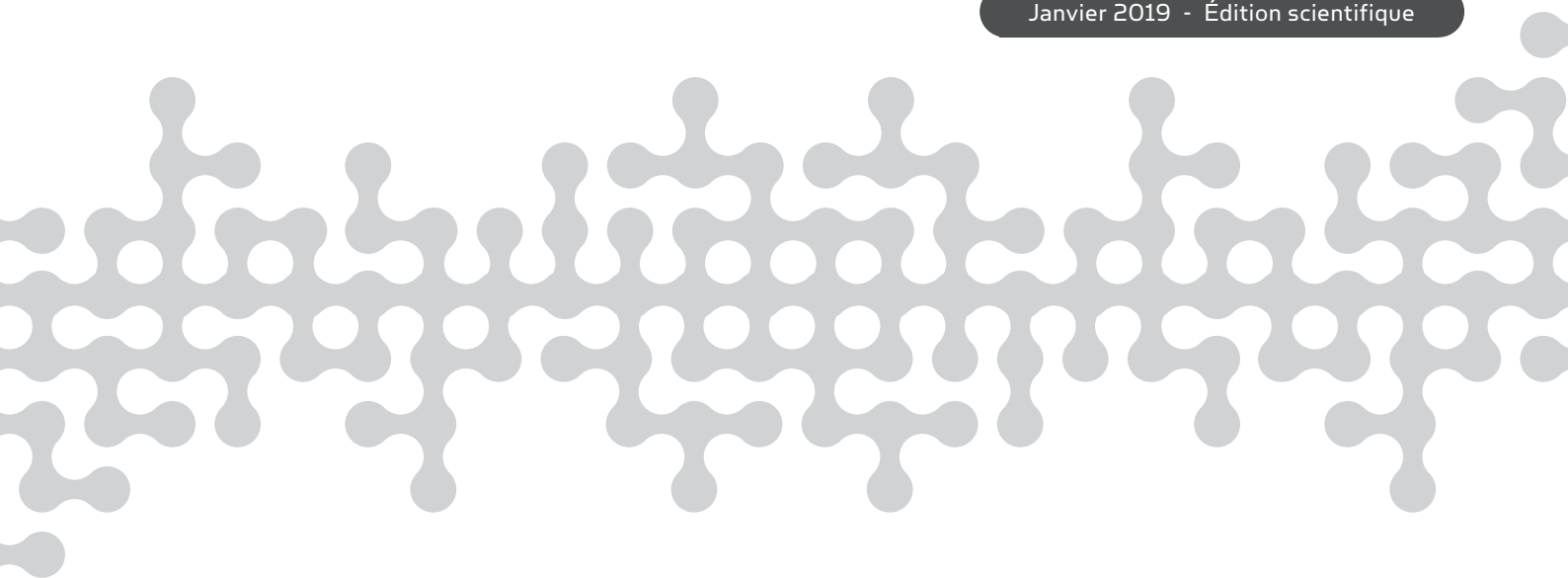


# Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel

Le trifluorure de bore

Avis de l'Anses  
Rapport d'expertise collective

Janvier 2019 - Édition scientifique





Le Directeur général

Maisons-Alfort, le 7 janvier 2019

## **AVIS** **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,** **de l'environnement et du travail**

**relatif à la proposition de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel**

### **Evaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour**

la n-butylamine (CAS n°109-73-9)  
la méthylamine (CAS n°74-89-5)  
la triméthylamine (CAS n°75-50-3)  
l'acide acétique (CAS n°64-19-7)  
l'anhydride acétique (CAS n°108-24-7)  
l'hydroxyde de potassium (CAS n°1310-58-3)  
le peroxyde de méthyléthylcétone (MEKP) (CAS n°1338-23-4)  
le chlorure de cyanogène (CAS n°506-77-4)  
le trifluorure de bore (CAS n°7637-07-2)  
le trifluorure de chlore (CAS n°7790-91-2)  
le chlore (CAS n° 7782-50-5)

---

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.*

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).*

*Ses avis sont publiés sur son site internet.*

---

Dans un rapport de l'Anses, publié en 2010 il était recommandé d'étudier plusieurs substances disposant, en France, d'une valeur limite court terme sans valeur moyenne d'exposition (VME) pour proposer des valeurs sanitaires issues de la littérature scientifique la plus récente<sup>1</sup>. Suite à ces recommandations, et en cohérence avec sa mission pérenne d'élaboration de valeurs de référence sanitaire en santé-travail, l'Anses s'est autosaisie et a mené les évaluations relatives à la n-butylamine, la méthylamine, la triméthylamine, l'acide acétique, l'anhydride acétique, l'hydroxyde de potassium, le peroxyde de méthyléthylcétone, le chlorure de cyanogène, le trifluorure de bore, le trifluorure de chlore et le chlore.

---

<sup>1</sup> Anses. (2010). Recommandation en vue de limiter l'importance et du nombre de pics d'exposition dans une journée (partie 2). (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, France), Fr. 36 p.

## 1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

- La n-butylamine

La France dispose actuellement d'une valeur limite d'exposition court terme indicative sur 15 minutes de  $15 \text{ mg.m}^{-3}$  (soit 5 ppm) (circulaire<sup>2</sup> de 1982).

- La méthylamine

La France dispose actuellement d'une valeur limite d'exposition court terme indicative sur 15 minutes de  $12 \text{ mg.m}^{-3}$  (soit 10 ppm) (circulaire<sup>2</sup> de 1982).

- La triméthylamine

La France dispose actuellement d'une valeur limite d'exposition court terme indicative sur 15 minutes de  $25 \text{ mg.m}^{-3}$  (soit 10 ppm) (circulaire<sup>2</sup> de 1982).

Le comité scientifique européen chargé de mener l'expertise en matière de limites d'exposition professionnelle à des agents chimiques (SCOEL) a recommandé en février 2017 une VLEP sur 8 heures de 2 ppm ( $4,9 \text{ mg.m}^{-3}$ ), une valeur sur 15 minutes de 5 ppm ( $12,5 \text{ mg.m}^{-3}$ ) sans attribution de mention « peau » ni « bruit »<sup>3</sup>.

- L'acide acétique

La France dispose actuellement d'une valeur limite d'exposition court terme indicative sur 15 minutes de  $25 \text{ mg.m}^{-3}$  (soit 10 ppm) (circulaire<sup>2</sup> de 1982). Il est à noter qu'au niveau européen, une valeur limite d'exposition professionnelle indicative de  $25 \text{ mg.m}^{-3}$  (soit 10 ppm) sur 8 heures a été fixée par la directive 2017/164/UE.

Dans un rapport de 2012<sup>4</sup>, le SCOEL retient l'irritation de la peau et des muqueuses comme effet critique. Il indique qu'il existe une bonne relation dose-réponse pour l'irritation sensorielle chez l'Homme (études sur volontaires) pouvant être utilisée pour recommander des VLEP.

Il estime que des effets irritants subjectifs mineurs ont été rapportés dans deux études sur volontaires exposés à 10 ppm (Ernstgard et al. 2006 et HVBG 2007, citées dans SCOEL, 2012), lesquels n'ont pas été retrouvés dans une autre étude par Van Thriel et al. (2008). L'étude de Van Thriel et al. de 2008 (citée dans SCOEL, 2012) est publiée dans une revue allemande non référencée par les bases de données scientifiques (Pubmed et Scopus par exemple).

Le SCOEL conclut qu'aucune des deux études n'a montré de modifications physiologiques liées à l'irritation à 10 ppm et propose, de ce fait, une VLEP-8h de 10 ppm ( $25 \text{ mg.m}^{-3}$ ) et une VLCT de 20 ppm ( $50 \text{ mg.m}^{-3}$ ) sur la base d'un seuil identifié pour la latéralisation à 40 ppm à partir de l'étude de Van Thriel.

- L'anhydride acétique

La France dispose actuellement d'une valeur limite d'exposition court terme indicative sur 15 minutes de  $20 \text{ mg.m}^{-3}$  (soit 5 ppm) (circulaire<sup>5</sup> de 1985).

---

<sup>2</sup> circulaire du 19 juillet 1982 relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail.

<sup>3</sup> SCOEL/REC/179 Trimethylamine (February 2017), Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits. European Commission. 30p

<sup>4</sup> SCOEL/SUM/98 Acetic acid (June 2012), Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits. for acetic acid. European Commission. 12p

<sup>5</sup> circulaire du 5 mars 1985 complétant et modifiant l'annexe de la circulaire du 19 juillet 1982 relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail

- L'hydroxyde de potassium

La France dispose actuellement d'une valeur limite d'exposition court terme indicative sur 15 minutes de 2 mg.m<sup>-3</sup> (circulaire<sup>6</sup> de 1987).

- Le peroxyde de méthyléthylcétone (MEKP)

La France dispose actuellement d'une valeur limite d'exposition court terme indicative sur 15 minutes de 1,5 mg.m<sup>-3</sup> (soit 0,2 ppm) (circulaire<sup>6</sup> de 1987).

- Le chlorure de cyanogène

La France dispose actuellement d'une valeur limite d'exposition court terme indicative sur 15 minutes de 0,6 mg.m<sup>-3</sup> (soit 0,3 ppm) (circulaire<sup>6</sup> de 1987).

- Le trifluorure de bore

La France dispose actuellement d'une valeur limite d'exposition court terme indicative sur 15 minutes de 3 mg.m<sup>-3</sup> (soit 1 ppm) (circulaire<sup>6</sup> de 1987).

- Le trifluorure de chlore

La France dispose actuellement d'une valeur limite d'exposition court terme indicative sur 15 minutes de 0,4 mg.m<sup>-3</sup> (circulaire<sup>7</sup> de 1983).

- Le chlore

La France dispose actuellement d'une valeur limite d'exposition court terme contraignante sur 15 minutes de 1,5 mg.m<sup>-3</sup> (0,5 ppm) (décret<sup>8</sup> de 2007).

Le comité scientifique européen chargé de mener l'expertise en matière de limites d'exposition professionnelle à des agents chimiques (SCOEL) a recommandé en décembre 1998 une valeur limite court terme sur 15 min de 0,5 ppm (1,5 mg.m<sup>-3</sup>) sans attribuer de mention « peau »<sup>9</sup>.

## 2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

Les expertises collectives relèvent du domaine de compétences du comité d'experts spécialisés (CES) « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites à des agents chimiques en milieu professionnel » (CES VLEP) et, depuis septembre 2017, du comité d'experts spécialisés « Valeurs sanitaires de référence » (CES VSR). L'Anses a confié les travaux d'expertise aux groupes de travail « effets sanitaires », « métrologie », à des rapporteurs et à des agents de l'Anses. Les travaux ont été présentés aux CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques.

<sup>6</sup> circulaire du 13 mai 1987 complétant l'annexe de la circulaire du 19 juillet 1982 relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail

<sup>7</sup> circulaire du 1<sup>er</sup> décembre 1983 complétant l'annexe de la circulaire du 19 juillet 1982 relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail

<sup>8</sup> Décret n° 2007-1539 du 26 octobre 2007 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes pour certains agents chimiques et modifiant le code du travail

<sup>9</sup> SCOEL/SUM/76 (December 1998), Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for chlorine. European Commission. 6p



Le présent avis se fonde pour les aspects scientifiques sur les rapports intitulés :

- Concernant la **n-butylamine** : « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel : évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour la n-butylamine (CAS n°109-73-9) (mars 2016) ». Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 03/06/2015 au 03/08/2015. La liste des personnes ou organismes ayant contribué à la consultation publique sont listés en annexe du rapport d'expertise collective. Les commentaires reçus ont été examinés et discutés par le CES VLEP (mandat 2014-2017) qui a adopté cette version finalisée le 7 mars 2016.
- Concernant la **méthylamine** : « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel : évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour la méthylamine (CAS n°74-89-5) (mars 2016) ». Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 12/06/2015 au 12/08/2015. La liste des personnes ou organismes ayant contribué à la consultation publique sont listés en annexe du rapport d'expertise collective. Les commentaires reçus ont été examinés et discutés par le CES VLEP (mandat 2014-2017) qui a adopté cette version finalisée le 7 mars 2016.
- Concernant la **triméthylamine** : « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel : évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour la triméthylamine (CAS n°75-50-3) (décembre 2015) ». Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 21/05/2015 au 21/07/2015. La liste des personnes ou organismes ayant contribué à la consultation publique sont listés en annexe du rapport d'expertise collective. Les commentaires reçus ont été examinés et discutés par le CES VLEP (mandat 2014-2017) qui a adopté cette version finalisée le 15 décembre 2015.
- Concernant l'**acide acétique** : « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel : évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour l'acide acétique (CAS n°64-19-7) (octobre 2014) ». Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 30/06/2014 au 02/09/2014. Aucun commentaire n'a été reçu lors de la consultation. Le CES VLEP (mandat 2014-2017) a adopté cette version finalisée le 14 octobre 2014.
- Concernant l'**anhydride acétique** : « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel : évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour l'anhydride acétique (CAS n° 108-24-7) (octobre 2017) ». Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 30/06/2017 au 30/08/2017. Aucun commentaire n'a été reçu lors de la consultation. Le CES VSR a adopté cette version finalisée le 17 octobre 2017.
- Concernant l'**hydroxyde de potassium** : « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel : évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour l'hydroxyde de potassium (CAS n°1310-58-3) (mars 2015) ». Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 01/10/2014 au 01/12/2014. La liste des personnes ou organismes ayant contribué à la consultation publique sont listés en annexe du rapport d'expertise collective. Les commentaires reçus ont été examinés et discutés par le CES VLEP (mandat 2014-2017) qui a adopté cette version finalisée le 9 mars 2015.
- Concernant le **peroxyde de méthyléthylcétone** : « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel : évaluation des



effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour le peroxyde de méthyléthylcétone (CAS n°1338-23-4) (mai 2016) ». Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 21/05/2015 au 21/07/2015. Aucun commentaire n'a été reçu lors de la consultation. Le CES VLEP (mandat 2014 - 2017) a adopté cette version finalisée le 09 mai 2016.

- Concernant le **chlorure de cyanogène** : « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel : évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour le chlorure de cyanogène (CAS n°506-77-4) (mai 2017) ». Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 19/01/2017 au 19/03/2017. Aucun commentaire n'a été reçu lors de la consultation. Le CES VLEP (mandat 2014 - 2017) a adopté cette version finalisée le 15 mai 2017.
- Concernant le **trifluorure de bore** : « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel : évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour le trifluorure de bore (CAS n°7637-07-2) (mars 2018) ». Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 22/09/2017 au 22 /11/2017. Les commentaires reçus ont été examinés et discutés par le CES VSR qui a adopté cette version finalisée le 8 mars 2018.
- Concernant le **trifluorure de chlore** : « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel : évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour le trifluorure de chlore (CAS n°7790-91-2) (mars 2018) ». Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 10/11/2017 au 10 /01/2018. Les commentaires reçus ont été examinés et discutés par le CES VSR qui a adopté cette version finalisée le 8 mars 2018.
- Concernant le **chlore** : « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel : évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour le chlore (CAS n°7782-50-5) (juin 2018) ». Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 30/01/2018 au 30/03/2018. Aucun commentaire n'a été reçu lors de la consultation. Le CES VSR a adopté cette version finalisée le 21 juin 2018.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'Anses ([www.anses.fr](http://www.anses.fr)).

### **3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES**

- **Éléments de proposition pour fixer des VLEP**

Pour chaque substance objet du présent avis, les tableaux n°1, 2 et 3 reprennent de façon synthétique les recommandations des CES en matière de VLEP, élaborées conformément au guide méthodologique<sup>10</sup>, à savoir :

- les VLEP recommandées sur une durée de 8 heures (VLEP-8h) ; il s'agit de 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'un poste de travail 8 heures. 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 à l'agent chimique considéré régulièrement et ce, pendant la durée d'une vie de travail ;
- les VLEP recommandées sur une durée de 15 minutes (VLCT-15 min) ; il s'agit de 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 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, tels que des phénomènes d'irritation), dus à des pics d'exposition ;
- les valeurs plafond ; il s'agit de la 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. La valeur plafond s'applique aux substances pour lesquelles le profil toxicologique montre qu'une exposition peut entraîner, de façon instantanée, un effet grave et potentiellement irréversible et qui ne peut pas être contrôlé par l'application d'une VLEP-8h ou d'une VLCT-15 min.
- l'attribution éventuelle d'une mention « peau » lorsqu'une pénétration cutanée significative a été identifiée. Cette mention indique la nécessité de prendre en compte la voie d'exposition cutanée dans l'évaluation de l'exposition et, le cas échéant, de mettre en œuvre des mesures de prévention appropriées (telles que le port de gants de protection). En effet, la pénétration cutanée des substances n'est pas prise en compte pour la détermination des niveaux de valeurs limites atmosphériques et peut donc potentiellement entraîner des effets sanitaires indépendamment du respect de ces dernières ;
- l'attribution éventuelle d'une mention « ototoxique » ou d'une mention « bruit »<sup>11</sup> signalant un risque d'atteinte auditive en cas de co-exposition au bruit et à la substance en dessous des limites d'exposition recommandées afin que les préventeurs mettent en place des mesures appropriées (collective, individuelle et médicale).

Les rapports d'expertise collective propres à chaque substance (référéncés en section 2) détaillent le profil toxicologique de la substance, les méthodes de construction des valeurs de référence proposée ainsi que l'évaluation de la pertinence des mentions « peau » et « bruit ».

<sup>10</sup> Pour plus de détails se reporter au [document de référence pour l'élaboration de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel](#). Maisons-Alfort: Anses; 2017. 142 p.

<sup>11</sup> La mention « ototoxique » a été remplacée en 2016 par la mention « bruit » dans la mesure où c'est la dénomination mention « bruit » qui a été retenue au niveau du Scoel et qu'elle a été reprise dans la réglementation française pour le styrène.

- **Tableau n°1 : Tableau de synthèse relatif aux recommandations de VLEP-8h**

Substance	VLEP-8h recommandée	Etude-clé / Effet critique	Point de départ	Facteurs d'ajustement
<b>Trifluorure de bore</b>	0,2 mg.m <sup>-3</sup> (0.1ppm)	Rusch et al (1986) <sup>12</sup> , nécrose de l'épithélium tubulaire rénal (étude chez le rat)	NOAEL de 6 mg.m <sup>-3</sup>	FA = FA <sub>s</sub> * FA <sub>A</sub> * FA <sub>H</sub> = 3 * 3 * 3 (transposition subchronique à chronique, variabilités interespèces et interindividuelle)

- **Tableau n°2 : Tableau de synthèse relatif aux recommandations de VLCT-15 min et des mentions à attribuer**

Substance	VLCT-15 min recommandée	Etude-clé / Effet critique	Point de départ	Facteurs d'ajustement	Mention « peau »	Mention « bruit »
<b>n-Butylamine</b>	6 mg.m <sup>-3</sup>	Gamer et al. (2002) <sup>13</sup> , effets irritants sur la muqueuse nasale (hyperplasies de l'épithélium, métaplasies squameuses, inflammations et nécroses) (étude chez des rates gestantes)	LOAEL de 17 ppm (soit 51,8 mg.m <sup>-3</sup> )	FA = FA <sub>L</sub> * FA <sub>H</sub> = 3 * 3 (passage LOAEL à NOAEL et variabilité interindividuelle)	Non	Non

<sup>12</sup> Rusch GM, Hoffman GM, McConnell RF, Rinehart WE. (1986). Inhalation toxicity studies with boron trifluoride. Toxicol Appl Pharmacol. 30;83(1):69-78.

<sup>13</sup> Gamer AO, Hellwig J, van Ravenzwaay B. (2002). Developmental toxicity of oral n-butylamine hydrochloride and inhaled n-butylamine in rats. Food Chem Toxicol; 40(12): 1833-1842.

**Avis de l'Anses**  
**Saisine n° 2010-SA-0322**

Substance	VLCT-15 min recommandée	Etude-clé / Effet critique	Point de départ	Facteurs d'ajustement	Mention « peau »	Mention « bruit »
<b>Méthylamine</b>	11 mg.m <sup>-3</sup>	Kinney et al. (1990) <sup>14</sup> , nécrose de la muqueuse respiratoire (étude chez le rat)	NOAEL de 75 ppm (soit 97,1 mg.m <sup>-3</sup> )	FA = FA <sub>D</sub> * FA <sub>H</sub> = 3 * 3 (faiblesse de la base de données et variabilité interindividuelle)	Non	Non
<b>Triméthylamine</b>	7 mg.m <sup>-3</sup>	Kinney et al. (1990) <sup>15</sup> , irritation de la muqueuse nasale (étude chez le rat)	LOAEL de 75 ppm (soit 184,7 mg.m <sup>-3</sup> )	FA = FA <sub>L</sub> * FA <sub>D</sub> * FA <sub>H</sub> = 3 * 3 * 3 (passage LOAEL à NOAEL, faiblesse de la base de données et variabilité interindividuelle)	Non	-*
<b>Acide acétique</b>	20 mg.m <sup>-3</sup>	Erntsgård et al (2006) <sup>16</sup> , irritation des muqueuses et des voies respiratoires supérieures (étude contrôlée chez l'Homme)	NOAEL de 10 ppm	NOAEL <sub>ajusté</sub> de 28 ppm (soit 67,2 mg.m <sup>-3</sup> ) (ajusté sur 15 min selon la loi de Haber <sup>17</sup> )  FA <sub>H</sub> = 3 (variabilité interindividuelle)	Non	-*
<b>Anhydride acétique</b>	20 mg.m <sup>-3</sup>	Irritation des yeux et des voies respiratoires (à partir des données sur l'acide acétique faute de données pour l'anhydride)	VLCT-15 min de 20 mg.m <sup>-3</sup> recommandée pour l'acide acétique	VLCT-15min anhydride acétique = VLCT-15min acide acétique × Manhydride acétique / 2 × Macide acétique	Non	Non

<sup>14</sup> Kinney LA, Valentine R, Chen HC, Everett RM, Kennedy GL. (1990). Inhalation toxicology of methylamine. Inhal Toxicol; 2: 29-39.

<sup>15</sup> Kinney LA, Burgess BA, Chen HC, Kennedy GL Jr. (1990). Inhalation toxicology of trimethylamine. Inhalation toxicology; 2: 41-51.

- \* la triméthylamine, l'acide acétique, l'hydroxyde de sodium n'ont pas fait l'objet d'une évaluation spécifique par le CES quant à la nécessité d'attribuer une mention "bruit"; cependant dans la mesure où les données de la littérature ne mettent pas en évidence d'effet ototoxique pour ces substances, l'attribution de la mention "bruit" ne s'avère *a priori* pas pertinente.

<sup>16</sup> Ernstgård L, Iregren A, Sjögren B, Johanson G. Acute effects of exposure to vapours of acetic acid in humans. Toxicol Lett. 2006 165: 22-30.

<sup>17</sup> adaptée par ten Berge (1986)

**Avis de l'Anses**  
**Saisine n° 2010-SA-0322**

Substance	VLCT-15 min recommandée	Etude-clé / Effet critique	Point de départ	Facteurs d'ajustement	Mention « peau »	Mention « bruit »
<b>Hydroxyde de potassium</b>	- <sup>18</sup>	substance irritante pour les muqueuses de la voie respiratoire	-	-	Non	-*
<b>Peroxyde de méthyléthylcétone (MEKP)</b>	- <sup>19</sup>	Substance irritante et corrosive pour la peau et les muqueuses	-	-	Non	-
<b>Trifluorure de bore</b>	7 mg.m <sup>-3</sup>	Rusch et al. (2008) <sup>20</sup> , irritation du tractus respiratoire supérieur (étude chez le rat)	NOAEL de 24,6 mg.m <sup>-3</sup> sur 240 min	NOAEL <sub>ajusté</sub> de 62mg.m <sup>-3</sup> (ajusté sur 15 min selon la loi de Ten Berge) FA= FA <sub>A</sub> *FA <sub>H</sub> = 3 * 3 (variabilité interespèces et interindividuelle)	Non faute de données quantitatives	Non
<b>Chlore</b>	1,5 mg.m <sup>-3</sup>	Shusterman et al., (1998) <sup>21</sup> , Irritation des voies aériennes supérieures, (augmentation de la résistance des voies nasales, congestion nasale) (étude contrôlée chez l'Homme)	NOAEC de 0.5 ppm (soit 1.5mg.m <sup>-3</sup> )	- <sup>22</sup>	Non	Non

<sup>18</sup> Pas de données pertinentes disponibles dans la littérature pour construire une VLCT-15min ; les experts indiquent que les données disponibles ne permettent pas de confirmer ou d'infirmer la valeur indicative de 2 mg.m<sup>-3</sup> actuellement en vigueur.

<sup>19</sup> Pas de données pertinentes disponibles dans la littérature pour construire une VLCT-15min ; les experts indiquent que les données disponibles ne permettent pas de confirmer ou d'infirmer la valeur indicative de 1.5 mg.m<sup>-3</sup> actuellement en vigueur.

<sup>20</sup> Rusch GM, Bowden AM, Muijser H, Arts J. (2008). Respiratory irritation associated with inhalation of boron trifluoride and fluorosulfonic acid. *Inhal Toxicol.* 20(7):665-670.

<sup>21</sup> Shusterman D, Murphy MA, Balmes J. Subjects with seasonal allergic rhinitis and nonrhinitic subjects react differentially to nasal provocation with chlorine gas. *Journal of Allergy and Clinical Immunology.* 1998; 101(6 Pt 1):732-740.

<sup>22</sup> Dans la mesure où cette NOAEC provient d'une étude chez l'Homme et qu'elle est confortée par 3 autres études chez l'Homme menées sur des durées d'exposition supérieures, il n'a pas été jugé nécessaire d'appliquer de facteur d'ajustement. La valeur recommandée protège également de l'irritation oculaire.

• **Tableau n°3 : Tableau de synthèse relatif aux recommandations de valeurs plafond**

Substance	Valeur plafond recommandée	Etude-clé / Effet critique	Point de départ	Facteurs d'ajustement	Mention « peau »	Mention « bruit »
<b>Chlorure de cyanogène</b>	- <sup>23</sup>				Non	Non
<b>Trifluorure de chlore</b>	0,4 mg.m <sup>-3</sup>	Horn et Weir (1956) <sup>24</sup> , rhinite <sup>25</sup> (étude chez le chien)	LOAEL de 1,17 ppm (soit 4,49 mg.m <sup>-3</sup> )	FA = FA <sub>L</sub> * FA <sub>H</sub> = 3 * 3 (passage LOAEL à NOAEL et variabilité interindividuelle)	Non	Non
<b>Chlore</b>	Valeur plafond pragmatique de 12 mg.m <sup>-3</sup> (soit 4 ppm)	-	VLCT-15 min recommandée	Facteur multiplicatif de 8 appliqué à la VLCT-15min recommandée	Non	Non

<sup>23</sup> En raison de la toxicité aiguë importante du chlorure de cyanogène, seule une valeur plafond, concentration atmosphérique ne devant jamais être dépassée, permettrait de protéger le travailleur d'éventuels effets graves voire irréversibles suite à de fortes expositions à court terme. Cependant, compte tenu des limites des données bibliographiques actuelles, il ne peut être proposé de valeur numérique scientifiquement fondée pour le chlorure de cyanogène.

<sup>24</sup> Horn, H.J. and R.J. Weir. 1956. Inhalation toxicology of chlorine trifluoride. II. Chronic toxicity. A.M.A. Archives Indust. Health 13:340-345.

<sup>25</sup> Les lésions induites par le ClF<sub>3</sub> peuvent être extrêmement graves et sont en partie attribuées aux produits générés lors de son hydrolyse (ClF, HF et Cl<sub>2</sub>O) (NIOSH, 1978). Par conséquent, le CES a proposé de construire une valeur plafond (VP) à partir de cette étude en dépit de la grande incertitude entourant cette valeur.

### ■ **Éléments de proposition pour fixer une méthode de mesure**

Le CES évalue les méthodes de référence applicables pour la mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail. La qualité de ces méthodes et leur applicabilité à la mesure des expositions aux fins de comparaison à une VLEP ont été évaluées notamment sur leur conformité aux exigences de performance de la NF EN 482 <sup>26</sup> et de leur niveau de validation. Suite à cette évaluation, les méthodes peuvent être classées en différentes catégories :

- catégorie 1A : méthodes validées (l'ensemble des critères de performance de la NF-EN 482 sont satisfaits) ;
- catégorie 1B : méthodes partiellement validées (une grande majorité des critères de performance de la NF-EN 482 sont satisfaits) ;
- catégorie 2 : méthodes indicatives (des critères essentiels de validation ne sont pas suffisamment explicités) ;
- catégorie 3 : méthodes non recommandées. Cette catégorie englobe les méthodes inadaptées pour lesquelles des critères essentiels de validation ne sont pas remplis et les méthodes non évaluables pour lesquels des critères essentiels de validation ne sont pas documentés.

Le tableau n°4 présente de façon synthétique les méthodes recommandées pour la mesure des expositions dans l'air des lieux de travail au regard des VLCT-15min recommandées.

Concernant les substances pour lesquelles une valeur plafond est recommandée, la mesure en continu de l'exposition avec résultat en temps réel est le seul type de méthode qui puisse permettre un contrôle fiable.

Des exemples de telles méthodes de mesure sont mentionnés dans le tableau n°5. Toutefois, en raison de l'absence de données de validation ou de données incomplètes ne permettant pas de statuer sur la conformité aux exigences de la norme NF EN 45544, aucune de ces méthodes ne peut être recommandée à des fins de comparaison avec les valeurs plafond.

Les méthodes basées sur un prélèvement ponctuel avec résultat instantané ou différé ne sont pas recommandées par le CES VLEP pour contrôler une valeur plafond mais peuvent permettre d'estimer rapidement la concentration ou de suivre l'exposition.

Ces deux tableaux s'appuient sur les rapports d'expertise collective spécifiques à chaque substance (répertoriés en section 2 de l'avis) qui détaillent l'évaluation des méthodes de mesure recommandées.

---

<sup>26</sup> NF EN 482 : Exposition sur les lieux de travail – Exigences générales concernant les performances des procédures de mesure des agents chimiques.



- **Tableau n°4 : Tableau de synthèse des méthodes de mesure recommandées pour les VLEP-8h, VLCT-15min et le suivi des expositions court terme dans l'air des lieux de travail**

Substance concernée	Méthode	Protocoles similaires	Catégorie			Commentaires
			pour contrôle technique réglementaire		pour le suivi des expositions court terme	
			VLEP-8h	VLCT-15min <sup>27</sup>		
Trifluorure de bore	-		Aucune méthode recommandée			Deux méthodes ont été recensées, évaluées et classées en catégorie 3 compte tenu l'absence de données essentielles de validation et en raison du non-respect des exigences de la norme EN 482 pour les étendues de mesure accessibles
n-Butylamine	Prélèvement sur tube contenant du gel de silice imprégné d'acide sulfurique. Désorption méthanol/eau (50/50). Neutralisation avec du KOH. Analyse par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme (GC/FID)	NIOSH 2012 (1994)	-	3 (non recommandée)	2	LQ insuffisante pour mesurer le dixième de la VLCT-15min.

<sup>27</sup> Les critères de validation et de performance pour les méthodes destinées au suivi des VLCT sont définis par la norme NF EN 482 sur un intervalle de 0,5 à 2 fois la VLCT. La réglementation française impose, dans le cas de contrôle technique de la valeur limite, que la méthode de mesure permette de mesurer le dixième de la VLCT-15min (Arrêté du 15 décembre 2009 relatif aux contrôles techniques des valeurs limites d'exposition professionnelle sur les lieux de travail et aux conditions d'accréditation des organismes chargés des contrôles, publié au JO du 17 décembre 2009). De ce fait, lorsque la méthode ne permet pas de mesurer le dixième de la VLCT-15min, celle-ci ne peut pas être classée en catégorie 1A ni 1B à des fins de contrôle réglementaire de la VLCT-15min. Par contre, elle pourrait être classée en catégorie 1A ou 1B uniquement à des fins d'évaluation de l'exposition professionnelle.

**Avis de l'Anses**  
**Saisine n° 2010-SA-0322**

Substance concernée	Méthode	Protocoles similaires	Catégorie			Commentaires
			pour contrôle technique réglementaire		pour le suivi des expositions court terme	
			VLEP-8h	VLCT-15min <sup>27</sup>		
Méthylamine	Prélèvement sur tube de charbon actif traité d'acide sulfurique (précédé par un filtre en téflon) – désorption eau - Analyse par chromatographie ionique (CI) avec détecteur de conductivité.	BGIA 7853 (2005)	-	2	1B	LQ insuffisante pour atteindre le dixième de la VLCT-15min, néanmoins avec un volume de désorption de 5 mL au lieu de 10 mL, la limite de quantification peut être adaptée.
	Prélèvement sur tube de XAD-7 imprégné de chlorure de NBD - désorption dans du tétrahydrofurane - Analyse par chromatographie liquide haute performance avec détection (HPLC) avec détection fluorescence ou lumière visible.	OSHA 40 (1982)	-		1B	-
Triméthylamine	Prélèvement sur tube XAD-7 imprégné de 10 % d'acide phosphorique - Désorption mélange méthanol / eau. Ajout d'un mélange NaOH / méthanol. Analyse par GC/FID	OSHA PV2060 (1993)	-		1B	-
	Prélèvement sur tube de charbon actif imprégné d'acide sulfurique – Désorption eau – Analyse par CI	BGIA 7853 (2005)	-	2	1B	LQ insuffisante pour atteindre le dixième de la VLCT-15min, néanmoins avec un volume de désorption de 4 mL au lieu de 10 mL, la limite de quantification peut être adaptée

**Avis de l'Anses**  
**Saisine n° 2010-SA-0322**

Substance concernée	Méthode	Protocoles similaires	Catégorie			Commentaires
			pour contrôle technique réglementaire		pour le suivi des expositions court terme	
			VLEP-8h	VLCT-15min <sup>27</sup>		
Acide acétique	Prélèvement actif par pompage au travers d'un tube Florisil® - Analyse par CI/ détection conductimétrique	INRS MétroPol 045 (2003) <sup>33</sup>	-	1B		
	Prélèvement actif par pompage au travers d'un filtre de quartz imprégné de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> Analyse par CI/ détection conductimétrique	INRS MétroPol 078 (2003) <sup>33</sup>				
	Prélèvement actif par pompage au travers d'un tube charbon actif, désorption NaOH – Analyse par CI/ détection conductimétrique	OSHA PV-2119 (2003)				
	Prélèvement actif par pompage au travers d'un tube Florisil® - Analyse par chromatographie par exclusion ionique avec détection conductimétrique	INRS MétroPol 045 (2003) <sup>33</sup>	-	2	1B	LQ insuffisante pour atteindre le dixième de la VLCT-15min, néanmoins avec une réduction du volume de désorption la limite de quantification peut être adaptée
	Prélèvement actif par pompage au travers d'un tube charbon actif. Analyse par GC/FID	NIOSH 1603 (1994)	-	2		protocole validé dans une gamme de mesure éloignée de la gamme d'intérêt
Anhydride acétique	Prélèvement par pompage au travers d'un filtre en fibres de verre imprégné de 1-(2-pyridyl)pipérazine – extraction avec un mélange 2-propanol/toluène – analyse par GC/NPD	OSHA 82 (1990)	-	1B	-	

<sup>33</sup> la base de données MétroPol de l'INRS a été mise à jour en mai 2016 occasionnant une modification dans le référencement des protocoles MétroPol (une liste de correspondance entre les anciennes et nouvelles références des fiches MétroPol est disponible sur le site <http://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html>).

**Avis de l'Anses**  
**Saisine n° 2010-SA-0322**

Substance concernée	Méthode	Protocoles similaires	Catégorie			Commentaires
			pour contrôle technique réglementaire		pour le suivi des expositions court terme	
			VLEP-8h	VLCT-15min <sup>27</sup>		
	Prélèvement par pompage au travers d'un filtre en fibres de verre imprégné de veratrylamine et di-n-octyle phtalate – extraction avec un mélange 2-propanol/toluène – analyse par GC avec détecteur thermoïonique azote-phosphore (NPD)	OSHA 102 (1993)	-		1B	-
Hydroxyde de potassium	Prélèvement de la fraction inhalable à l'aide d'une cassette 37mm et d'un filtre en fibre de quartz - Dissolution dans une solution d'eau ou d'acide sulfurique - Dosage des cations par Cl	Method DFG (E) (2001) PR NF ISO 17091 (2012) BGIA 7638 (2009)	-		2	-
Peroxyde de méthyléthylcétone (MEKP)	Prélèvement actif sur tube XAD-4, désorption solvant 2-propanol - Analyse par HPLC avec détection UV	OSHA 77 (1989)	-	2	1B	LO insuffisante pour atteindre le dixième de la VLCT-15min, néanmoins l'évolution technologique depuis 1989 laisse supposer que la limite de quantification peut être abaissée.
Chlore	Prélèvement actif par pompage sur cassette triple étage et membrane en argent – Désorption dans le thiosulfate de sodium et analyse par Cl	NIOSH 6011 (1994)	-		1B	-

- **Tableau n°5 : Tableau de synthèse des méthodes de mesure recensées à des fins de comparaison avec les valeurs plafond recommandées dans l'air des lieux de travail**

Substance concernée	Méthode	Appareils (listes non exhaustives)	Catégorie
Chlorure de cyanogène <sup>28</sup>	Détecteurs portables à cellule électrochimique	Quelques exemples (notamment pour la détection d'HCN) : détecteurs GSE 667 Ex <sup>®</sup> (KIMESSA), ALTAIR PRO <sup>®</sup> (MSA), X-am <sup>®</sup> 5000 et Pac <sup>®</sup> 7000 (DRAGER), ToxiPro <sup>®</sup> (HONEYWELL), Ibrid <sup>™</sup> MX6 (OLDHAM), ToxiRae II (RAE SYSTEMS), GAXT-Z-DL (BW TECHNOLOGIES)	3 (méthodes non recommandées)
	Détecteurs fixes à cellule électrochimique	Quelques exemples (notamment pour la détection d'HCN) : iTRANS.2 (OLDHAM)	
	Détecteurs portatifs à photométrie de flamme	Exemple (notamment pour la détection des azotés) : AP4C ( <i>analyseur portatif de contrôle de contamination chimique</i> ) (PROENGIN) <sup>29 (1)</sup>	
	Détecteurs portables à spectrométrie de mobilité d'ions	Quelques exemples (notamment pour la détection des agents cyanés) : LCD 3.2E et LCD3.3 (SMITHS DETECTION)	
	Analyseurs fixes à spectrométrie de mobilité d'ions	Exemple (notamment pour la détection des agents cyanés) : SABRE CENTURION II (SMITHS DETECTION)	
Trifluorure de chlore	Détecteur portable ou fixe - détection par cellule électrochimique	C2300-Range (RKI Japon), GD-K7D2 (RKI Japon), GD-70D (RKI Japon), MST Gas sensor 9602-7410 (Honeywell), XPS-7CF (Prism Gas Detection Pvt. Ltd.)	
Chlore <sup>30</sup>	Détecteur portable à cellule électrochimique	X-am 5000 et Pac <sup>®</sup> 7000 (Dräger), Gasman (Crowcon), ToxiPro <sup>®</sup> (Honeywell), Ibrid <sup>™</sup> MX6 (Oldham), ToxiRae II (Rae Systems)	
	Détecteur fixe à cellule électrochimique	Gas Point II et Signal Point (Honeywell), Plytron 7000 (Dräger <sup>®</sup> )	
	Détecteur transportable à bande	SPM Chemcassette <sup>®</sup> (Honeywell)	

<sup>28</sup> La concentration à ne pas dépasser faute de données scientifiques suffisantes n'ayant pu être établie, l'évaluation des méthodes de mesure n'a pas pu être réalisée au regard d'une concentration précise mais les performances des méthodes ont été analysées selon la plage de concentration de leur domaine de validation et les données disponibles.

<sup>29</sup> (1) J-U. MULLOT, A. BOUSQUET, P. BURNAT, L'AP4C : caractéristiques d'un nouvel appareil de détection des toxiques chimiques de guerre et de certains toxiques industriels, médecine et armées, 2010, 38, 5, p459-464

<sup>30</sup> Pour le chlore, il s'agit de la recommandation d'une valeur plafond pragmatique

#### **4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE**

S'appuyant sur les conclusions de ses Comités d'Experts Spécialisés (CES) « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites à des agents chimiques en milieu professionnel » et « Valeurs sanitaires de référence », l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) recommande pour :

- **la n-butylamine**

- la fixation d'une VLCT-15min de  $6 \text{ mg.m}^{-3}$  ;
- de ne pas attribuer ni la mention « peau » ni la mention « bruit » ;
- la mise au point d'une méthode de mesure pouvant être utilisée à des fins de comparaison avec la VLCT-15min faute de pouvoir recommander une méthode de mesure validée. L'Anses souligne l'existence d'une méthode de mesure indicative (catégorie 2) pour le suivi des expositions court-terme (Cf. tableau 4) ;

- **la méthylamine**

- la fixation d'une VLCT-15min de  $11 \text{ mg.m}^{-3}$  ;
- de ne pas attribuer ni la mention « peau » ni la mention « bruit » ;
- la méthode de mesure (classée en catégorie 1B) décrite par le protocole OSHA n°40 consistant à effectuer un prélèvement actif sur tube de XAD-7 imprégné, puis une désorption avec du tétrahydrofurane puis une analyse par chromatographie en phase liquide à haute performance avec un détecteur de fluorescence ou lumière visible. L'Anses souligne l'existence d'une seconde méthode, partiellement validée pour le suivi des expositions court terme mais indicative pour le contrôle technique réglementaire de la VLCT-15min (Cf. tableau 4) ;

- **la triméthylamine**

- la fixation d'une VLCT-15min de  $7 \text{ mg.m}^{-3}$  ;
- de ne pas attribuer ni la mention « peau » ni la mention « bruit » ;
- la méthode de mesure (classée en catégorie 1B) décrite par le protocole OSHA PV2060 consistant à effectuer un prélèvement actif sur tube XAD-7 imprégné, une désorption avec un mélange méthanol/eau suivi d'un ajout d'un mélange hydroxyde de sodium/méthanol puis une analyse par chromatographie en phase gazeuse avec détecteur à ionisation de flamme. L'Anses souligne l'existence d'une seconde méthode, partiellement validée pour le suivi des expositions court terme mais indicative pour le contrôle technique réglementaire de la VLCT-15min (Cf. tableau 4) ;

- **l'acide acétique**

- la fixation d'une VLCT-15min de  $20 \text{ mg.m}^{-3}$  ;
- de ne pas attribuer ni la mention « peau » ni la mention « bruit » ;

- trois méthodes de mesure (classées en catégorie 1B) décrites par deux protocoles Métropol de l'INRS (045 et 078<sup>31</sup>) et le protocole de l'OSHA PV-2119 consistant à effectuer un prélèvement actif par pompage (soit sur tube Florisil<sup>®</sup>, filtre de quartz imprégné ou tube de charbon actif) puis une analyse par chromatographie ionique avec détection conductimétrique pour le contrôle technique réglementaire de la VLCT-15min ;

- **l'anhydride acétique**

- la fixation d'une VLCT-15min de 20 mg.m<sup>-3</sup> ;
- de ne pas attribuer ni la mention « peau » ni la mention « bruit » ;
- deux méthodes de mesure (classées en catégorie 1B) décrites par deux protocoles OSHA (82 et 102) consistant à effectuer un prélèvement actif par pompage au travers d'un filtre en fibres de verre imprégné, une désorption avec un mélange de 2-propanol/toluène puis une analyse par chromatographie gazeuse avec un détecteur thermoionique azote-phosphore (GC/NPD) pour le contrôle technique réglementaire de la VLCT-15min ;

- **l'hydroxyde de potassium**

- la fixation d'une VLCT-15min sans qu'aucune valeur scientifiquement fondée ne puisse être proposée et sans pouvoir confirmer ou infirmer la valeur indicative non réglementaire de 2 mg.m<sup>-3</sup> actuellement en vigueur ;
- de ne pas attribuer ni la mention « peau » ni la mention « bruit » ;
- en l'absence d'autres sources de potassium, la méthode indicative (catégorie 2) consistant à effectuer un prélèvement de la fraction inhalable à l'aide d'une cassette 37mm et d'un filtre en fibre de quartz, une dissolution dans une solution d'eau ou d'acide sulfurique puis le dosage des cations par chromatographie ionique aux fins de comparaison avec la valeur de 2 mg.m<sup>-3</sup> sur 15 min non réglementaire en vigueur depuis 1987 ;

- **le peroxyde de méthyléthylcétone (ou MEKP)**

- la fixation d'une VLCT-15min sans qu'aucune valeur scientifiquement fondée ne puisse être proposée sur la base des données actuellement disponibles et sans pouvoir confirmer ou infirmer la valeur indicative non réglementaire de 1,5 mg.m<sup>-3</sup> actuellement en vigueur ;
- de ne pas attribuer ni la mention « peau » ni la mention « bruit » ;
- la méthode décrite par le protocole OSHA-77 consistant à effectuer un prélèvement actif sur tube XAD-4, une désorption avec du 2-propanol puis une analyse par chromatographie liquide haute performance avec détection ultra-violet (HPLC/UV). Aux fins de comparaison avec la valeur de 1,5 mg.m<sup>-3</sup> non réglementaire en vigueur depuis 1987, cette méthode est indicative (classement en catégorie 2) pour le contrôle réglementaire et partiellement validée (classement en catégorie 1B) pour le suivi des expositions court terme ;

---

<sup>31</sup> la base de données MétroPol de l'INRS a été mise à jour en mai 2016 occasionnant une modification dans le référencement des protocoles MétroPol (une liste de correspondance entre les anciennes et nouvelles références des fiches MétroPol est disponible sur le site <http://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html>).



- **le chlorure de cyanogène**

- la fixation d'une valeur plafond au regard de la toxicité aiguë importante de cette substance sans qu'aucune valeur scientifiquement fondée ne puisse être proposée sur la base des données actuellement disponibles ;
- de ne pas attribuer ni la mention « peau » ni la mention « bruit » ;
- la mise au point d'une méthode de mesure pouvant être utilisée pour le contrôle en continu et en temps réel de la valeur plafond recommandée. L'Anses souligne toutefois l'existence de méthodes basées sur un prélèvement ponctuel avec résultat instantané ou différé pouvant permettre d'estimer rapidement la concentration ou de suivre l'exposition au chlorure de cyanogène;

- **le trifluorure de bore**

- la fixation d'une VLEP-8h de 0.2 mg.m<sup>-3</sup> ;
- la fixation d'une VLCT-15min de 7 mg.m<sup>-3</sup> ;
- de ne pas attribuer ni la mention « peau » ni la mention « bruit » ;
- la mise au point d'une méthode de mesure pouvant être utilisée pour le suivi et le contrôle de la VLEP-8h et de la VLCT-15 min recommandées ;

- **le trifluorure de chlore**

- la fixation d'une valeur plafond de 0,4 mg.m<sup>-3</sup> ;
- de ne pas attribuer ni la mention « peau » ni la mention « bruit » ;
- la mise au point d'une méthode de mesure pouvant être utilisée pour le contrôle en continu et en temps réel de la valeur plafond recommandée ;

- **le chlore**

- la fixation d'une VLCT-15min de 1,5 mg.m<sup>-3</sup> ;
- la fixation d'une valeur plafond pragmatique de 12 mg.m<sup>-3</sup> ;
- de ne pas attribuer ni la mention « peau » ni la mention « bruit » ;
- la mise en œuvre de la méthode de mesure décrite dans le protocole NIOSH 6011 consistant à effectuer un prélèvement actif par pompage sur cassette triple étage et membrane en argent, suivie d'une désorption dans le thiosulfate de sodium puis une analyse par chromatographie ionique pour le contrôle réglementaire de la VLCT-15min et le suivi des expositions court terme. Toutefois, l'absence d'interférents tels que les acides minéraux doit être vérifiée avant la mise en œuvre de cette méthode ;
- la mise au point d'une méthode de mesure pouvant être utilisée pour le contrôle en continu et en temps réel de la valeur plafond recommandée ;

**Dr Roger GENET**

## **MOTS-CLÉS**

VLEP, valeurs limites, niveaux d'exposition, milieu professionnel, agents chimiques, effets sur la santé, métrologie, méthodes de mesure, lieu de travail, n-butylamine, méthylamine, triméthylamine, acide acétique, anhydride acétique, hydroxyde de potassium, peroxyde de méthyléthylcétone, chlorure de cyanogène, trifluorure de bore, trifluorure de chlore, chlore

OEL, limit values, exposure levels, occupational, chemicals, health effects, metrology, measurement methods, workplace, n-butylamine, methylamine, trimethylamine, acetic acid, acetic anhydride, potassium hydroxide, methyl ethyl ketone peroxide, 2-butanone peroxide, cyanogen chloride, boron trifluoride, chlorine trifluoride, chlorine

ANNEXE

**Éléments d'information complémentaires  
pouvant être utiles aux gestionnaires des risques**

- **la n-butylamine**

La n-butylamine est produite ou importée en Europe à plus de 100 tonnes par an et est utilisée comme intermédiaire pour la production de plastifiants, de produits agrochimiques, de produits pharmaceutiques, d'agents émulsifiants, de colorants, d'agents de bronzage, également utilisé comme accélérateur de vulcanisation du caoutchouc et comme agent de durcissement pour les polymères.

- **la méthylamine**

La méthylamine est une substance très réactive, produite ou importée en Europe entre 100 à 1 000 tonnes par an. Elle est utilisée comme molécule de départ dans la synthèse de très nombreuses substances organiques contenant de l'azote. Celles-ci peuvent avoir des applications aussi diverses que l'utilisation en agrochimie, comme biocide, produits phytopharmaceutiques, additifs pour l'alimentation, traitement de surface pour les métaux, peintures, pétrochimie, caoutchouc, traitement des eaux...

- **la triméthylamine**

La triméthylamine est produite ou importée en Europe entre 100 et 1000 tonnes par an et est utilisée pour la production de la choline et des sels quaternaires d'ammonium, ainsi que comme catalyseur dans la pétrochimie.

- **l'acide acétique**

L'acide acétique est produit ou importé en Europe entre 1 million et 10 millions de tonnes par an.

L'acide acétique est un réactif très utilisé dans l'industrie, notamment comme additif alimentaire, agent de déchaulage dans le tannage du cuir, solvant et acidifiant pour l'extraction du pétrole, catalyseur et additif dans la fabrication de colorants textiles, fabrication de solvants organiques (acétates minéraux ou organiques). Il est aussi employé comme produit de base dans la fabrication de plastiques, de peintures et d'adhésifs tel que le polyéthylène téréphtalate (PET), l'acétate de cellulose et l'acétate de vinyle. L'acide acétique est aussi à la base de la production de l'anhydride acétique lui-même utilisé dans la teinture, les pigments, la pharmacie, la conserve et l'alimentation, les arômes du tabac.

- **l'anhydride acétique**

L'anhydride acétique est produit ou importé en Europe entre 100 000 et 1 million de tonnes par an.

L'anhydride acétique est principalement utilisé comme agent d'acétylation pour la fabrication d'esters acétiques (en particulier les acétates de cellulose), de produits pharmaceutiques (aspirine, etc....) et de produits agrochimiques, agent de déshydratation.

- **l'hydroxyde de potassium**

L'hydroxyde de potassium est une substance produite ou importée en Europe entre 100 000 et 1 million de tonnes par an.

L'hydroxyde de potassium a de nombreuses applications : pour la fabrication de composés du potassium (carbonate de potassium...), de savons, de détergents liquides, d'engrais, en chimie analytique et synthèse organique, en galvanoplastie, photogravure, lithographie, comme absorbant de monoxyde de carbone, mordant pour le bois, électrolyte pour batteries alcalines, dans la formulation d'agents de nettoyage et de décapants peintures et vernis, dans l'industrie alimentaire (additif), l'industrie pharmaceutique, la médecine vétérinaire...

- **le peroxyde de méthyléthylcétone (MEKP)**

Le peroxyde de méthyléthylcétone est une substance utilisée comme intermédiaire pour des usages industriels.

La substance fait l'objet d'une évaluation dans le cadre de la réglementation biocides en tant que substance active pour des usages TP1 et TP2 (produits d'hygiène chez l'Homme, désinfectants et algicides). Les usages pour les produits TP3 (hygiène vétérinaire) et TP6 (conservateur de stockage) n'ont pas été soutenus (Décision 2014/227/EU). Il est également utilisé comme durcisseur pour les résines et comme agent de polymérisation et de réticulation pour des colles.

- **le chlorure de cyanogène**

Le chlorure de cyanogène est une substance utilisée comme intermédiaire pour des usages industriels.

Le chlorure de cyanogène est utilisé en synthèse chimique (intermédiaire de synthèse en chimie organique). Il est également employé pour le nettoyage des métaux, la production d'herbicides (triazine), dans la fabrication de caoutchouc et de teintures synthétiques, pour le raffinage des minerais et comme nettoyant pour optique.

Le chlorure de cyanogène peut également être rencontré, dans certaines situations accidentelles :

- les agents cyanés sont des toxiques intracellulaires généraux, utilisés comme armes chimiques dans des situations de conflits au 20<sup>e</sup> siècle ou des contextes terroristes plus récemment,
- les fumées d'incendie notamment de matières plastiques.

- **le trifluorure de bore**

Le trifluorure de bore est une substance produite ou importée en Europe entre 1 000 à 10 000 tonnes par an.

La principale utilisation du trifluorure de bore met en jeu son caractère d'acide de Lewis, comme dans certaines synthèses industrielles utilisant la réaction de Friedel et Craft. Le trifluorure de bore est utilisé comme dopant pour l'implantation d'ions dans les semi-conducteurs. Il permet aussi d'initier des réactions de polymérisation de composés insaturés. Il est également utilisé dans les détecteurs de neutrons lents, pour la protection du magnésium et de ses alliages contre l'oxydation notamment pour le soudage.

- **le trifluorure de chlore**

Le trifluorure de chlore est utilisé comme agent de fluoration dans la synthèse de produits chimiques organiques et inorganiques, dans la séparation d'isotopes d'uranium, comme agent de coupe pour le fonçage de puits de forage de pétrole, comme oxydant dans le carburant pour fusées et comme dispositif d'allumage et carburant dans les fusées et les moteurs à propergol liquide, dans le traitement du combustible nucléaire et comme inhibiteur de la pyrolyse des polymères fluorocarbonés.

- **le chlore**

Le chlore est produit ou importé en Europe entre 1 million et 10 millions de tonnes par an.

Le chlore est utilisé comme matière première pour la synthèse de nombreux composés organiques et minéraux, agent de désinfection et de stérilisation (traitement des eaux) et agent de blanchiment en papeterie. Il est également susceptible de se dégager lors d'opérations industrielles telles que l'oxydation du chlorure d'hydrogène ou la pyrolyse de composés chlorés.

Il est utilisé pour la fabrication de produits pharmaceutiques et produits phytosanitaires, pour la fabrication de polymères (polychlorure de vinyle (PVC) et autres polymères exempts de chlore) ainsi que pour la synthèse de produits inorganiques.

En 2016, la production française de chlore s'élevait à 892 526 tonnes dans 10 usines appartenant à 8 sociétés distinctes.



---

## **Expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel**

**Evaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux  
d'exposition sur le lieu de travail pour  
le trifluorure de bore**

---

**Mission permanente VLEP  
Saisine n°2010-SA-0322**

### **RAPPORT d'expertise collective**

**Comité d'experts spécialisé**

**« Valeurs sanitaires de référence »**

Mars 2018



**Mots clés**

---

VLEP, valeurs limites, niveaux d'exposition, milieu professionnel, agents chimiques, effets sur la santé, métrologie, méthodes de mesure, lieux de travail, valeur de référence, trifluorure de bore, trifluoroborane

**Key words**

---

OEL, limit values, exposure levels, occupational, chemical agents, health effects, metrology, measurements methods, workplace, reference value, boron trifluoride, trifluoroborane

## Présentation des intervenants

**Préambule :** Les experts externes, membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

### **GROUPE DE TRAVAIL « EFFETS SANITAIRES » (2010-2013)**

---

#### **Président**

M. Stéphane BINET – Chef du laboratoire de cancérogenèse et toxicité du développement (Institut National de Recherche et de Sécurité INRS) – Compétences : toxicologie

#### **Membres**

M. Marc Baril – Professeur associé à l'université de Montréal. Compétences : Toxicologie, chimie.

Mme Irina CANU – Epidémiologiste à l'INVS. Compétences : épidémiologie.

Mme Carole DUPLAINE – Toxicologue à Sud Loire santé au travail. Compétences : toxicologie, IPRP.

M. Christian LAURENT – Consultant indépendant. Compétences : toxicologie génétique, biosurveillance.

M. Paolo LAURIOLA – Médecin-épidémiologiste ARPA Emilia-Romagna. Compétences : épidémiologie, médecine, toxicologie.

Mme Caroline MAISONNEUVE – Toxicologue – DGA. Compétences : toxicologie, évaluation des risques, élaboration de valeurs de références ; a démissionné le 12/02/2013

Mme Mireille MATRAT – Médecin du travail Université Paris XII. Compétences : médecine du travail, toxicologie, épidémiologie.

M. Fabrizio PARISELLI – Toxicologue CNRS. Compétences : toxicologie.

M. Jean-Paul PAYAN – Chercheur INRS. Compétences : toxicologie, pharmacocinétique.

---

**GROUPE DE TRAVAIL « MÉTROLOGIE » (2010-2013)**

---

**Président**

M. Raymond VINCENT : Chargé de mission à la Direction Déléguée aux Applications (Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS)) – Compétences : hygiène industrielle, métrologie des polluants dans l'air des lieux de travail

**Membres**

Mme Ingrid ALLIO – Responsable du département air et du laboratoire de microbiologie au sein du laboratoire d'analyses de surveillance et d'expertise de la marine (LASEM) à Brest. Compétences : Analyse, Chimie, Métrologie atmosphérique air des lieux de travail.

M. Olivier BARBE – Responsable adjoint du laboratoire de chimie (CARSAT Normandie. Compétences : chimiste, métrologie des polluants dans l'air des lieux de travail.

M. Eddie FAURE – Responsable technique dans le domaine de la qualité de l'air au Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCPP). Compétences : Analyse, Chimie, Métrologie atmosphérique air des lieux de travail.

M. Roger GROSJEAN – Chef du laboratoire de toxicologie industrielle du Ministère du travail Belge. Compétences : Hygiène industrielle, Chimie, Expologie, Métrologie atmosphérique air des lieux de travail.

M. Pierre Louis LAMBERT – Responsable du laboratoire de chimie (CARSAT Aquitaine). Compétences : chimiste, métrologie des polluants dans l'air des lieux de travail.

M. Benoît OURY – Responsable d'études (laboratoire de chimie analytique organique, INRS). Compétences : chimiste, métrologie des polluants dans l'air des lieux de travail, chimie organique.

M. Davy ROUSSET – Responsable du laboratoire d'analyse inorganique et de caractérisation des aérosols (INRS). Compétences : métrologie des polluants dans l'air des lieux de travail, chimie inorganique.

M. Michel SLOIM – Ingénieur chimiste (Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCPP)). Compétences : analyse chimique, métrologie des polluants dans l'air des lieux de travail.

## COMITES D'EXPERTS SPÉCIALISÉS

---

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis par les CES suivants :

- Comité d'experts spécialisé « expertise en vue de la fixation de valeurs limites à agents chimiques en milieu professionnel » (CES VLEP) (2010 – 2013)

### Président

M. François PAQUET – Coordinateur de recherches (IRSN). Compétences : radiotoxicologie, dosimétrie interne, toxicocinétique, évaluation des risques.

### Membres

M. Billy AMZAL – Vice-président du groupe LASER. Compétences : évaluation des risques sanitaires, modélisation.

M. Marc BARIL – Professeur associé à l'université de Montréal. Compétences : Toxicologie, chimie.

Mme Michèle Berode – Chimiste PhD (IST). Compétences : IBE, métrologie des polluants ; a démissionné le 25/02/2013.

M. Stéphane BINET – Chef du laboratoire de cancérogenèse et toxicité du développement adjoint au chef du département Polluants et santé (INRS). Compétences : toxicologie.

M. Patrick BRETON - Expert Adjoint au chef de la division « Risques » / Ingénieur de recherche Ministère de la Défense. Compétence : Toxicologie.

Mme Fatiha ELGHASSI – Professionnelle scientifique (IARC). Compétences : biochimie, évaluation de la cancérogenèse.

M. Michel FALCY – Adjoint au chef de département « Etudes et assistance médicale et responsable du pôle toxicologie » (INRS). Compétences : médecine du travail, toxicologie.

M. Luc FONTANA – médecin PU/PH (CHU Saint-Etienne) – Compétences : médecine et santé au travail, toxicologie.

Mme Yuriko IWATSUBO – Médecin épidémiologiste (InVS). Compétences : épidémiologie des risques professionnels.

M. Jean-Pierre LEPOITTEVIN - Professeur des universités et directeur du Laboratoire de Dermatochimie (Université de Strasbourg). Compétences : dermatochimie, allergies, immunologie.

M. Renaud PERSOONS – Praticien hospitalier (CHU Grenoble). Compétences : toxicologie, IBE.

Mme Florence PILLIERE – Conseiller médical en toxicologie (INRS). Compétences : médecine du travail, toxicologie, IBE.

M. David VERNEZ – Chef de groupe et co-directeur (ad interim) (IST). Compétences : Hygiène industrielle

M. Claude VIAU – Professeur et directeur de l'institut de recherche en santé publique de l'Université de Montréal. Compétences : Toxicologie, IBE, Hygiène industrielle, métrologie des polluants.

M. Raymond VINCENT – Chargé de mission - Direction Déléguée aux Applications (INRS). Compétences : chimiste, métrologie des polluants.

M. Adolf VYSKOCIL – Professeur (Université de Montréal). Compétences : toxicologie, IBE, hygiène industrielle.

- Comité d'experts spécialisé « expertise en vue de la fixation de valeurs limites à agents chimiques en milieu professionnel » (CES VLEP) (2014 – 2017)

### Président

M. Claude VIAU – Professeur associé à l'université de Montréal – Compétences : Toxicologie, IBE, hygiène industrielle, métrologie des polluants

### Membres

M. Marc BARIL – Professeur associé à l'université de Montréal – Compétences : Toxicologie, chimie ; également membre du CES « caractérisation des dangers des substances et valeurs toxicologiques de référence ».

M. Stéphane BINET – Chef du laboratoire de cancérogenèse et toxicité du développement ; adjoint au chef du département Polluants et santé (INRS) - Compétences : toxicologie.

Mme Irina CANU – Epidémiologiste (InVS) - Compétences : Epidémiologie, toxicologie.

Mme Anne CHEVALIER – Retraitée – Compétences : Epidémiologie ; également membre du CES « caractérisation des dangers des substances et valeurs toxicologiques de référence ».

Mme Carole DUPLAINE – Toxicologue (Sud Loire santé au travail) habilitée intervenant en prévention des risques professionnels (IPRP) - Compétences : toxicologie.

Mme Perrine HOET – Professeur à l'université catholique de Louvain – Compétences : médecine, toxicologie industrielle.

Mme Yuriko IWATSUBO – Médecin épidémiologiste (InVS) – Compétences : épidémiologie des risques professionnels, médecine.

Mme Anne MAITRE – Professeur des universités – praticien hospitalier (PU-PH) (CHU Grenoble) ; Responsable de l'équipe « Environnement et prédiction de la santé des populations » (faculté de médecine de Grenoble) – Compétences : médecine, toxicologie, IBE, métrologie des polluants, hygiène industrielle.

M. Fabrizio PARISELLI – Toxicologue (CNRS) - Compétences : toxicologie ; également membre du CES « Substances chimiques visées par les règlements REACH et CLP ».

Mme Florence PILLIERE – Conseiller médical en toxicologie (INRS) – Compétences : médecine du travail, toxicologie, IBE.

M. Frank RIVIERE – Médecin du travail (Service de santé des armées) – Compétences : médecine du travail, toxicologie.

M. Davy ROUSSET : Responsable du laboratoire d'analyse inorganique et de caractérisation des aérosols (INRS) – Compétences : métrologie des polluants dans l'air des lieux de travail, chimie inorganique.

M. David VERNEZ – Co-directeur de l'Institut universitaire romand de santé au travail (IURST) (ad interim) – Compétences : Hygiène industrielle.

M. Raymond VINCENT – Chargé de mission - Direction Déléguée aux Applications (INRS). Compétences : chimiste, métrologie des polluants.

M. Adolf VYSKOCIL – Professeur associé à l'université de Montréal – Compétences : toxicologie, IBE, hygiène industrielle.



Les travaux, objets du présent rapport ont été adoptés par le CES suivant :

- Comité d'experts spécialisé « valeurs sanitaires référence » (CES VSR) (2017-2020)

### **Président**

M. Fabrice MICHIELS – Médecin du travail / toxicologue à l'Association Interentreprises pour la Santé au Travail 19 – Compétences : Médecine du travail, toxicologie

### **Membres**

M. Marc BARIL – Professeur associé à l'Université de Montréal – Compétences : Chimiste toxicologue, hygiène industrielle

M. Stéphane BINET – Pharmacien toxicologue à la direction scientifique à l'INRS – Compétences : toxicologie générale et industrielle

Mme Michèle BISSON – Responsable d'étude à l'INERIS – Compétences : Pharmacien toxicologue, toxicologie générale

Mme Anne CHEVALIER – Retraitée de l'Institut de Veille Sanitaire - Compétences : épidémiologie

Mme Fatiha EL-GHISSASSI – Scientifique, Section des Monographies du CIRC (IMO) Centre International de Recherche sur le Cancer - Compétences : biochimie spécialiste en cancérogénèse et génotoxicité

Mme Mounia EL-YAMANI – Responsable d'unité à Santé publique France – Compétences : biochimie, toxicologie

M. Claude EMOND – Professeur adjoint de clinique à l'Université de Montréal – Compétences : Toxicologie, modèle PBPK, toxicocinétique, nanotoxicologie, perturbateurs endocriniens

M. Rex FITZGERALD – Expert en toxicologie réglementaire au Centre Suisse de Toxicologie Humaine Appliquée – Compétences : toxicologie de la reproduction, neurotoxicité du développement, évaluation des risques humains

M. Robert GARNIER – Médecin toxicologue, Centre antipoison de Paris - Compétences : Toxicologie médicale, médecine du travail

Mme Perrine HOET – Professeur à l'Université Catholique de Louvain. IREC – Compétences : médecine, toxicologie industrielle et environnementale

Mme Yuriko IWATSUBO – Médecin épidémiologiste à Santé publique France – Compétences : épidémiologie des risques professionnels

Mme Cécile KAIRO – Évaluateur de risques sanitaires à Santé publique France - Compétences : Docteur en pharmacie spécialisé en environnement, toxicologie générale et évaluation des risques

Mme Laila LAKHAL – Ingénieur INRA unité Toxalim - Compétences : Toxicologie, métabolisme, perturbateurs endocriniens

M. Frédéric LIRUSSI – Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier (MCU-PH) à l'UFR des Sciences de Santé & CHU de Dijon - Compétences : Toxicologie Clinique, Toxicologie analytique, Immunité Innée, Reprotoxicité

Mme Anne MAITRE – Professeur des Universités – Praticien Hospitalier (PU-PH) au Laboratoire de Toxicologie Professionnelle et Environnementale, CHU de Grenoble ; Responsable de l'équipe « Environnement et prédiction de la santé des populations », Laboratoire TIMC, Université Grenoble Alpes – Compétences : médecine, toxicologie, IBE, métrologie des polluants, hygiène industrielle

Mme Florence PILLIERE – Conseiller médical en toxicologie à l'INRS – Compétences : médecine du travail, toxicologie, IBE

Mme Anne PLATEL – Maître de conférences à la Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lille – Laboratoire de Toxicologie Génétique, Institut Pasteur de Lille - Compétences : Toxicologie, Génotoxicité, QSAR

M. Henri SCHROEDER – Enseignant chercheur à la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Lorraine à Vandoeuvre-les-Nancy – Laboratoire CALBINOTOX, EA 7488 - Pharmacien neurobiologiste - Compétences : Neurotoxicité, polluants environne taux, comportement animal, développement cérébral, exposition périnatale

M. Olivier SORG – Chef de groupe de recherche à l'Université de Genève - Compétences : Docteur es science en biochimie, toxicologie expérimentale, dermatotoxicologie

M. Jérôme THIREAU – Chargé de recherche au CNRS - Compétences : Docteur es science, physiologie animale, biologie cellulaire, cardiotoxicité

M. Claude VIAU – Professeur associé à l'université de Montréal – Compétences : Toxicologie, IBE, hygiène industrielle, métrologie des polluants

M. Raymond VINCENT - Retraité (anciennement Chargé de mission à la Direction Déléguée aux Applications (INRS)) - Compétences : chimie, métrologie des polluants, évaluation des risques professionnels

---

## **PARTICIPATION ANSES**

---

### **Coordination scientifique**

Mme Dominique Brunet

Mme Marie-Laure Cointot<sup>1</sup>

Mme Mounia El Yamani<sup>2</sup>

### **Contribution scientifique**

Mme Nathalie Duclovel-Pame<sup>3</sup>

Mme Farida Lamkarkach

Mme Amandine Paillat

Mme Fatoumata Sissoko

### **Secrétariat administratif**

Mme Séverine BOIX

---

<sup>1</sup> Départ de l'Anses en janvier 2015

<sup>2</sup> Départ de l'Anses en janvier 2013

<sup>3</sup> Départ de l'Anses en septembre 2014



## SOMMAIRE

<b>Présentation des intervenants</b> .....	<b>3</b>
<b>Expertise collective : synthèse de l'argumentaire et conclusions</b> .....	<b>12</b>
Rapport d'expertise collective .....	23
<b>Sigles et abréviations</b> .....	<b>24</b>
<b>Préambule</b> .....	<b>25</b>
Partie A – Rapport d'évaluation des effets sur la santé.....	27
1 Informations générales.....	28
<b>1.1 Identification</b> .....	<b>28</b>
<b>1.2 Propriétés physico-chimiques</b> .....	<b>28</b>
<b>1.3 Utilisations professionnelles</b> .....	<b>28</b>
2 Résumé de la synthèse du SCOEL .....	30
3 Cinétique et métabolisme .....	31
4 Toxicité générale.....	32
<b>4.1 Toxicité aiguë et subaiguë</b> .....	<b>32</b>
4.1.1 Toxicité chez Homme .....	32
4.1.2 Toxicité chez l'animal.....	32
<b>4.2 Toxicité subchronique et chronique</b> .....	<b>36</b>
<b>4.3 Génotoxicité et cancérogénicité</b> .....	<b>38</b>
<b>4.4 Toxicité sur la reproduction et le développement</b> .....	<b>38</b>
5 Construction des VLEP et recommandations .....	39
<b>5.1 Construction de la VLEP</b> .....	<b>39</b>
<b>5.2 Construction de la VLCT</b> .....	<b>40</b>
<b>5.3 Mention « peau »</b> .....	<b>40</b>
<b>5.4 Mention « bruit »</b> .....	<b>40</b>
6 Conclusions.....	41
7 Bibliographie .....	42
Partie B – Rapport d'évaluation des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur les lieux de travail .....	44

1	Présentation et discussion des méthodes de mesure du trifluorure de bore dans l'air des lieux de travail.....	45
<b>1.1</b>	<b>Recensement et classement des méthodes de mesure.....</b>	<b>45</b>
<b>1.2</b>	<b>Discussion des méthodes de mesure.....</b>	<b>45</b>
1.2.1	Méthode 1 : Prélèvement par pompage dans un barboteur contenant NH <sub>4</sub> F dosage par électrode spécifique.....	45
1.2.2	Méthode 2 : Détecteur de gaz.....	47
2	Conclusions et recommandations.....	49
3	Bibliographie.....	50
	ANNEXES.....	51
	<b>Annexe 1 : Partie A : les seuils de toxicité aiguë.....</b>	<b>52</b>
	<b>Annexe 2 : Partie A : Risques liés au fluor et aux borates.....</b>	<b>54</b>
	<b>Annexe 3 : Partie B - Support technique.....</b>	<b>55</b>
	<b>Annexe 4 : Consultation publique.....</b>	<b>61</b>
	<b>Annexe 5 - Suivi des actualisations du rapport.....</b>	<b>62</b>

## Expertise collective : synthèse de l'argumentaire et conclusions

**Relatives à « l'expertise en vue de la fixation de valeurs limites d'exposition à des agents chimiques en milieu professionnel »**

**Portant sur l'évaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail pour le trifluorure de bore (N°CAS 7637-07-2)**

---

Ce document synthétise les travaux des comités d'experts spécialisés « valeurs sanitaires de référence » (CES VSR) et « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites à des agents chimiques en milieu professionnel » (CES VLEP), du groupe de travail « effets sanitaires » et du groupe de travail « métrologie ».

---

### Présentation de la question posée

L'Afsset, devenue Anses au 1<sup>er</sup> juillet 2010, a été saisie le 12 juin 2007 par la direction générale du travail afin de mener les travaux d'expertise nécessaires à l'élaboration de recommandations quant à la conduite à tenir en cas d'existence de profils d'exposition particuliers tels que ceux sous forme de pics.

Un premier rapport de l'Afsset a permis d'émettre des recommandations sur la conduite à tenir en cas d'existence de VLEP-8h sans valeur limite court terme (VLCT) (Afsset, 2009).

Un second rapport traitait le second volet de la question, c'est-à-dire le cas des substances possédant une valeur limite court terme (VLCT-15min) mais pas de VLEP-8h (Anses, 2010). Il recommandait entre autre d'étudier les 36 substances françaises disposant en droit du travail d'une valeur limite court terme sans VLEP-8h pour proposer des valeurs sanitaires issues de la littérature scientifique la plus récente. C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent rapport relatif au trifluorure de bore.

Actuellement, la France dispose pour le trifluorure de bore d'une valeur limite d'exposition indicative sur 15 minutes de 3 mg.m<sup>-3</sup> (1 ppm). Elle a été fixée par la circulaire du Ministère du Travail du 13 mai 1987.

### Contexte scientifique

Le dispositif français d'établissement des VLEP comporte trois phases clairement distinctes :

- une phase d'expertise scientifique indépendante (seule phase confiée à l'agence) ;
- une phase d'établissement d'un projet réglementaire de valeur limite contraignante ou indicative par le ministère chargé du travail ;
- une phase de concertation sociale lors de la présentation du projet réglementaire au sein du Conseil d'Orientation sur les Conditions de Travail (COCT). L'objectif de cette phase étant de discuter de l'effectivité des valeurs limites et de déterminer d'éventuels délais d'application, en fonction de problèmes de faisabilité technico-économique.

L'organisation de la phase d'expertise scientifique nécessaire à la fixation des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) a été confiée à l'Afsset dans le cadre du plan santé au travail 2005-2009 (PST), puis à l'Anses suite à la fusion de l'Afsset et de l'Afssa en 2010.

Les VLEP telles que recommandées par le CES, sont des niveaux de concentration en polluants dans l'atmosphère des lieux de travail à ne pas dépasser sur une période de référence déterminée et en deçà desquels le risque d'altération de la santé est négligeable. 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 âgées.

Ces niveaux de concentrations sont déterminés par les experts du CES à partir des informations disponibles dans des études épidémiologiques, cliniques, de toxicologie animale, etc. L'identification de ces concentrations sécuritaires pour la santé humaine nécessitent généralement d'appliquer des facteurs d'ajustement aux valeurs identifiées directement par les études. Ces facteurs permettent de prendre en compte un certain nombre d'éléments d'incertitude inhérents à la démarche d'extrapolation conduite dans le cadre d'une évaluation des effets sanitaires des substances chimiques sur l'Homme.

Trois types de valeurs sont recommandées par le CES :

- valeur limite d'exposition 8 heures : il s'agit de 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'un poste de 8 heures. Dans l'état actuel des connaissances scientifiques (en toxicologie, médecine, épidémiologie, etc.), la VLEP-8h est censée protégée 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 ;
- valeur limite d'exposition à court terme (VLCT) : il s'agit de 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 travailleurs 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, tels que des phénomènes d'irritation), dus à des pics d'exposition ;
- valeur plafond : il s'agit de la 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.

Ces trois types de valeurs sont exprimés :

- soit en  $\text{mg.m}^{-3}$ , c'est-à-dire en milligrammes d'agent chimique par mètre cube d'air et en ppm (parties par million), c'est-à-dire en centimètres cube d'agent chimique par mètre cube d'air, pour les gaz et les vapeurs ;
- soit en  $\text{mg.m}^{-3}$  uniquement, pour les aérosols liquides et solides ;
- soit en  $\text{f.cm}^{-3}$ , c'est-à-dire en fibres par  $\text{cm}^3$  pour les matériaux fibreux.

La valeur de la VLEP-8h peut être dépassée sur de courtes périodes pendant la journée de travail à condition toutefois :

- que la moyenne pondérée des valeurs sur l'ensemble de la journée de travail ne soit pas dépassée ;
- de ne pas dépasser la valeur de la VLCT si elle existe.

En plus des VLEP, le CES évalue la nécessité d'attribuer ou non une mention « peau », lorsqu'une pénétration cutanée significative a été identifiée (Anses, 2017). Cette mention indique la nécessité de prendre en compte la voie d'exposition cutanée dans l'évaluation de l'exposition et, le cas échéant, de mettre en œuvre des mesures de prévention appropriées (telles que le port de gants de protection). En effet, la pénétration cutanée des substances n'est pas prise en compte pour la détermination des niveaux de valeurs limites atmosphériques et peut donc potentiellement entraîner des effets sanitaires indépendamment du respect de ces dernières.

Le CES évalue également la nécessité d'attribuer ou non une mention « bruit » signalant un risque d'atteinte auditive en cas de co-exposition au bruit et à la substance en dessous des limites d'exposition recommandées afin que les préventeurs mettent en place des mesures appropriées (collective, individuelle et médicale) (Anses, 2017).

Le CES évalue également les méthodes de référence applicables pour la mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail. La qualité de ces méthodes et leur applicabilité à la mesure des expositions aux fins de comparaison à une VLEP ont été évaluées notamment sur leur conformité aux exigences de performance de la NF-EN 482 et de leur niveau de validation.

## Organisation de l'expertise

L'Anses a confié au comité d'experts spécialisé (CES) « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites à des agents chimiques en milieu professionnel » (CES « VLEP ») l'instruction de cette saisine. Ce dernier a mandaté :

- le groupe de travail « effets sanitaires » pour la réalisation des travaux d'expertise relatifs aux effets sanitaires ;
- le groupe de travail « métrologie » pour l'évaluation des méthodes de mesures atmosphériques dans l'air des lieux du travail.

Plusieurs agents de l'Anses ont contribué à ces travaux et se sont chargés de la coordination scientifique des différents groupes d'experts.

Les travaux d'expertise ont été soumis régulièrement au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Le rapport produit tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux d'expertise sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires. Ils ont été réalisés dans le respect de la norme NF X 50-110 « qualité en expertise ».

## Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont rendues publiques *via* le site internet de l'Anses ([www.anses.fr](http://www.anses.fr)).

## Description de la méthode

Pour l'évaluation des effets sur la santé :

Un rapport de synthèse a été élaboré par le GT « effets sanitaires » et soumis au CES VLEP qui l'a commenté.

Le rapport de synthèse est issu d'éléments bibliographiques prenant en compte la littérature scientifique parue sur cette substance jusqu'en 2013. La recherche bibliographique a été effectuée dans les bases de données suivantes : Medline et Toxline. Les articles source cités en référence ont été réévalués à chaque fois que le CES lui en a fait la demande.

#### Pour l'évaluation des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail :

Un rapport de synthèse a été élaboré par le GT « métrologie » et soumis au CES VLEP qui l'a commenté.

Le rapport de synthèse présente les différents protocoles de mesure du trifluorure de bore dans l'air des lieux de travail recensés et regroupés en fonction des méthodes mises en œuvre. Ces dernières ont ensuite été évaluées et classées au regard des exigences de performances indiquées notamment dans la norme NF EN 482 : « Atmosphère des lieux de travail – Exigences générales concernant les performances des modes opératoires de mesurage des agents chimiques » et des critères de décision détaillés dans le rapport méthodologie (Anses, 2014).

La liste des principales sources consultées est précisée dans le rapport méthodologie (Anses, 2014).

Le classement de ces méthodes est réalisé selon la manière suivante :

- catégorie 1A : la méthode est reconnue et validée (l'ensemble des critères de performance de la norme NF-EN 482 sont satisfaits) ;
- catégorie 1B : la méthode est partiellement validée (les critères essentiels de performance de la norme NF EN 482 sont satisfaits) ;
- catégorie 2 : la méthode est indicative (des critères essentiels de validation ne sont pas suffisamment explicités) ;
- catégorie 3 : la méthode n'est pas recommandée (des critères essentiels de validation sont absents ou inappropriés).

Une étude comparative et détaillée des méthodes classées en catégorie 1A, 1B et 2 est réalisée au regard des différentes données de validation et de la faisabilité technique, de manière à recommander la ou les méthodes les plus appropriées pour la mesure des concentrations aux fins de comparaison aux VLEP.

Le rapport ainsi que la synthèse et les conclusions de l'expertise collective ont été adoptés par le CES « Expertise en vue de la fixation de valeurs limites à des agents chimiques en milieu professionnel » (mandat 2014-2017) lors de sa séance du 10 mars 2015.

Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 22/09/2017 au 22/11/2017. Les personnes ou organismes ayant contribué à la consultation publique sont listés en annexe 4.

Les commentaires reçus ont été examinés et discutés par le CES « Valeurs sanitaires de référence » (VSR) (mandat 2017-2020) qui a adopté cette version finalisée le 8 mars 2018.

## **Résultat de l'expertise collective concernant les effets sur la santé**

Ce rapport traite du gaz non combustible, commercialisé sous le nom de trifluorure de bore (BF<sub>3</sub>). Il est à noter que le trifluorure de bore dihydrate (CAS n°13319-75-0) est également présent sur le marché.

## Données de toxicocinétique

Rusch et al. (1986) ont rapporté que des rats exposés dans le cadre d'une étude d'inhalation chronique au trifluorure de bore dihydrate<sup>4</sup> présentaient une diminution de l'excrétion urinaire du calcium directement reliée aux concentrations administrées et une augmentation de la concentration urinaire de fluor. Moins de la moitié du BF<sub>3</sub> se dissocie, l'autre moitié étant excrétée de manière inchangée. La concentration osseuse de fluor était augmentée et ce, même deux semaines après la fin de l'exposition. Les auteurs concluent que le dépôt osseux est relié aux concentrations sériques du fluor.

## Données de toxicité

### ***Toxicité générale chez l'Homme***

#### *Toxicité aiguë*

Chez l'Homme, aucune donnée de mortalité suite à une exposition au BF<sub>3</sub> n'a été identifiée dans la littérature.

Dans une série d'études expérimentales par inhalation réalisées par Torkelson et al. (1961), les personnels manipulant les animaux ont perçu une odeur plaisante plutôt agréable lors de l'exposition des animaux à une concentration de 1,5 ppm (4 mg.m<sup>-3</sup>).

Un seul cas d'intoxication humaine a été rapporté dans la littérature en 1988 par Stewart et Waisberg. Un ferrailleur, son jeune fils et son épouse enceinte ont été exposés au BF<sub>3</sub> dans leur garage. Admis à l'hôpital, une hypoxémie avec une faible acidose a été notée chez les trois sujets. Les auteurs n'ont pas rapporté de séquelles. Aucune autre information concernant la durée, la concentration ou les circonstances d'exposition de ces individus n'est mentionnée dans la publication.

#### *Toxicité subchronique et chronique*

Chez l'Homme, aucune donnée relative à des expositions chroniques ou subchroniques n'a été identifiée dans la littérature.

### ***Toxicité générale chez l'animal***

#### *Toxicité aiguë et subaiguë*

Plusieurs études de toxicité aiguë par inhalation chez l'animal ont été réalisées au cours des cinquante dernières années.

Les études de Rusch et al. sont les plus récentes, réalisées selon les standards actuels.

Dans l'étude de Rusch et al. (1986), 4 groupes de 5 rats mâles et 5 rats femelles Fischer F344, ont été exposés à des aérosols liquides de BF<sub>3</sub> dihydrate à des concentrations de 1 010, 1 220, 1 320 ou 1 540 mg.m<sup>-3</sup> pendant quatre heures<sup>5</sup>.

Les auteurs ont rapporté une production excessive de larmes, des sécrétions orales et nasales ainsi que des râles secs et humides. Les animaux dans le groupe le plus fortement exposé étaient

---

<sup>4</sup> Concentrations analytiques de 2, 6 ou 17 mg.m<sup>-3</sup>, 6h/j, 5j/sem pendant 13 semaines

<sup>5</sup> Concentrations exprimées en BF<sub>3</sub>



haletants. Quatre heures après l'exposition, presque tous les animaux ont présenté des signes de détresse respiratoire. Six jours après l'exposition, les rats survivants se sont rétablis. Une diminution du poids corporel, ainsi qu'une augmentation du poids des reins et du foie ont également été observées.

En 2008, Rusch et ses collaborateurs ont réalisé une seconde étude afin d'examiner le potentiel irritant du BF<sub>3</sub>. Des groupes de 10 rats mâles et 10 femelles Sprague-Dawley ont été exposés à du trifluorure de bore dihydrate pendant 4 heures, à des concentrations (analytiques) de 8,53 ; 24,6 ou 74,4 mg.m<sup>-3</sup>.

Aucun effet sur le poids corporel ou la prise de poids n'a été observé chez les animaux, quelle que soit la concentration d'exposition, de même que sur la consommation en eau. Le poids des reins et des poumons étaient normaux. En revanche, des modifications de l'histologie du larynx, témoins de l'irritation respiratoire, ont été notées (nécroses du cartilage, hyperplasie de l'épithélium, des hémorragies et infiltrats de cellules inflammatoires<sup>6</sup>). Ces effets, étaient observés uniquement à 74,4 mg.m<sup>-3</sup> et plus prononcés dans le sous-groupe sacrifié au bout de 24 heures. Dans le sous-groupe sacrifié au bout de 14 jours, seuls deux rats (1 mâle et 1 femelle) ont présenté une nécrose du cartilage. Les auteurs de l'étude indiquent que la concentration de 24,6 mg.m<sup>-3</sup> peut être considérée comme un NOAEL<sup>7</sup>. Ils ajoutent que ces résultats sont en accord avec ceux d'une étude menée quelques années plus tôt (Rusch et al. 1986), dans laquelle, après exposition de rats par inhalation au BF<sub>3</sub> pendant 13 semaines, aucune irritation du tractus respiratoire n'a été observée à 17 mg.m<sup>-3</sup>.

Dans le cadre d'une étude de toxicité subaiguë, Rusch et al. (1986) ont exposé quatre groupes de 10 rats F344 (5 mâles, 5 femelles) à un aérosol liquide de dihydrate de BF<sub>3</sub> à des concentrations (exprimées en équivalents BF<sub>3</sub>)<sup>8</sup> de 24 ou 66 mg.m<sup>-3</sup>, 6 h/j pendant 9 jours (5 jours pendant la première semaine et 4 jours pendant la seconde) ou 180 mg.m<sup>-3</sup>, 6 h/j pendant 5 jours. Tous les rats exposés à 180 mg.m<sup>-3</sup> sont morts avant la fin du 6<sup>ème</sup> jour d'exposition. Bien qu'aucun décès n'ait été noté chez les rats exposés à 24 ou 66 mg.m<sup>-3</sup>, ceux-ci présentaient des signes de détresse respiratoire et d'irritation semblables à ceux observés dans l'étude de toxicité aiguë. Une nécrose et une pycnose de l'épithélium du tubule proximal ont été mises en évidence chez les animaux exposés à 180 mg.m<sup>-3</sup>.

### Toxicité subchronique et chronique

En 1961, Torkelson et ses collaborateurs ont conduit une série d'études de toxicité chronique en exposant des cobayes 7 h/j et 5 j/sem. Dans une première expérience, 10 cobayes mâles ont été exposés à une concentration (nominale)<sup>9</sup> de 35 mg.m<sup>-3</sup> de BF<sub>3</sub> sur une période de 62 à 65 jours. Les auteurs ont noté que les animaux avaient des difficultés à respirer et semblaient asthmatiques. Sept animaux sur dix sont décédés suite à la 19<sup>ème</sup> exposition, vraisemblablement à cause de l'irritation des voies respiratoires et de l'asphyxie. Dans une seconde expérience, 10 cobayes mâles ont été exposés à une concentration (nominale) de 21 mg.m<sup>-3</sup> de BF<sub>3</sub> pendant 6 semaines. Quatre animaux ont développé ce qui semblait être des crises asthmatiques et sont décédés au cours de la 2<sup>ème</sup>, 6<sup>ème</sup>, 7<sup>ème</sup> ou 11<sup>ème</sup> exposition. Les 6 animaux survivants ont présenté des difficultés respiratoires et sont décédés accidentellement lors de la 29<sup>ème</sup> exposition.

Dans le cadre d'une étude subchronique, Rusch et al. (1986) ont exposé quatre groupes de 40 rats F344 (20 mâles, 20 femelles) à des aérosols liquides de BF<sub>3</sub> 6 h/j, 5 j/sem pendant 13 semaines à des concentrations (analytiques) de 0, 2, 6 ou 17 mg.m<sup>-3</sup> de BF<sub>3</sub>. Les animaux

<sup>6</sup> Nombre d'animaux impliqués non communiqué

<sup>7</sup> Dose maximale sans effet néfaste observé (no observed adverse effect level en anglais)

<sup>8</sup> Les concentrations étaient exprimées en BF<sub>3</sub>

<sup>9</sup> Les concentrations analytiques n'étaient pas renseignées



exposés aux fortes concentrations ont présenté des dépôts rouges autour du nez et de la bouche, une production lacrymale importante et des râles secs. D'après le document US EPA (2013), dans le groupe exposé à  $2 \text{ mg.m}^{-3}$ , une irritation sous la forme de production lacrymale importante a été notée chez 5 animaux à partir de la 10<sup>ème</sup> semaine d'exposition. Dans le groupe exposé à  $6 \text{ mg.m}^{-3}$  le même phénomène a été noté mais chez 16 animaux à partir de la 2<sup>ème</sup> semaine d'exposition. Selon Rusch et al. (1986), dans les groupes exposés aux faibles concentrations, une irritation du tractus respiratoire qualifiée de « minime » est rapportée. Toutefois cette irritation du tractus respiratoire n'a pas été objectivée par l'examen histopathologique (pas de modification au niveau des coupes de sections de poumons, parois nasales et autres tissus du tractus respiratoire).

Selon les auteurs, des nécroses de l'épithélium tubulaire rénal observées chez 2 rats exposés à  $17 \text{ mg.m}^{-3}$  sont les signes cliniques les plus significatifs. Sur la base de cette étude, Rusch et al. ont estimé qu'une exposition des rats à  $6 \text{ mg.m}^{-3}$  n'induit pas d'effet délétère, en dépit de l'observation d'une augmentation en fluor sanguin.

En 1961, Torkelson et ses collaborateurs, dans une troisième expérience similaire à celles décrites précédemment, ont exposé dix cobayes mâles et dix femelles à une concentration (nominale)<sup>9</sup> de  $8 \text{ mg.m}^{-3}$  (7h/j et 5 j/sem) durant 26 semaines. Aucun effet lié à l'exposition n'a été constaté sur le cœur, les poumons, le foie, le thymus, les testicules, les glandes surrénales et le pancréas.

### ***Cancérogénicité et génotoxicité***

Il n'a pas été retrouvé de données dans la littérature.

### ***Toxicité pour la reproduction***

Il n'a pas été retrouvé de données dans la littérature.

### **Construction des VLEP**

Les données qui permettraient d'expliquer le mécanisme par lequel le  $\text{BF}_3$  exerce son action toxique sont inexistantes.

### ***Valeur limite d'exposition professionnelle sur 8h***

Au regard du profil toxicologique, le  $\text{BF}_3$  peut induire des effets systémiques que seule une VLEP-8h peut limiter.

La nécrose de l'épithélium tubulaire rénal chez des rats telle que rapportée dans l'étude de Rusch et al. (1986) justifie la mise en place d'une VLEP-8 heures.

Cette étude a été considérée comme l'étude clé pour construire une VLEP ; l'effet critique retenu étant la nécrose de l'épithélium tubulaire rénal<sup>10</sup>. Selon Rusch, contacté lors de la rédaction de ce rapport, la concentration de  $6 \text{ mg.m}^{-3}$  peut être considérée comme un NOAEL. En outre, l'irritation du tractus respiratoire observé chez les animaux exposés à 2 et  $6 \text{ mg.m}^{-3}$  n'a pas été objectivée par l'examen histopathologique.

Ainsi, partant du NOAEL de  $6 \text{ mg.m}^{-3}$ , il est proposé d'appliquer les facteurs d'ajustement suivants :

---

<sup>10</sup> Seule la néphropathie dite « hyaline droplet » néphropathie associée à une accumulation de gouttelettes de protéines éosinophiles dans le tubule proximale est spécifique au rat et n'est pas retrouvée chez l'Homme (Hard et al., 2009 ; Green et al., 2003)

- un facteur d'ajustement de 3 pour l'extrapolation d'une étude subchronique à un effet chronique ;
- un facteur d'ajustement de 3 pour tenir compte de la variabilité interindividuelle (Wolf, 1991) ;
- un facteur d'ajustement de 3 pour l'extrapolation d'une étude menée chez le rat à l'Homme (variation inter-espèces).

Ainsi, la VLEP-8h calculée est de  $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$  (6/27) soit environ 0,1 ppm.

Considérant l'exposition de la population aux fluorures et aux borates, notamment via l'alimentation, le CES a souhaité évaluer l'apport en fluorure et borates additionnel qu'une exposition professionnelle au  $\text{BF}_3$ , selon la valeur recommandée, était susceptible de générer. Il ressort de cette évaluation que l'apport journalier total (en fluorures et borates) reste inférieur aux recommandations de l'EFSA.

Valeur limite court terme sur 15 minutes

L'étude sur 4 heures de Rusch et al. (2008) permet d'identifier un NOAEL de  $24,6 \text{ mg.m}^{-3}$  pour des effets aigus (irritation du tractus respiratoire supérieur).

L'équation de ten Berge permet d'ajuster ce NOAEL ( $24,6 \text{ mg.m}^{-3}$  sur 240 min) à une durée de 15 min. La valeur de  $n = 3$  proposée par l'OEHHA pour le trifluorure de bore (extrapolation des effets sanitaires d'une exposition de plus d'une heure à une exposition d'une heure) a été retenue. Le point de départ ajusté à une exposition de 15 minutes serait alors de  $62 \text{ mg.m}^{-3}$ .

Deux facteurs d'ajustement ont été retenus :

- un facteur d'ajustement de 3 pour tenir compte de la variabilité interindividuelle
- un facteur d'ajustement de 3 pour l'extrapolation d'une étude menée chez le rat à l'Homme (variation inter-espèces)

Ainsi, la VLCT-15 min recommandée est de  $7 \text{ mg.m}^{-3}$ , soit 2,5 ppm.

Mention « peau »

En l'absence de donnée quantitative permettant de calculer une absorption cutanée, la mention « peau » ne peut pas être attribuée pour le trifluorure de bore.

Mention « bruit »

En l'absence de données scientifiques sur l'effet ototoxique du trifluorure de bore, la mention « bruit » n'a pas été attribuée pour cette substance.

## Résultat de l'expertise collective concernant les méthodes de mesure atmosphériques dans les lieux de travail

Évaluation des méthodes de mesure de trifluorure de bore dans l'air des lieux de travail

Une seule méthode de mesure du trifluorure de bore dans l'air des lieux de travail a été recensée.

Celle-ci consiste en un prélèvement par absorption par barbotage dans une solution de fluorure d'ammonium puis analyse des ions fluoroborate formés  $\text{BF}_4^-$  par potentiométrie au moyen d'une électrode spécifique des ions fluoroborate  $\text{BF}_4^-$ .

Cette méthode est classée en catégorie 3 en raison de l'absence de données sur les conditions de conservation et de stockage des échantillons, sur l'incertitude de mesure et en raison du non-respect des exigences de la norme EN 482 pour les étendues de mesure accessibles.

Compte tenu du classement en catégorie 3 de la seule méthode de mesure recensée, une recherche d'appareil de mesure de la concentration en trifluorure de bore en continu a été effectuée.

La détection du trifluorure de bore par ces appareils est effectuée par une cellule électrochimique.

Les gammes de mesures indiquées semblent pouvoir permettre de mesurer la VLEP-8 h et la VLCT-15min recommandées par le CES VLEP. Cependant, les données, issues de brochures commerciales ou de manuels d'installation, sont très incomplètes. De plus, aucune information n'est disponible quant aux conditions des essais pour lesquels les valeurs indiquées ont été déterminées.

**Tableau 1 : Tableau récapitulatif des méthodes de mesurage du trifluorure de bore dans l'air des lieux de travail**

N°	Méthodes	Protocoles similaires
1	Prélèvement par absorption dans une solution de $\text{NH}_4\text{F}$ - analyse par potentiométrie (électrode spécifique)	OSHA <sup>11</sup> ID 216 SG : 1989
2	Détecteur de gaz (cellule électrochimique)	Selon le fournisseur

## Conclusions et recommandations

La méthode 1 répertoriée pour la mesure du trifluorure de bore (méthode de l'OSHA) présente des caractéristiques sur le prélèvement et l'analyse qui pourraient permettre la réalisation de mesures au niveau individuel.

Néanmoins, les informations présentées dans la méthode de l'OSHA sont insuffisantes. Les conditions de conservation et de stockage des échantillons avant analyse, la capacité de piégeage et l'incertitude de mesure n'ont notamment pas été étudiées. De plus, les étendues de mesure, pour les valeurs limites recommandées par le CES, qu'il est possible d'atteindre ne respectent pas les exigences de la norme NF EN 482.

C'est pourquoi la méthode proposée doit être considérée comme non adaptée et est classée en catégorie 3, que ce soit pour le suivi de la VLEP-8h ou pour la VLCT-15min recommandées par le CES.

En l'absence de retour des constructeurs et/ou distributeurs, la méthode 2 de mesure de l'exposition professionnelle au trifluorure de bore à l'aide d'un détecteur de gaz en temps réel a été classée en catégorie 3 par absence de données de validation.

<sup>11</sup> Occupational Safety and Health Agency

## Conclusions de l'expertise collective

Sur la base des données actuellement disponibles, le CES recommande de fixer une VLEP-8h pour le trifluorure de bore de  $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$  (soit environ 0,1 ppm). Cette recommandation vise à protéger de la survenue d'éventuels effets sur l'épithélium tubulaire rénal.

Le CES recommande également de fixer une VLCT-15 min de  $7 \text{ mg.m}^{-3}$  afin de protéger les travailleurs d'une éventuelle irritation du tractus respiratoire supérieur.

Faute de disposer de données quantitatives, aucune mention « peau » n'est attribuée.

En l'absence de données scientifiques sur l'effet ototoxique du trifluorure de bore, aucune mention « bruit » n'est attribuée.

En ce qui concerne l'évaluation des méthodes de mesure du trifluorure de bore sur les lieux de travail, la seule méthode répertoriée permettant des mesures individuelles est considérée comme non adaptée et est classée en catégorie 3 pour le suivi de la VLEP-8h et de la VLCT-15 min. La recherche de l'existence de méthodes de mesure en temps réel à l'aide de détecteurs de gaz conduit également à un classement en catégorie 3 pour les 2 types de valeurs. Il n'existe donc pas de méthode convenant pour le suivi des valeurs préconisées. Le CES préconise la mise au point d'une méthode de mesure d'exposition individuelle au trifluorure de bore validée pour le suivi et le contrôle des valeurs limites recommandées.



---

# Rapport d'expertise collective

---

## Sigles et abréviations

AEGL :Acute Exposure Guideline Levels

AIHA : American Industrial Hygiene Association

BF3 : trifluorure de bore

CES : Comité d'Experts Spécialisé

CL50 : concentration létale 50

COCT : Conseil d'Orientation sur les Conditions de Travail

EFSA : European Food Safety Authority

ERPG : Emergency Response Planning Guidelines

FA : facteur d'ajustement<sup>12</sup>

IC95% : intervalle de confiance à 95%

IDLH : Immediately Dangerous to Life or Health

Ineris : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health

NOAEL : dose maximale sans effet néfaste observé (no observed adverse effect level en anglais)

OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment

OSHA : Occupational Safety and Health Administration

ppm : parties par millions

PST : Plan Santé au Travail

SCOEL : Scientific Committee for Occupational Exposure Limits (comité scientifique en matière de limites d'exposition professionnelle à des agents chimiques en français)

US-EPA : United-States Environmental Protection Agency

VLCT : valeur limite court terme

VLEP : valeur limite d'exposition professionnelle

VME : valeur moyenne d'exposition

---

<sup>12</sup> Le terme « facteurs d'ajustement » peut également être retrouvé sous le terme facteurs de sécurité ou facteurs d'incertitude, ou facteur d'évaluation selon le domaine d'expertise. Ces différents termes peuvent être employés indifféremment dans d'autres documents de l'Anses. Ils recouvrent à la fois l'incertitude et la variabilité inhérente à l'extrapolation des données lors de l'élaboration de valeur de référence.

## Préambule

Le dispositif français d'établissement des VLEP comporte trois phases clairement distinctes :

- une phase d'expertise scientifique indépendante (seule phase confiée à l'agence) ;
- une phase d'établissement d'un projet réglementaire de valeur limite contraignante ou indicative par le ministère chargé du travail ;
- une phase de concertation sociale lors de la présentation du projet réglementaire au sein du Conseil d'Orientation sur les Conditions de Travail (COCT). L'objectif de cette phase étant de discuter de l'effectivité des valeurs limites et de déterminer d'éventuels délais d'application, fonction de problèmes de faisabilité technico-économique.

L'organisation de la phase d'expertise scientifique nécessaire à la fixation des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) a été confiée à l'Afsset dans le cadre du plan santé au travail 2005-2009 (PST), puis à l'Anses suite à la fusion de l'Afsset et de l'Afssa en 2010.

Les VLEP telles que recommandées par le CES, sont des niveaux de concentration en polluants dans l'atmosphère des lieux de travail à ne pas dépasser sur une période de référence déterminée et en deçà desquels le risque d'altération de la santé est négligeable. 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 âgées.

Ces niveaux de concentrations sont déterminés par les experts du CES à partir des informations disponibles dans des études épidémiologiques, cliniques ou de toxicologie animale. L'identification de ces concentrations sécuritaires pour la santé humaine nécessitent généralement d'appliquer des facteurs d'ajustement aux valeurs identifiées directement par les études. Ces facteurs permettent de prendre en compte un certain nombre d'éléments d'incertitude inhérents à la démarche d'extrapolation conduite dans le cadre d'une évaluation des effets sanitaires des substances chimiques sur l'Homme.

Trois types de valeurs sont recommandées par le CES :

- Valeur limite d'exposition 8 heures : il s'agit de 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'un poste de travail 8 heures. Dans l'état actuel des connaissances scientifiques (en toxicologie, médecine, épidémiologie, etc.), la VLEP-8h est censée protégée 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.
- Valeur limite d'exposition à court terme (VLCT) : il s'agit de 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 travailleurs 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, tels que des phénomènes d'irritation), dus à des pics d'exposition.
- Valeur plafond : il s'agit de la 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

Ces trois types de valeurs sont exprimés :



- soit en  $\text{mg.m}^{-3}$ , c'est-à-dire en milligrammes d'agent chimique par mètre cube d'air et en ppm (parties par million), c'est-à-dire en centimètres cube d'agent chimique par mètre cube d'air, pour les gaz et les vapeurs ;
- soit en  $\text{mg.m}^{-3}$  uniquement, pour les aérosols liquides et solides ;
- soit en  $\text{f.cm}^{-3}$ , c'est-à-dire en fibres par  $\text{cm}^3$  pour les matériaux fibreux.

La valeur de la VLEP-8h peut être dépassée sur de courtes périodes pendant la journée de travail à condition toutefois :

- que la moyenne pondérée des valeurs sur l'ensemble de la journée de travail ne soit pas dépassée ;
- de ne pas dépasser la valeur de la VLCT si elle existe.

En plus des VLEP, le CES évalue la nécessité d'attribuer ou non une mention « peau », lorsqu'une pénétration cutanée significative a été identifiée (Anses, 2014). Cette mention indique la nécessité de prendre en compte la voie d'exposition cutanée dans l'évaluation de l'exposition et, le cas échéant, de mettre en œuvre des mesures de prévention appropriées (telles que le port de gants de protection). En effet, la pénétration cutanée des substances n'est pas prise en compte pour la détermination des niveaux de valeurs limites atmosphériques et peut donc potentiellement entraîner des effets sanitaires indépendamment du respect de ces dernières.

Le CES évalue également la nécessité d'attribuer ou non une mention « bruit » signalant un risque d'atteinte auditive en cas de co-exposition au bruit et à la substance en dessous des limites d'exposition recommandées afin que les préventeurs mettent en place des mesures appropriées (collective, individuelle et médicale) (Anses, 2017).

Le CES évalue également les méthodes de référence applicables pour la mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail. La qualité de ces méthodes et leur applicabilité à la mesure des expositions aux fins de comparaison à une VLEP ont été évaluées notamment sur leur conformité aux exigences de performance de la NF-EN 482<sup>13</sup> et de leur niveau de validation. Suite à cette évaluation, les méthodes peuvent être classées en différentes catégories :

- catégorie 1A : méthode permettant la mesure d'une VLEP contraignante. La méthode est reconnue et validée (l'ensemble des critères de performance de la NF-EN 482 sont satisfaits) ;
- catégorie 1B : méthode permettant la mesure d'une VLEP contraignante sous conditions de préciser quelques points de la méthode (une grande majorité des critères de performance de la NF-EN 482 sont satisfaits) ;
- catégorie 2 : méthode permettant la mesure d'une VLEP indicative. Il manque des données pour que la méthode puisse être validée ;
- catégorie 3 : la méthode n'est pas recommandée et ne doit pas être utilisée à des fins de comparaison aux VLEP.

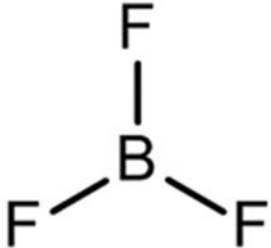
---

<sup>13</sup> NF EN 482 : 2012 : Exposition sur les lieux de travail – Exigences générales concernant les performances des procédures de mesure des agents chimiques.

## Partie A – Rapport d'évaluation des effets sur la santé

# 1 Informations générales

## 1.1 Identification

Nom :	Trifluorure de bore
Synonymes :	Fluorure de bore Borane Trifluoroborane
N° CAS :	7637-07-2
N° EINECS :	231-569-5
Formule brute :	$\text{BF}_3$ 

## 1.2 Propriétés physico-chimiques

Forme physique	Gaz
Masse molaire	67,81 g.mol <sup>-1</sup>
Odeur	Suffocante
T° ébullition	-101 °C (Haynes, 2011 cité dans US-EPA, 2013)
T° fusion	-126.8 °C (Haynes, 2011 cité dans US-EPA, 2013)
Tension de vapeur	4,8 x 10 <sup>6</sup> (T=13°C) et 171 x 10 <sup>-7</sup> (T=25°C)
Solubilité	332 g/100 g d'eau à 0 °C Forme de l'acide hydroxofluoroborique au contact de l'eau.
Densité/ gravité spécifique	1,57 à -100,4°C / 4 °C (liquide) / 3,07666 g/L (gaz à TPN)
Tension de surface	17,2 mN/m à -100°C

## 1.3 Utilisations professionnelles

La principale utilisation du trifluorure de bore met en jeu son caractère d'acide de Lewis, comme dans certaines synthèses industrielles utilisant la réaction de Friedel et Craft.

Le trifluorure de bore est utilisé comme dopant pour l'implantation d'ions dans les semi-conducteurs.

Il permet aussi d'initier des réactions de polymérisation de composés insaturés.

Il est utilisé également dans les détecteurs de neutrons lents, pour la protection du magnésium et de ses alliages contre l'oxydation notamment pour le soudage.

## 2 Résumé de la synthèse du SCOEL

Aucun document SCOEL n'est disponible lors de la rédaction de ce rapport.

### 3 Cinétique et métabolisme

Rusch et al. (1986) ont rapporté que des rats Fischer 344 (groupe de 20 mâles et 20 femelles) exposés dans le cadre d'une étude d'inhalation chronique au trifluorure de bore dihydraté (concentration analytique de 2, 6 ou 17 mg.m<sup>-3</sup> ; 6h/j, 5j/sem pendant 13 semaines) présentaient une diminution de l'excrétion urinaire du calcium corrélée aux concentrations administrées et une augmentation de l'excrétion urinaire de fluorures

Une analyse biochimique sanguine montrait une réduction des concentrations de protéines sériques et des globulines ainsi qu'une augmentation de fluor sérique. Chez un rat mâle, les auteurs ont noté un niveau élevé d'urée dans le sang (Rusch et al., 1986). Les auteurs concluent que la réduction de la calciurie serait liée à l'augmentation du fluor dans l'organisme. Afin d'identifier le métabolisme du trifluorure de bore, notamment sa dissociation en ions fluor, une comparaison du fluor urinaire excrété par rapport au fluor total administré a été effectuée. Il en ressort que moins de la moitié du BF<sub>3</sub> se dissocie, l'autre moitié étant excrétée sous forme inchangée. La concentration osseuse de fluor augmente et ce, même après la fin de l'exposition. Les auteurs concluent que le dépôt osseux est relié aux concentrations sériques du fluor (Rusch et al., 1986).

## 4 Toxicité générale

### 4.1 Toxicité aiguë et subaiguë

#### 4.1.1 Toxicité chez Homme

Il n'existe pas dans la littérature, d'information relative à une mortalité humaine suite à des expositions au BF<sub>3</sub>.

Dans une série d'études expérimentales par inhalation réalisées par Torkelson et al. (1961), le personnel manipulant les animaux a perçu une odeur plaisante plutôt agréable lors de l'exposition des animaux à une concentration de 1,5 ppm (4 mg.m<sup>-3</sup>).

Un seul cas d'intoxication humaine a été rapporté dans la littérature en 1988 par Stewart et Waisberg. Un ferrailleur a heurté la vanne d'une bouteille de gaz entraînant la libération d'un nuage de fumée contenant du trifluorure de bore dans son garage. Sa femme enceinte et son fils ont également été exposés à cette substance. Admis à l'hôpital, une hypoxémie avec une faible acidose a été notée chez les trois sujets. Les trois patients ont été traités par ventilation et administration d'oxygène. Le père et le fils ont récupéré dans un délai de 48 heures. La mère est restée inconsciente 36 heures et a récupéré mais beaucoup plus lentement. Aucune augmentation de fluorure urinaire n'a été notée dans les urines collectées sur une période de 24 heures. Les auteurs n'ont pas rapporté de séquelles. Aucune autre information concernant la durée, la concentration ou les circonstances d'exposition de la famille ne sont mentionnées dans la publication.

#### 4.1.2 Toxicité chez l'animal

Il existe plusieurs études de toxicité aiguë par inhalation chez l'animal réalisées au cours des cinquante dernières années. Le Tableau 2 présente les principaux résultats.

**Tableau 2 : Données de toxicité aiguës issues d'études expérimentales chez l'animal**

Espèce	Concentration/Durée d'exposition	Résultats	Observations	Référence
Rat Nombre = 5 de chaque sexe		CL <sub>50</sub> 1 heure Male = 1100 mg.m <sup>-3</sup> Femelle=1000 mg.m <sup>-3</sup>	Exposition dans des récipients de verre Analyse probit	Vernot et al. (1977)
Rat Nombre = 6	3900 mg.m <sup>-3</sup> 4h	4/6 rats ont survécu 4 jours	Concentration nominale L'autopsie n'a révélé qu'un épaississement des parois alvéolaires.	DuPont 1948 (cité dans US-EPA, 2013)
Rat Nombre = 6	2100 mg.m <sup>-3</sup> 5,5h	Un rat décédé à la plus forte concentration	BF <sub>3</sub> pureté inconnue Concentration nominale	Stockinger et Spiegl (1953 cité dans Ineris, 2004)
	370 mg.m <sup>-3</sup> 10,9h	Pas de perte de poids chez les survivants	Observation 14 j	
Souris Nombre = 10	2100 mg.m <sup>-3</sup> 5,5h	Une souris décédée à la plus forte concentration	BF <sub>3</sub> pureté inconnue Concentration nominale	Stockinger et Spiegl (1953 cité dans

	370 mg.m <sup>-3</sup> 10,9h	Pas de perte de poids chez les survivants	Observation 14 j	Ineris, 2004)
Cobayes Nombre = 10	2 100 mg.m <sup>-3</sup> 5,5h	Mortalité 10/10	BF <sub>3</sub> pureté inconnue Concentration nominale Observation 14 j	Stockinger et Spiegl (1953 cité dans Ineris, 2004)
	970 mg.m <sup>-3</sup> 1,4h	Mortalité 7/10		
	370 mg.m <sup>-3</sup> 10,9h	Mortalité 1/10 Pas de perte de poids chez les survivants		
Cobayes			Détails expérimentaux non disponibles	DuPont 1948 (cité dans US-EPA, 2013)
Rats albinos Nombre = 50		CL <sub>50</sub> = 1180 mg.m <sup>-3</sup> 4h	Concentration analytique ou nominale (non indiquée par les auteurs) Autopsie = cyanose des membranes muqueuses et hémorragie des organes internes. Augmentation du poids des poumons, œdèmes pulmonaires, destruction des conduits alvéolaires et dilatation vasculaire	Kasparov and Kirii (1972 cité dans US-EPA, 2013)
Souris albinos Nombre = 70		CL <sub>50</sub> = 3460 mg.m <sup>-3</sup> 2 h	Concentration analytique ou nominale (non indiquée par les auteurs) Autopsie = cyanose des membranes muqueuses et hémorragie des organes internes. Augmentation du poids des poumons, œdèmes pulmonaires, destruction des conduits alvéolaires et dilatation vasculaire. Œdème au niveau des reins, thymus et cerveau.	Kasparov and Kirii (1972 cité dans US-EPA, 2013)
Cobayes Nombre = 42		CL <sub>50</sub> = 109 mg.m <sup>-3</sup> 4h	Concentration analytique ou nominale (non indiquée par les auteurs). Nécropsie indique une cyanose des membranes muqueuses et hémorragie. Œdème noté au niveau du foie, reins, pancréas et cerveau.	Kasparov and Kirii (1972 cité dans US-EPA, 2013)



Les études de Rusch et al. sont les plus récentes, réalisées selon les standards actuels. Dans l'étude de Rusch et al. (1986) quatre groupes de cinq rats Fischer F344 des deux sexes âgés d'environ 7 semaines ont été exposés à des aérosols liquides de BF<sub>3</sub> dihydraté à des concentrations moyennes de 0, 1 010, 1 220, 1 320 ou 1540 mg.m<sup>-3</sup> pendant 4 heures<sup>14</sup>.

Les animaux ont été observés à 15 minutes d'intervalle pendant la 1<sup>ère</sup> heure d'exposition, toutes les heures les 3 heures d'exposition suivantes, puis 2 fois par jour les 14 jours suivants l'exposition. Le poids des animaux a été enregistré le jour de l'exposition, puis les jours 1, 2, 4, 7 et 14 après l'exposition. Une évaluation pathologique a été réalisée sur tous les animaux.

Dans tous les groupes exposés, une mortalité a été observée (voir Tableau 3). Rusch et al. ont calculé une CL<sub>50</sub> pour 4 heures de 1 210 mg.m<sup>-3</sup> (IC95% : 1 080 – 1 350 mg.m<sup>-3</sup>) en utilisant la méthode de Litchfield et Wilcoxon.

**Tableau 3 : Mortalité des rats exposés à un aérosol de BF<sub>3</sub> pendant 4 heures (d'après Rusch et al., 1986)**

Concentration (mg.m <sup>-3</sup> )	Mortalité (%) [Jour de la mort]
0	0/10 (0)
1010	3/10 (30) [0, 3, 6]
1220	2/10 (20) [0, 3]
1320	8/10 (80) [1, 1, 2, 3, 3, 3, 4, 5]
1540	9/10 (90) [0, 0, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 5]

Les signes cliniques observés durant l'exposition sont un larmolement important, des sécrétions orales et nasales ainsi que des râles secs et humides. Les animaux dans le groupe le plus fortement exposé étaient haletants.

Presque tous les animaux ont présenté des signes de détresse respiratoire quatre heures après l'exposition. Six jours après l'exposition, les rats survivants se sont rétablis. Des diminutions de poids corporel, ainsi que des augmentations du poids des reins et du foie ont également été observées.

En 2008, Rusch et ses collaborateurs ont réalisé une seconde étude afin d'examiner le potentiel irritant du BF<sub>3</sub>. Dans cette étude, ils ont exposé par voie respiratoire des groupes de 10 rats mâles et 10 rats femelles Sprague-Dawley à du trifluorure de bore dihydraté pendant 4 heures, à des concentrations (analytiques) de 0 ; 8,53 ; 24,6 ou 74,4 mg.m<sup>-3</sup>. Pour chaque concentration, ces rats ont été divisés en deux sous-groupes : le premier a été sacrifié 24 heures après l'exposition, le second, 14 jours après. Ces animaux ont été observés pendant et après l'exposition. En particulier, après nécropsie, les auteurs ont consigné les poids corporels, les poids des reins et des poumons, la consommation en eau. De plus, des analyses histopathologiques des reins et du foie ont été réalisées.

Aucun effet sur le poids corporel ou la prise de poids n'a été observé chez les animaux, quelle que soit la concentration d'exposition. De même, la consommation en eau demeure inchangée. Le poids des reins et des poumons étaient normaux.

<sup>14</sup> Concentrations exprimées en BF<sub>3</sub> et ce même si les animaux ont été exposés à du BF<sub>3</sub> dihydrate

En revanche, des modifications de l'histologie du larynx, témoins de l'irritation des voies aériennes ont été notées. Ces effets, observés uniquement à 74,4 mg.m<sup>-3</sup> et plus prononcés dans le sous-groupe sacrifié au bout de 24 heures, sont des nécroses du cartilage, des hyperplasies de l'épithélium, des hémorragies et des infiltrations de cellules inflammatoires (nombre d'animaux impliqués non communiqué). Dans le sous-groupe sacrifié au bout de 14 jours, seuls deux rats (1 mâle et 1 femelle) ont présenté une nécrose du cartilage laryngé.

Sur la base de ces résultats, les auteurs de l'étude indiquent que la concentration de 24,6 mg.m<sup>-3</sup> peut être considérée comme un NOAEL pour les effets aigus d'irritation du tractus respiratoire supérieur. Ils ajoutent que ces résultats sont en accord avec ceux d'une étude menée quelques années plus tôt, dans laquelle, après exposition de rats par inhalation au BF<sub>3</sub> pendant 13 semaines, aucune irritation du tractus respiratoire n'a été observée à 17 mg.m<sup>-3</sup>.

Dans le cadre d'une étude de toxicité subaiguë, Rusch et al. (1986) ont exposé quatre groupes de 10 rats F344 (5 mâles, 5 femelles) à un aérosol liquide de dihydrate de BF<sub>3</sub> à des concentrations (exprimées en BF<sub>3</sub>)<sup>15</sup> de 0, 24 ou 66 mg.m<sup>-3</sup>, 6 heures par jour pendant 9 jours (5 jours pendant la première semaine et 4 jours pendant la seconde) ou 180 mg.m<sup>-3</sup>, 6 heures par jour pendant 5 jours.

Au cours de l'étude, les animaux ont été observés deux fois par jour pour évaluer leur état général. Les signes cliniques ont été enregistrés deux fois par semaine (c'est à dire aux 2<sup>ème</sup>, 5<sup>ème</sup>, 9<sup>ème</sup> et 11<sup>ème</sup> expositions) et le poids a été enregistré une fois par semaine. À la fin de l'exposition, le cerveau, les gonades, les reins, le foie, les poumons et le thymus ont été pesés. Les poumons, la trachée, le foie, les reins, l'estomac, le duodénum, les testicules ont fait l'objet d'une étude histologique.

Les animaux exposés à la concentration la plus élevée (180 mg.m<sup>-3</sup>) sont morts au bout du 6<sup>ème</sup> jour d'exposition. Bien qu'aucun décès n'ait été noté dans les 2 autres groupes (24 et 66 mg.m<sup>-3</sup>), les animaux présentaient des signes de détresse respiratoire et d'irritation semblables à ceux observés dans l'étude de toxicité aiguë.

Au niveau histopathologique, une seule relation a pu être établie en fonction de la concentration d'exposition. Une nécrose et une pycnose des cellules de l'épithélium du tubule proximal a été mise en évidence chez les animaux exposés à 180 mg.m<sup>-3</sup>. Les signes cliniques rapportés dans le rapport US EPA (2013) sont présentés dans le Tableau 4.

**Tableau 5 : Mortalité des rats exposés à un aérosol de BF<sub>3</sub> pendant 4 h (Rusch et al., 1986 cité dans US EPA, 2013 )**

Observation	0 mg.m <sup>-3</sup>	24 mg.m <sup>-3</sup>	66 mg.m <sup>-3</sup>	180 mg.m <sup>-3</sup>
<b>Exposition jour 2</b>				
Nombre examiné	10	10	10	10
Nombre affecté	4	7	7	7
Aucun signe	6	3	3	3
Mucus nasal	4	5	4	5
Écoulement nasal rougeâtre/ Matière sèche rougeâtre au niveau de la bouche et des naseaux	0	2	2	1
Râles sèches	1	2	2	1
Râles humides	0	1	0	2

<sup>15</sup> Concentrations exprimées en BF<sub>3</sub>. Les concentrations nominales étaient de 48, 117 ou 390 mg.m<sup>-3</sup>, respectivement. Les différences entre les concentrations analytiques et nominales étant attribuées, par les auteurs, à l'adsorption du composé sur les parois de la chambre d'inhalation.

Larmes	0	0	0	1
Région anale/génitale colorée ( <i>Stained anal-genital area</i> )	0	2	1	1
<b>Exposition jour 5</b>				
Nombre examiné	10	10	10	10
Nombre affecté	0	6	10	10
Aucun signe	10	4	0	0
Mortalité	0	0	0	3
Mucus nasal	0	0	9	2
Écoulement nasal rougeâtre/ Matière sèche rougeâtre au niveau de la bouche et des naseaux	0	6	6	4
Râles sèches	0	0	3	0
Râles humides	0	2	7	1
Larmes	0	0	0	7
Région anale/génitale colorée ( <i>Stained anal-genital area</i> )	0	1	5	5
Halètement; respiration laborieuse	0	0	0	3
Mauvaise condition	0	0	0	8

## 4.2 Toxicité subchronique et chronique

### 4.2.1 Toxicité chez l'Homme

Il n'existe pas dans la littérature d'information relative à des expositions humaines suite à des expositions subchroniques ou chroniques.

### 4.2.2 Toxicité chez l'animal

En 1961, Torkelson et ses collaborateurs ont conduit une série d'études de toxicité chronique en exposant des cobayes 7 h/j et 5 j/sem.

Dans une première expérience, 10 cobayes mâles ont été exposés à une concentration (nominale) de 35 mg.m<sup>-3</sup> de BF<sub>3</sub> sur une période de 62 à 65 jours. Les auteurs ont noté que les animaux avaient des difficultés à respirer et semblaient asthmatiques. Sept animaux sur dix sont décédés suite à la 19<sup>ème</sup> exposition, vraisemblablement à cause de l'irritation des voies respiratoires et de l'asphyxie.

Dans une seconde expérience, 10 cobayes mâles ont été exposés à une concentration (nominale) de 21 mg.m<sup>-3</sup> de BF<sub>3</sub> pendant 6 semaines. Quatre animaux ont développé des crises asthmatiformes et sont décédés au cours la 2<sup>ème</sup>, 6<sup>ème</sup>, 7<sup>ème</sup> ou 11<sup>ème</sup> exposition. Les 6 animaux survivants ont présenté des difficultés respiratoires et sont décédés accidentellement lors de la 29<sup>ème</sup> exposition.

Dans le cadre d'une étude subchronique, Rusch et al. (1986) ont exposé 4 groupes de 40 rats F344 (20 mâles, 20 femelles) à des aérosols liquides de BF<sub>3</sub>, 6 heures par jour et 5 jours par

semaine pendant 13 semaines à des concentrations (analytiques)<sup>16</sup> de 0, 2, 6 ou 17 mg.m<sup>-3</sup> de BF<sub>3</sub>.

Lors de l'étude, les animaux ont été observés deux fois par jour afin d'évaluer leur état général. Un bilan biochimique et clinique a été réalisé pour chaque animal, chaque semaine accompagné d'une mesure pondérale. Des examens sanguins (hématologie et biochimie), ainsi que des analyses urinaires ont été réalisés à la fin de la dernière semaine d'exposition, puis 2 semaines après la fin de l'exposition. Il en est de même pour l'évaluation du fluor ionique et total tant au niveau urinaire que sérique. Des analyses du fluor osseux ont également été effectuées chez tous les animaux exposés.

Tous les animaux ont fait l'objet d'une nécropsie. Les cerveaux, poumons, cœurs, foies, thymus, reins et gonades ont été pesés. Les tissus prélevés chez les témoins et les animaux du groupe le plus fortement exposés ont été examinés pour détecter d'éventuelles modifications histopathologiques. Des coupes histopathologiques de sections de reins, parois nasales, poumons et foie de tous les animaux ont été examinées.

Dans les groupes les plus fortement exposés (sans autres précisions des auteurs), les signes cliniques notés chez les animaux sont une augmentation de matière rougeâtre séchée autour du nez et de la bouche, une production lacrymale importante et des râles secs.

D'après le document US EPA (2013), dans le groupe exposé à 2 mg.m<sup>-3</sup>, une irritation sous la forme de production lacrymale importante a été notée chez 5 animaux à partir de la 10<sup>ème</sup> semaine d'exposition. Dans le groupe exposé à 6 mg.m<sup>-3</sup> le même phénomène a été noté mais chez 16 animaux à partir de la 2<sup>ème</sup> semaine d'exposition.

Selon Rusch et al. (1986), dans les groupes exposés aux faibles concentrations, une irritation du tractus respiratoire qualifiée de « minime » est rapportée. L'irritation du tractus respiratoire n'a pas été objectivée par l'examen histopathologique (pas de modification au niveau des coupes de sections de poumons, parois nasales et autres tissus du tractus respiratoire).

Aucune différence entre les animaux exposés et les animaux témoins n'a été notée, au niveau du poids corporel, du poids des organes, ni des paramètres ophtalmologiques ou hématologiques.

Une analyse urinaire a montré une baisse de l'excrétion urinaire du calcium et une augmentation de celle des fluorures directement proportionnelles à la concentration d'exposition. Cette diminution du calcium urinaire, observée de la 5<sup>ème</sup> à la 13<sup>ème</sup> semaine d'exposition, était significative chez les rats exposés à 6 ou 17 mg.m<sup>-3</sup> de BF<sub>3</sub>. Il est à noter que celle-ci n'a pas été observée lors de la 15<sup>ème</sup> semaine d'exposition, ce qui laisse supposer un rétablissement.

Chez tous les groupes exposés, une augmentation dose-dépendante de la concentration en fluor sanguin de même qu'en fluor osseux est notée.

Selon les auteurs, les nécroses de l'épithélium tubulaire rénal observées chez 2 rats mâles exposés à 17 mg.m<sup>-3</sup> sont les signes cliniques les plus significatifs.

Sur la base de cette étude, Rusch estime qu'une exposition des rats à 6 mg.m<sup>-3</sup> n'induit pas d'effet délétère, en dépit de l'observation d'une augmentation en fluor sanguin.

En 1961, Torkelson et ses collaborateurs, dans une troisième expérience, ont exposé dix cobayes mâles et dix femelles à une concentration (nominale) de 8 mg.m<sup>-3</sup> (7h/j et 5 j/sem) durant 26 semaines. Tous les animaux ont été sacrifiés suite à la dernière exposition. Le cœur, les poumons,

---

<sup>16</sup> Les concentrations nominales étaient de 6,4 ; 24 et 54 mg.m<sup>-3</sup>, respectivement. Les différences entre les concentrations analytiques et nominales étaient attribuées par les auteurs à l'adsorption du composé sur les parois de la chambre d'inhalation.

le foie, le thymus, et les testicules ont été pesés. Tous ces organes ainsi que les glandes surrénales et le pancréas ont fait l'objet d'une analyse microscopique.

Aucun effet lié à l'exposition n'a été constaté sur ces organes, tout au plus, les auteurs notent que les animaux exposés présentaient des taux de pneumopathie plus élevés que les témoins.

### **4.3 Génotoxicité et cancérogénicité**

Il n'a pas été retrouvé de données dans la littérature.

### **4.4 Toxicité sur la reproduction et le développement**

Il n'a pas été retrouvé de données dans la littérature.

## 5 Construction des VLEP et recommandations

Les données qui permettraient d'expliquer le mécanisme par lequel le  $\text{BF}_3$  exerce son action toxique sont inexistantes.

### 5.1 Construction de la VLEP

Au regard du profil toxicologique, le  $\text{BF}_3$  peut induire des effets systémiques que seule une VLEP-8h peut limiter.

La nécrose de l'épithélium tubulaire rénal chez deux rats telle que rapportée dans l'étude de Rusch et al. (1986) justifie la mise en place d'une VLEP-8 heures. Cet effet a été considéré comme transposable à l'Homme. En effet, seule la néphropathie dite « hyaline droplet »<sup>17</sup> est spécifique au rat mâle et n'est pas retrouvé chez l'Homme (Hard et al., 2009 ; Green et al., 2003).

Cette étude menée sur quatre groupes de 40 rats F344 (20 mâles, 20 femelles) exposés à des aérosols liquides de  $\text{BF}_3$ , 6 heures par jour et 5 jours par semaine pendant 13 semaines à des concentrations de 0, 2, 6 et 17  $\text{mg.m}^{-3}$  a été considérée comme l'étude clé pour construire une VLEP ; l'effet critique retenu étant la nécrose de l'épithélium tubulaire rénal.

Selon Rusch, contacté lors de la rédaction de ce rapport, la concentration de 6  $\text{mg.m}^{-3}$  peut être considérée comme un NOAEL. En outre, l'irritation du tractus respiratoire observé chez les animaux exposés à 2 et 6  $\text{mg.m}^{-3}$  n'a pas été objectivée par l'examen histopathologique.

A noter qu'une augmentation de la concentration sanguine de fluor a été observée chez les animaux exposés à 6  $\text{mg.m}^{-3}$ .

Ainsi, partant du NOAEL de 6  $\text{mg.m}^{-3}$ , il est proposé d'appliquer les facteurs d'ajustement suivants :

- un facteur d'ajustement de 3 pour l'extrapolation d'une étude subchronique à un effet chronique ;
- un facteur d'ajustement de 3 pour tenir compte de la variabilité interindividuelle (Wolf, 1991) ;
- un facteur d'ajustement de 3 pour l'extrapolation d'une étude menée chez le rat à l'Homme (variation inter-espèces).

Ainsi, la VLEP-8h calculée est de 0,2  $\text{mg.m}^{-3}$  (6/27) soit environ 0,1 ppm.

Considérant l'exposition de la population aux fluorures et aux borates, notamment via l'alimentation, le CES a souhaité évaluer l'apport en fluorure additionnel qu'une exposition professionnelle au  $\text{BF}_3$ , selon la valeur recommandée, était susceptible de générer. Il ressort de cette évaluation (annexe 2) que l'apport journalier total (en fluorures et borates) reste inférieur aux recommandations de l'EFSA (et ce même dans le cas de scénarios maximalistes).

---

<sup>17</sup> Néphropathie associée à une accumulation de gouttelettes de protéines éosinophiles dans le segment P2 du tubule proximal.

## 5.2 Construction de la VLCT

L'étude sur 4 heures de Rush et al. (2008) chez le rat permet d'identifier un NOAEL de  $24,6 \text{ mg.m}^{-3}$  pour des effets aigus (irritation du tractus respiratoire supérieur).

L'équation de ten Berge permet d'ajuster ce NOAEL ( $24,6 \text{ mg.m}^{-3}$  sur 240 min) à une durée de 15 min. La valeur de  $n = 3$  proposée par l'OEHHA pour le trifluorure de bore (extrapolation des effets sanitaires d'une exposition de plus d'une heure à une exposition d'une heure) a été retenue. Le point de départ ajusté à une exposition de 15 minutes serait alors de  $62 \text{ mg.m}^{-3}$ .

Deux facteurs d'ajustement ont été retenus :

- un facteur d'ajustement de 3 pour tenir compte de la variabilité interindividuelle
- un facteur d'ajustement de 3 pour l'extrapolation d'une étude menée chez le rat à l'Homme (variation inter-espèces)

Ainsi, la VLCT-15 min recommandée est de  $7 \text{ mg.m}^{-3}$ , soit 2,5 ppm.

## 5.3 Mention « peau »

En l'absence de donnée quantitative permettant de calculer une absorption cutanée, la mention « peau » ne peut pas être attribuée pour le trifluorure de bore.

## 5.4 Mention « bruit »

En l'absence de données scientifiques sur l'effet ototoxique du trifluorure de bore, la mention « bruit » n'a pas été attribuée pour cette substance.

## 6 Conclusions

**VLEP-8h : 0,2 mg.m<sup>-3</sup>**

**VLCT-15min : 7 mg.m<sup>-3</sup>**

**Mention « peau » : non**

**Mention « bruit » : non**



## 7 Bibliographie

- AIHA. (2013). Current ERPG Values 2013. (American Industrial Hygiene Association, USA). p 7.
- Afsset. (2009). Recommandations en vue de limiter l'importance et le nombre de pics d'exposition dans une journée de travail (partie 1). (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, France). 23 p.
- Anses. (2017). Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel – Document de référence. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, France. 57 p.
- Anses. (2014). Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel – Document de référence. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, France. 122 p.
- Anses. (2010). Recommandations émises en vue de limiter l'importance et le nombre de pics d'exposition dans une journée de travail : cas des substances ayant une VLCT-15min mais pas de VLEP-8h (partie 2). (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, France). 36 p.
- EFSA. (2013). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fluoride. (European Food Safety Authority, Italy). p 46.
- EFSA. (2004). Opinion of the Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to the Tolerable Upper Intake Level of Boron (Sodium Borate and Boric Acid) (European Food Safety Authority, Italy). p 22.
- Green T, Lee R, Farrar D, Hill J. (2003). Assessing the health risks following environmental exposure to hexachlorobutadiene. *Toxicology Letters* 138 (1-2): 63-73.
- Hard GC, Johnson KJ, Cohen SM. (2009). A comparison of rat chronic progressive nephropathy with human renal disease-implications for human risk assessment. *Critical Reviews in Toxicology* 39 (4): 332-346.
- Ineris. (2004). Seuil de toxicité aiguë. Trifluorure de bore. (Institut national de l'environnement industriel et des risques, France). 22 p.
- NIOSH. (1995). Documentation for Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH). (US National Institute for Occupational Safety and Health, USA). Available on website <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/7637072.html>. Consulted 2013.
- Rusch GM, Hoffman GM, McConnell RF, Rinehart WE. (1986). Inhalation toxicity studies with boron trifluoride. *Toxicol Appl Pharmacol.* 30;83(1):69-78.
- Rusch GM, Bowden AM, Muijser H, Arts J. (2008). Respiratory irritation associated with inhalation of boron trifluoride and fluorosulfonic acid. *20(7):665-670.*
- Stewart M.J and Waisberg R. (1988). Poisoning with boron trifluoride. *S Afr Med J.* 12: 1536-1537.
- Torkelson TR, Sadek SE, Rowe VK. The toxicity of boron trifluoride when inhaled by laboratory animals. *1961 Aug;22:263-70.*
- US-EPA. (2013). Boron Trifluoride in" Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 13" - (United-State Environmental Protection Agency: Washington, USA). p13-53.
- Vernot EH, MacEwen JD, Haun CC and Kinkead ER. (1977). Acute toxicity and corrosion data for some organic and inorganic compounds and aqueous solutions. *Toxicol Appl Pharmacol.* 42: 417-423.

Wolf CR. (1991). Individuality in cytochrome P450 expression and its association with the nephrotoxic and carcinogenic effects of chemicals. IARC Scientific Publications. 115: 281-287.

## **Partie B – Rapport d'évaluation des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur les lieux de travail**

# 1 Présentation et discussion des méthodes de mesure du trifluorure de bore dans l'air des lieux de travail

## 1.1 Recensement et classement des méthodes de mesure

Une seule méthode de mesure du trifluorure de bore dans l'air des lieux de travail a été recensée.

Celle-ci consiste en un prélèvement par absorption par barbotage dans une solution de fluorure d'ammonium puis analyse des ions fluoroborate formés  $\text{BF}_4^-$  par potentiométrie au moyen d'une électrode spécifique des ions fluoroborate  $\text{BF}_4^-$ .

Compte tenu du classement en catégorie 3 de la seule méthode de mesure recensée, une recherche d'appareil de mesure de la concentration en trifluorure de bore en continu a été effectuée.

Le Tableau 6 présente les méthodes de mesures recensées et les protocoles associés, ainsi que le classement de ces méthodes.

**Tableau 6 : Tableau récapitulatif des méthodes de mesurage dans l'air des lieux de travail**

N°	Méthodes	Protocoles	Catégorie
1	Prélèvement par absorption dans une solution de $\text{NH}_4\text{F}$ - analyse par potentiométrie (électrode spécifique)	OSHA ID 216 SG : 1989	3
2	Détecteur de gaz	Selon le fournisseur	3

## 1.2 Discussion des méthodes de mesure

### 1.2.1 Méthode 1 : Prélèvement par pompage dans un barboteur contenant $\text{NH}_4\text{F}$ dosage par électrode spécifique

Cette méthode est décrite dans le protocole OSHA ID 216 SG : 1989.

Elle est classée en catégorie 3 en raison de l'absence de données sur les conditions de conservation et de stockage des échantillons et sur l'incertitude de mesure et en raison du non-respect des exigences de la norme EN 482 pour les étendues de mesure accessibles.

Néanmoins, les caractéristiques dont on dispose pour cette méthode sont rappelées ci-après.

#### Sélectivité et spéciation

La méthode ne donne aucune information sur la capacité de la méthode à ne détecter que le trifluorure de bore, ni à l'identifier en tant que tel, la mesure se ramenant à celle des ions fluoroborates.

#### Description de l'échantillonneur

La méthode recommande un prélèvement par barbotage dans un impinger contenant 10 mL d'une solution de fluorure d'ammonium de concentration 0,1 M, ce qui correspond à un prélèvement par absorption.

La nature du dispositif de prélèvement peut permettre ainsi la réalisation d'un prélèvement individuel.

### **Volume d'air recommandé**

Le débit est fixé à 1 L.min<sup>-1</sup>, la durée maximale recommandée égale à 480 min, soit 480 litres d'air.

### **Influence des conditions environnementales**

La méthode ne donne pas d'information sur l'influence des conditions environnementales.

### **Transport et conservation**

La méthode ne donne pas d'indication en ce qui concerne les conditions de conservation (stockage, durée).

### **Conditions d'analyse**

Les conditions de préparation de l'échantillon sont décrites de façon succincte et la technique analytique (préparation des solutions d'étalonnage, nature de l'électrode pour la mesure) définie. Aucune information n'est donnée sur la linéarité de la réponse de l'électrode.

### **Etendue minimale de mesure**

En considérant le domaine de travail défini par la méthode, compris entre 20 et 1950 µg de BF<sub>3</sub>, pour un prélèvement de 8 heures (volume prélevé de 480 litres) le domaine de concentrations accessibles s'étendrait de 0,04 à 4 mg.m<sup>-3</sup>, soit de 0,2 à 20 fois la VLEP-8h recommandée par le CES.

Pour un prélèvement de 15 min (volume prélevé de 15 litres) le domaine de concentrations accessibles s'étendrait de 1,33 à 130 mg.m<sup>-3</sup>, soit de 0,19 à 19 fois la VLCT-15 min recommandée par le CES.

### **Limites de détection et de quantification analytiques**

La méthode retient une limite de détection analytique de 0,5 µg.mL<sup>-1</sup> exprimée en ions fluoroborates BF<sub>4</sub><sup>-</sup> mais n'indique pas explicitement la limite de quantification analytique. En considérant que le volume de solution dans lequel s'effectue l'analyse est égal à 25 mL, cette limite de détection correspondrait à 12,5 µg d'ions BF<sub>4</sub><sup>-</sup>, soit 10 µg de BF<sub>3</sub> absorbé dans la solution (soit 0,02 mg.m<sup>-3</sup> pour 480 L d'air prélevé ou 0,67 mg.m<sup>-3</sup> pour 15L d'air prélevé).

Si l'on se rapporte au domaine d'étalonnage recommandé de la méthode d'analyse, qui est fixé entre 1 et 100 µg.mL<sup>-1</sup> d'ions BF<sub>4</sub><sup>-</sup>, il serait cohérent d'adopter comme limite de quantification le point bas de cette gamme soit 1 µg.mL<sup>-1</sup> d'ions BF<sub>4</sub><sup>-</sup>, ce qui correspond, pour un volume de 25 mL, à 25 µg d'ions BF<sub>4</sub><sup>-</sup>, soit 20 µg de BF<sub>3</sub> absorbé dans la solution (soit 0,04 mg.m<sup>-3</sup> pour 480 L d'air prélevé ou 1,33 mg.m<sup>-3</sup> pour 15L d'air prélevé).

Dans les conditions d'application de la méthode (points d'étalonnage compris entre 1 et 100 µg.mL<sup>-1</sup>) le domaine de travail s'étendrait de 25 à 2500 µg d'ions fluoroborates, soit de 20 à 1950 µg de BF<sub>3</sub> (soit de 0,04 à 4 mg.m<sup>-3</sup> pour 480 L d'air prélevé ou de 1,33 à 130 mg.m<sup>-3</sup> pour 15L d'air prélevé).

### **Incertitude**

Aucune donnée n'est disponible sur l'incertitude de mesure.

### 1.2.2 Méthode 2 : Détecteur de gaz

La méthodologie d'évaluation des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur les lieux de travail utilisée dans le cadre des travaux du CES est basée essentiellement sur les exigences fixées par la norme NF EN 482 et ses normes filles. Cette méthodologie ne peut cependant pas être appliquée dans le cas des analyseurs de gaz en temps réel, en particulier parce que l'aspect prélèvement et analyse est traité de manière simultanée sur ce type de détecteurs. La plupart des paramètres d'évaluation utilisés ne sont donc pas accessibles.

Il existe cependant un référentiel européen normatif, fondé sur la norme NF EN 482, pour évaluer leurs performances. Il s'agit de la norme NF EN 45544 :2000 « appareillage électrique utilisé pour la détection directe de vapeurs et gaz toxiques et le mesurage direct de leur concentration ». Cette norme est divisée en 4 parties :

- Partie 1. Exigences générales et méthodes d'essai : cette partie définit les exigences générales de construction et d'épreuve, et décrit les méthodes des essais applicables aux appareillages individuels, portables, transportables et fixes pour détecter directement une vapeur ou un gaz toxique et mesurer directement leur concentration dans l'atmosphère des lieux de travail ;
- Partie 2. Exigences de performance pour les appareillages utilisés pour le mesurage des concentrations de l'ordre des valeurs limites : cette partie spécifie les performances requises pour les appareillages électriques utilisés pour la détection directe des vapeurs et gaz polluants et le mesurage direct de leur concentration dans l'atmosphère des lieux de travail ;
- Partie 3. Exigences de performance pour les appareillages utilisés pour le mesurage des concentrations très supérieures aux valeurs limites : cette partie spécifie les exigences de performances requises pour les appareillages électriques utilisés pour la détection directe des vapeurs et gaz polluants et le mesurage direct de leur concentration dans l'atmosphère des lieux de travail ;
- Partie 4. Guide de sélection, d'installation, d'utilisation et d'entretien : cette partie donne des informations de fond et des conseils relatifs à la sélection, l'installation, l'utilisation et l'entretien des appareillages électriques utilisés pour la détection directe des vapeurs et gaz toxiques, ainsi que le mesurage direct de leur concentration dans l'atmosphère des lieux de travail

Les parties 1, 2 et 4 sont plus particulièrement concernées dans le cas de la présente évaluation. Une synthèse des parties 1 et 2 concernant les essais à réaliser et les performances requises est donnée sous forme de tableau en annexe du présent document.




A titre d'illustration, les principales caractéristiques techniques de plusieurs détecteurs de gaz pour le prélèvement et l'analyse de trifluorure de bore dans l'air des lieux de travail (liste non exhaustive) sont données dans le Tableau 7.

La détection du trifluorure de bore est effectuée par une cellule électrochimique.

Les gammes de mesures indiquées semblent pouvoir permettre de mesurer la VLEP-8 h (0,07 ppm) et la VLCT-15min (2,5 ppm) recommandées par le CES. Cependant, les données, issues de brochures commerciales ou de manuels d'installation, sont très incomplètes. De plus, aucune information n'est disponible quant aux conditions des essais pour lesquels les valeurs indiquées ont été déterminées.

En l'absence de données plus précises, il n'est donc pas possible de valider un de ces appareils par rapport au référentiel normatif. Cependant, les principaux distributeurs et fabricants ont été contactés pour obtenir des informations complémentaires sur le type de données de validation disponibles pour ce type d'appareil et sur la possibilité de disposer de ces données.

**Tableau 7. Principales caractéristiques techniques de détecteurs de gaz pour le prélèvement et l'analyse de trifluorure de bore dans l'air des lieux de travail (liste non exhaustive)**

			
<b>NOM</b>	GD-K71D	GD-K7D2	MIDAS S-HFX
<b>Fabricant/distributeur</b>	RKI (Japon)	RKI (Japon)	MIDAS
<b>Fixe / portable</b>	Fixe	Fixe	Portable
<b>Principe de détection</b>	Cellule électrochimique	Cellule électrochimique	Cellule électrochimique
<b>Méthode d'échantillonnage</b>	Pompage 0.5 L.min <sup>-1</sup>	Pompage 0.5 L.min <sup>-1</sup>	Pompage
<b>Conditions de fonctionnement</b>	0 - 40°C	0 - 40°C	
	30 - 70 %HR	30 - 85 %HR	
<b>Gamme de mesure</b>		0 - 3 ppm	0 - 8 ppm
<b>Etendue de mesure</b>	-	-	-
<b>Temps de réponse</b>	-	-	-
<b>Précision</b>	-	-	-
<b>Interférences</b>	-	-	-
<b>Dimensions (cm)</b>	15 x 12 x 7 (900g)	7 x 16.4 x 15.3	

## 2 Conclusions et recommandations

La méthode 1 répertoriée pour la mesure du trifluorure de bore (méthode de l'OSHA) présente des caractéristiques sur le prélèvement et l'analyse qui pourraient permettre la réalisation de mesures au niveau individuel.

Néanmoins, les informations présentées dans la méthode de l'OSHA sont insuffisantes et notamment n'ont pas été étudiées les conditions de conservation et de stockage des échantillons avant analyse, la capacité de piégeage et l'incertitude de mesure. De plus, les étendues de mesure, pour les valeurs limites recommandées par le CES, qu'il est possible d'atteindre ne respectent pas les exigences de la norme NF EN 482.

C'est pourquoi la méthode proposée doit être considérée comme non adaptée et est classée en catégorie 3, que ce soit pour le suivi de la VLEP-8h ou pour la VLCT-15min recommandées par le CES.

En l'absence de retour des constructeurs et/ou distributeurs, la méthode 2 de mesure de l'exposition professionnelle au trifluorure de bore à l'aide d'un détecteur de gaz en temps réel a été classée en catégorie 3 par absence de données de validation.

**Date de validation du rapport d'expertise collective par le comité d'experts spécialisé : le 8 mars 2018**

**Signature :**

Maisons-Alfort, le / /2018,

Au nom des experts du CES « Valeurs sanitaires de référence »,

**Dr Fabrice MICHIELS**

**Président du CES**



### 3 Bibliographie

NF EN 482 : Exposition sur les lieux de travail – Exigences générales concernant les performances des procédures de mesure des agents chimiques,

Method OSHA-ID-216 SG (1989) Boron Trifluoride (BF<sub>3</sub>) NF EN 45544 : 2000 - Atmosphères des lieux de travail - Appareillage électrique utilisé pour la détection directe des vapeurs et gaz toxiques et le mesurage direct de leur concentration :

- Partie 1 : exigences générales et méthodes d'essai
- Partie 2 : exigences de performance pour les appareillages utilisés pour le mesurage des concentrations de l'ordre des valeurs limites
- Partie 3 : exigences de performance pour les appareillages utilisés pour le mesurage des concentrations très supérieures aux valeurs limites
- Partie 4 : guide de sélection, d'installation, d'utilisation et d'entretien

---

## ANNEXES

---

## Annexe 1 : Partie A : les seuils de toxicité aiguë

### US-EPA (2013)

Aux Etats-Unis, le comité AEGL (Acute Exposure Guideline Levels) a publié au Federal Register d'octobre 2009 les valeurs AEGL du trifluorure de bore. Les définitions de ces valeurs AEGL (en français - traduction par le comité AEGL) sont :

- AEGL 1 : concentration d'une substance chimique dans l'air (exprimée en ppm ou mg.m<sup>-3</sup>) au-dessus de laquelle la population générale, individus sensibles inclus, pourrait présenter des signes d'inconfort notable, d'irritation ou tout autre signe non-sensoriel et asymptomatique. Ces effets sont transitoires, non-invalidants et réversibles après cessation de l'exposition.
- AEGL 2 : concentration d'une substance chimique dans l'air (exprimée en ppm ou mg.m<sup>-3</sup>) au-dessus de laquelle des effets irréversibles, des effets nocifs sévères ou des effets adverses à long terme pourraient être observés au sein de la population générale, individus sensibles inclus.
- AEGL 3 : concentration d'une substance chimique dans l'air (exprimée en ppm ou mg.m<sup>-3</sup>) au-dessus de laquelle des effets potentiellement mortels ou des décès pourraient survenir au sein de la population générale, individus sensibles inclus.

Les valeurs AEGLs pour le trifluorure de bore sont les suivantes :

Durée (min)	10	30	60	240	480
AEGL-1 (ppm)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AEGL-2 (ppm)	37	37	29	18	9,3
AEGL-3 (ppm)	110	110	88	55	28

### AIHA (2013)

L'AIHA (American Industrial Hygiene Association) publie des valeurs ERPG (Emergency Response Planning Guidelines) en cas d'émission de substances toxiques pour une exposition d'une heure. L'AIHA définit trois seuils d'effets correspondant à trois niveaux :

- ERPG-1 : concentration atmosphérique maximale en-dessous de laquelle il est probable que presque tous les individus pourraient être exposés jusqu'à une heure sans ressentir davantage que des légers effets transitoires ou détecter une odeur.
- ERPG-2 : concentration atmosphérique maximale en-dessous de laquelle il est probable que presque tous les individus pourraient être exposés jusqu'à une heure sans ressentir ou développer d'effets irréversibles ou incapacitants.
- ERPG-3 : concentration atmosphérique maximale en-dessous de laquelle il est probable que presque tous les individus pourraient être exposés jusqu'à une heure sans ressentir ou développer d'effet menaçant sa vie.

Pour le trifluorure de bore, les valeurs des ERPG pour une exposition allant jusqu'à une heure sont :

- ERPG-1 = 2 ppm
- ERPG-2 = 30 ppm
- ERPG-3 = 100 ppm

### NIOSH (1995)

IDLH signifie "Immediately Dangerous to Life or Health". Il s'agit de valeurs protégeant d'un danger immédiat pour la vie ou la santé. En matière de choix d'un appareil respiratoire, le NIOSH définit la IDLH comme étant la concentration d'une substance dans l'air à laquelle l'exposition risque d'entraîner la mort, de produire immédiatement ou à longue échéance des effets nocifs permanents sur la santé, ou d'empêcher la personne exposée de se soustraire à l'exposition. Cette norme vise à permettre à une personne exposée de quitter les lieux contaminés si son appareil respiratoire fait défaut. Il faut en pareil cas s'efforcer par tous les moyens d'évacuer les lieux.

Pour le trifluorure de bore, cette valeur est de 25 ppm.

### **Ineris (2004)**

Il n'a pas été possible selon l'Ineris de retenir de seuils pour les effets létaux suite à une exposition au trifluorure de bore. En outre, l'état actuel des connaissances ne permet pas de fixer de seuils des effets irréversibles pour cette substance.

## Annexe 2 : Partie A : Risques liés au fluor et aux borates

### *Risque de fluorose*

Le risque de fluorose ostéo-tendineuse augmente à des doses importantes de fluor qui peuvent être retrouvées en milieu de travail (industrie de l'aluminium à la suite d'une exposition chronique à une eau très fluorée).

Dans son rapport de 2013, l'EFSA indique qu'un apport quotidien supérieur à 20 mg (voire 10 mg) augmente le risque de fluorose osseuse et a fixé une dose journalière admissible de 0,12 mg/kg pour cet effet, soit 8,5 mg/j pour un adulte de 70 kg (EFSA, 2013).

L'EFSA considère par ailleurs un apport par voie orale chez l'adulte équivalent à environ 13 µg/kg/j en moyenne (11,4 par l'alimentation et 1,4 par le dentifrice) soit environ 1 mg/j pour un adulte de 70 kg.

Sachant que la masse molaire du BF<sub>3</sub> est de 67,8 g, celle du fluor de 19 et que BF<sub>3</sub> se dissocie en 3 atomes de fluor et 1 atome de bore, une exposition à 0,2 mg.m<sup>-3</sup> de BF<sub>3</sub> correspond à un apport de fluor de :

$$0,2 \times (3 \times 19) / 67,8 = 0,168 \text{ mg de F.m}^{-3}$$

En faisant l'hypothèse maximaliste qu'un travailleur inhale 10 m<sup>3</sup> d'air par journée de travail de 8 heures, que la totalité du BF<sub>3</sub> inhalé est absorbée et que la totalité de la dose absorbée est métabolisée et libère du fluor, la quantité de fluor libérée serait de 1,68 mg. Avec un apport alimentaire de 1 mg par jour, l'apport quotidien de fluor resterait inférieur à 3 mg/j, soit une dose inférieure à la dose maximale recommandée par l'EFSA (8,5 mg/j).

### *Risque liés aux borates*

Le CES a également été amené à se préoccuper des risques liés aux borates libérés suite à la dissociation du trifluorure de bore. Dans son rapport de 2004, l'EFSA considère qu'un apport supérieur à 10 mg par jour chez l'adulte pourrait entraîner des effets adverses, cette valeur étant basée sur les effets sur le développement fœtal observés chez l'animal.

L'EFSA considère par ailleurs un apport moyen par voie orale chez l'adulte de 1,5 mg.j<sup>-1</sup> (avec un 97,5<sup>e</sup> percentile de 2,6 mg.j<sup>-1</sup>).

De la même façon que pour le fluor, sachant que la masse molaire du BF<sub>3</sub> est de 67,8 g et celle du bore est de 10,8 g, une concentration de 0,2 mg.m<sup>-3</sup> de BF<sub>3</sub> correspond une exposition à :

$$0,2 \times 10,8 / 67,8 = 0,032 \text{ mg de B.m}^{-3}$$

En faisant l'hypothèse maximaliste qu'un travailleur inhale 10 m<sup>3</sup> d'air par journée de travail de 8 heures, que la totalité du BF<sub>3</sub> inhalé est absorbée et que la totalité de la dose absorbée est métabolisée et libère du bore, la quantité de bore libérée serait de 0,32 mg. Avec un apport alimentaire de 2,6 mg par jour (percentile 97,5), l'apport quotidien de fluor reste inférieur à 3 mg/j, soit une dose inférieure à la dose maximale recommandée par l'EFSA (10 mg/j).

## Annexe 3 : Partie B - Support technique

### Annexe 3B.1 : Présentation détaillée de la méthode 1 de mesure dans l'air des lieux de travail - Prélèvement par absorption dans une solution de $\text{NH}_4\text{F}$ – analyse par ionométrie

METHODE n°1		Prélèvement par absorption dans une solution de $\text{NH}_4\text{F}$ - analyse par potentiométrie (électrode spécifique)
DESCRIPTION		
Paramètres		OSHA ID 216 SG : 1989
Gaz/vapeur – Aérosol - Mixte		Gaz
Prélèvement	Actif / passif	Actif
	Système de prélèvement	Barboteur en verre contenant 10 mL de $\text{NH}_4\text{F}$ 0.1 M
	Débit	1 L.min <sup>-1</sup>
	Volume	480 L maximum
	Durée	8 h maximum.
Analyse	Préparation échantillon	-
	Technique d'analyse	Ionométrie (électrode spécifique)
	Paramètres analytiques	-

METHODE 1		Prélèvement par absorption dans une solution de $\text{NH}_4\text{F}$ - analyse par potentiométrie (électrode spécifique)
<b>DONNEES DE VALIDATION</b>		
Paramètres		OSHA ID 216 SG : 1989
Domaine de validation		de 10 $\mu\text{g}$ à 1950 $\mu\text{g}$ de $\text{BF}_3$ dans 25 mL de solution.
Coefficient de désorption / Efficacité de désorption		NR
Taux de récupération		NR
Capacité / Volume de claquage		NA
Linéarité de réponse du détecteur (instrument d'analyse)		NR
Essais de conservation et de stockage avant analyse		NR
Conditions environnementales		NR
Sélectivité		NR
Spéciation		NR
<b>CARACTERISTIQUES</b>		
Conditions de détermination de VLEP-8h	Estimation de l'incertitude élargie	NR
	Limite de détection	0,02 $\text{mg.m}^{-3}$ pour un volume de 480 L
	Limite de quantification	0,04 $\text{mg.m}^{-3}$ pour un volume de 480 L
Conditions de détermination de VLCT-15min	Estimation de l'incertitude élargie	-
	Limite de détection	0,67 $\text{mg.m}^{-3}$ pour 15 L d'air prélevé
	Limite de quantification	1,33 $\text{mg.m}^{-3}$ pour 15 L d'air prélevé
<b>INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES</b>		
Informations complémentaires		-

## Annexe 3B.2 : Synthèse des exigences générales de l'EN 45544 (parties 1 et 2)

Tableau 8 : Exigences générales portant sur la construction mécanique, les indications données par le dispositif, les signaux de défaut, les réglages, les batteries, le marquage et les gaz à détecter (Norme NF EN 45544 parties 1 et 2)

<b>Construction mécanique</b>	dispositifs adaptés pour la mise en œuvre des gaz d'essai
	resistances aux substances
<b>Indication</b>	Indication de valeurs inférieures à la limite inf de l'échelle
	Indication si lim sup étendue de mesurage dépassée
	Fidélité requise pour mesurer les exigences de performances de la norme
	Doivent fonctionner pour des concentrations sup alarme
<b>Signaux de défaut</b>	défaillance alim électrique
	coupure électrique système de détection
	alarme défaut débit pour appareil avec aspiration
	Déconnexion du capteur
<b>Réglages</b>	réglage de gain n'affecte pas le point 0
<b>Batteries</b>	Indication faible charge de la batterie
<b>Marquage</b>	
<b>Gaz à détecter</b>	Etiquette

Tableau 9 : Exigences générales portant sur le manuel d'instruction (Norme NF EN 45544 parties 1 et 2)

<b>Manuel d'instruction</b>	informations sur les essais (gaz, étendue de mesurage, accessoires, laboratoire d'essais)		
	Installation (orientation)		
	Instruction de fonctionnement et réglage		
	Description principe de mesure		
	Instruction de vérifications et étalonnage		
	Informations sur gaz d'étalonnage, méthode, fréquence d'étalonnage, FDS		
	Facteurs de réponse des gaz		
	Informations sur dérive de l'instrument		
	Conditions de fonctionnement	gaz et étendue de mesurage	
		domaine de $T^{\circ}_{amb}$	
domaine de $HR_{amb}$			
Tension alim			



	Caractéristique et type de câble avec capteurs déportés
	Blindage des câbles?
	Données batterie
	Gamme de T° entreposage
	Limites de P et correction
	Variation du 0 ( $\Delta 0$ )
Interférences autres gaz	
Débit min/max, temps de réponse	
Vérification débit	
Indications nature alarmes et signaux	
Dysfonctionnement et actions correctives	
Autonomie batterie	
Pièces de rechange recommandées	
Durée et conditions d'entreposage	
Accessoires optionnels	
Limites d'utilisation d'une sonde	
Temps de préchauffage, temps de réponse, temps de récupération, temps de pondération pour VLEP	
Dispositions si soumis à une concentration de gaz sup lim. Sup	

**Tableau 10 : Exigences générales portant sur les conditions d'essai (Norme NF EN 45544 parties 1 et 2)**

<b>Conditions d'essai</b>	Séquence d'essai
	Préparation appareil avant essai
	Conditions environnement : T, HR, P
	Gaz d'essai
	Tension alimentation
	Temps de stabilisation
	Orientation
	Étalonnage

Tableau 11 : Exigences générales portant sur la méthode d'essai (Norme NF EN 45544 parties 1 et 2)

<b>Méthode d'essai</b>  Incertitude globale $\frac{[(X_{moy}-X_{ref})+2s]*100}{X_{ref}}$ Variation du 0 $X_{moy}+2s$ $X_{moy}$ = moyenne des résultats de n mesures répétées $s$ = écart type des mesurages  <b>Exigences de performances de base (45544-2)</b> $\frac{(m_b-m_a)}{m_b} * 100 < (30-2s_{GER}/m_b*100)$ $s_{GER}$ = écart-type mes. concentration gaz essai de ref) $m_b-m_a < \text{variation } 0$ (mesures avant et après essai)	Entreposage hors tension	Après essai entreposage, tester tous les essais décrits ci-dessous		
	Mesurage des écarts	Incertitude globale par rapport à un gaz d'essai sur gamme de 5 concentrations	$U_g < 50\%$ pour $0.1*[GER] < [gaz] < 0.5*[GER]$ $U_g < 30\%$ pour $0.5*[GER] < [gaz] < 10*[GER]$	
		Variation du 0 ( $\Delta 0$ )	<b>limite inf étendue de mesure (<math>L_{infEM}</math>) &lt; étendue constructeur</b> $L_{infEM} = 0.5*\Delta 0$ si $\Delta 0 < 0.25*[GER]$ $L_{infEM} = 0.8*\Delta 0$ si $\Delta 0 > 0.25*[GER]$	
	Essais mécaniques	Vibrations	cf. Exigences de base	
		Chute	cf. Exigences de base	
	Essais d'environnement dans l'air et dans le gaz de ref	T°	Air de 0 ( $m_{20°C}-m_{5°C}$ ) et ( $m_{20°C}-m_{40°C}$ ) $< \Delta 0$ ou 5% de [GER] $(m_{20°C}-m_{-10°C}) < 2*\Delta 0$ ou 5% de [GER] <b>GER</b> <b>cf. exigences de base (modifiées pour (<math>m_{20°C}-m_{-10°C}</math>))</b>	
			P	cf. Exigences de base
			HR	cf. Exigences de base
			Vitesse air	cf. Exigences de base
	Essais de performance	Alarme sonore	> 70 dB à 0.3m	
		Points de consigne de l'alarme	Mise en marche à chaque consigne	
		Temps de réponse de l'alarme	$T_{alarme} < 20s$	
		Avertisseur de défaut de débit	cf. Exigences de base	
		Temps de préchauffage	cf. Exigences de base pour GER	
		Temps de réponse : mesure de $T_{90}$ (90% [GER])	$T_{90} < 2.5min$ (ou $T_{50} < 1min$ pour certains gaz)	
Temps de récupération : mesure de $T_{10}$ (10% [GER])		$T_{10} < 5min$ (ou $T_{50} < 1min$ pour certains gaz)		
Concentrations sup à étendue de mesurage	< 20% [GER] ou $\Delta 0$			
Utilisation prolongée sous gaz d'essai	cf. Exigences de base			
Essais d'orientation		cf. Exigences de base		
Essais électriques	Fonction VLEP-8h pour $[gaz]_{moy} = 50\%$ (3 paliers sur 8h : 100%, 50%, 0%)	45% - 55% cf. Exigences de base pour le reste		
Essais de dérive		cf. Exigences de base		
<b>Rapport d'essai</b>				

GER = gaz d'essai de référence [gaz], [GER] = concentration en gaz et en gaz d'essai de référence resp.  
 $\Delta 0$  = Variation de 0, m = mesure

## Annexe 4 : Consultation publique

Ce rapport a fait l'objet d'une consultation publique sur le site internet de l'Anses du 22/09/2017 au 22/11/2017.

Les personnes ou organismes suivants ont fait parvenir leurs commentaires lors de la phase de consultation :

- société ISOCHEM

## Annexe 5 - Suivi des actualisations du rapport

Date	Version	Description de la modification
07/2013	01	Première version pour consultation
03/2018	02	Version finale (ajout pour signaler la procédure de consultation, actualisation mention « bruit » et ajout de l'évaluation de l'exposition globale au fluor et aux borates avec l'annexe 2)





Agence nationale de sécurité sanitaire  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail  
14 rue Pierre et Marie Curie  
F94701 Maisons-Alfort cedex  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr)  
[@Anses\\_fr](https://twitter.com/Anses_fr)