



anses

# **Évaluation des méthodes de mesure dans l'air des lieux de travail, l'air intérieur et les poussières**

Rapport d'expertise collective  
de l'Anses

Mars 2025



## **Méthodologie d'évaluation des méthodes de mesure dans l'air des lieux de travail, l'air intérieur et les poussières**

---

**Missions permanentes VLEP, VGAI, VGPI  
Saisine 2024-MPEX-0166**

# **RAPPORT d'expertise collective**

**Comités d'experts spécialisés  
« Valeurs sanitaires de référence »  
« Evaluation des risques liés aux milieux aériens »  
Groupe de travail « Métrologie »  
Mars 2025**

---

### Citation suggérée

---

Anses. (2025). Méthodologie d'évaluation des méthodes de mesure dans l'air des lieux de travail, l'air intérieur et les poussières. (Saisine 2024-MPEX-0166). Maisons-Alfort : Anses, 62 p.

---

### Mots clés

---

Mesure, air des lieux de travail, air intérieur, poussières intérieures, VLEP, VGAI, VGPI, valeurs limites, métrologie, méthodes de mesure, lieux de travail, milieu professionnel, expertise.

Measurement, workplace air, indoor air, indoor dust, OEL, IAQG, ISDG (*indoor settled dust guidelines*), limit value, metrology, measurement methods, workplaces, occupational environment, expert assessment.

## 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 MÉTROLOGIE (2020-2024)**

---

#### **Président**

M. Benoît OURY – Retraité de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) (Responsable d'études au laboratoire de chimie analytique organique) – Compétences : métrologie, hygiène industrielle, chimie organique

#### **Vice-président**

M. Olivier RAMALHO – Chef de projet multi-expositions au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) et responsable métrologie à l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) – Compétences : qualité de l'air intérieur, métrologie, odeurs, chimie analytique

#### **Membres**

Mme Catherine HEDOUIN-LANGLET – Responsable du laboratoire de Toxicologie Industrielle (CRAMIF) – Compétences : qualité de l'air des lieux de travail, hygiène industrielle, prélèvements et analyse de l'air – *démission 08/2023*

M. Horacio HERRERA – Retraité de l'Institut universitaire romand de santé au travail – Compétences : industrielle, surveillance des ambiances de travail (métrologie, chimie analytique)

Mme Virginie MATERA – Responsable d'études au laboratoire de chimie analytique inorganique de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) – Compétences : qualité de l'air des lieux de travail, mise au point de méthodes de prélèvements et d'analyse, chimie inorganique

M. Fabien MERCIER – Ingénieur de recherche (Laboratoire d'étude et de recherche en environnement et santé (LERES). Compétences : chimie analytique, mise au point de méthodes de mesure, micropolluants organiques, matrices environnementales (eaux, air, poussières...) et biologiques (urine, sang, cheveu...)

Mme Caroline RIO – Responsable Laboratoire Interrégional de Chimie (LIC) – Compétences : qualité de l'air ambiant et de l'air intérieur, chimie physique, aérosol organique, métrologie.

Mme Dominique SAURAT – Pharmacien militaire (Ministère des armées, service de santé des armées) – Compétences : chimie analytique, prélèvements et analyse de l'air

Mme Sophie SOBANSKA – Chargée de recherche (Centre national de la recherche scientifique (CNRS) – Compétences : biogéochimie, particules, physico chimie, pollution de l'air

M. Guénaël THIAULT – Chef de section (Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCPP) – Compétences : qualité de l'air intérieur et de l'air des lieux de travail, métrologie, chimie

### **COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ**

---

Les travaux d'expertise, objets du présent rapport, ont été suivis et adoptés par les CES suivants :

Pour la partie « Air des lieux de travail » : le 12/12/2024

- CES Valeurs sanitaires de référence – 2024-2028

### **Président**

M. Jérôme THIREAU – PhD, Chargé de recherche au CNRS - Compétences : physiologie animale, électrophysiologie, biologie cellulaire, cardiotoxicité

### **Vice-présidente**

Mme Maylis TELLE-LAMBERTON – Epidémiologiste, statisticienne à l'ORS Ile de France – Compétences : épidémiologie, risques professionnels, statistiques

### **Membres**

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

Mme Michèle BISSON – Toxicologue Responsable d'étude à l'INERIS – Compétences : pharmacien toxicologue, valeurs toxicologiques de référence, évaluation des risques sanitaires

M. Nicolas CHEVALIER – Professeur des universités, praticien hospitalier au CHU de Nice – Compétences : médecine, endocrinologie, thyroïde, métabolisme, épidémiologie, diabète

M. Mihai Ciprian CIRTIU – Conseiller scientifique spécialisé à l'INSPQ et professeur associé à l'Université Laval et l'Université du Québec à Trois-Rivières – Compétences : toxicologie, biométrie, chimie, développement et validation de méthodes, nanomatériaux

Mme Fatiha EL-GHISSASSI – Retraitée du Centre International de Recherche sur le Cancer – Compétences : biochimie, spécialisée en cancérogénèse et génotoxicité

M. Claude EMOND – Professeur associé – École de santé publique, Université de Montréal, Département de santé environnementale et santé au travail – Compétences : toxicologie, modèle PBPK, toxicocinétique, nanotoxicologie, perturbateurs endocriniens

M. Robert GARNIER – Médecin toxicologue, Paris – Compétences : toxicologie médicale, santé au travail, santé environnementale

M. Kevin HOGEVEEN – Toxicologue, Anses – Fougères, Toxicologie des Contaminants – Compétences : toxicologie, génotoxicité, hépatotoxicité, toxicologie *in vitro*

Mme Yuriko IWATSUBO – Retraitée de Santé publique France – Compétences : épidémiologie des risques professionnels

M. Jérôme LANGRAND – Praticien hospitalier, Chef de Service du centre antipoison de Paris, AP-HP Hôpital Fernand-Widal, Centre antipoison de Paris – Compétences : toxicologie, médecine, toxicologie professionnelle, pathologies environnementales et professionnelles, toxines

M. Fabrice MICHELS – Médecin du travail / toxicologue au Service de prévention et santé au travail de Corrèze et de Dordogne (SPST 19-24) – Compétences : médecine du travail, toxicologie professionnelle et environnementale

Mme Gladys MIREY – Directrice de recherche en toxicologie, Responsable de l'équipe Génotoxicité & Signalisation, INRAE UMR TOXALIM – Compétences : toxicologie cellulaire, génotoxicité, mécanismes d'action, contaminants, modèles d'étude / méthodes alternatives, effets des mélanges

Mme Christelle MONTEIL – Professeure de Toxicologie à l'Université de Rouen Normandie – Compétences : impact sanitaire, toxicologie expérimentale, toxicologie cardio-respiratoire

M. Johnny MORETTO – Maître de conférences en Physiologie Université de Franche-Comté – Compétences : pharmacocinétique, physiologie, pharmacologie, biochimie

M. Luc MULTIGNER – Directeur de recherche, INSERM U1085 à l'IRSET – Compétences : épidémiologie, perturbateurs endocriniens, pathologies des fonctions et des organes de la reproduction

Mme Nadia NIKOLOVA-PAVAGEAU – Conseiller médical à l'INRS – Compétences : médecine du travail, toxicologie médicale, indicateurs biologiques d'exposition

Mme Magali OLIVA-LABADIE – Praticien hospitalier, Chef de Service, CHU de Bordeaux, Hôpital Pellegrin, Centre hospitalier universitaire, Centre Antipoison de Nouvelle Aquitaine – Compétences : toxicologie, médecine, toxicologie environnementale, toxines

M. Stéphane PERSONNE – Evaluateur pharmacovigilance à l'ANSM – Compétences : toxicologie générale, toxicologie expérimentale, toxicocinétique, PBPK

M. Renaud PERSOOONS – Praticien Hospitalier au CHU de Grenoble et Enseignant à l'Université Grenoble Alpes – Compétences : surveillance biologique, toxicologie, analyses de toxiques, métrologie

M. Julien ROUSSEL – Enseignant chercheur à l'Université de Montpellier – Compétences : pharmacologie, physiopathologie, neurobiologie, électrophysiologie, métabolisme

M. Rachid SOULIMANI – Professeur des Universités et responsable du site Neurotox, Université de Lorraine – Compétences : Neurotoxicologie, exposome, multi-exposition, risque sanitaire

M. Antoine VILLA – Praticien hospitalier, médecin du travail, Hôpital de la Timone, Marseille – Compétences : Pathologies professionnelles, toxicologie, médecine, expologie, biosurveillance, fibres d'amiante, agents cytotoxiques

Mme Maeva WENDREMAIRE – Maître de conférences à l'Université de Bourgogne – Compétences : toxicologie, reprotoxicité, pharmacologie, toxicologie analytique.

- Pour la partie « Air Intérieur » et « Poussières intérieures » : le 16/12/2024

■ CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » – 2024-2028

### **Présidente**

Mme Corinne MANDIN – Responsable du laboratoire d'épidémiologie (Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection) – Compétences : expologie, épidémiologie, évaluation des risques sanitaires

### **Vice-président**

M. Fabrice LERAY – Ingénieur-conseil (Caisse d'assurance retraite et de la santé au travail Pays de la Loire) – Compétences : hygiène industrielle, expositions professionnelles, toxicologie et métrologie des polluants, amiante

### **Membres**

Mme Sophie ACHARD – Maître de conférences (Faculté de Pharmacie, Université Paris Cité) – Compétences : toxicologie, environnement, modèles expérimentaux *in vitro*

M. Michel ANDRÉ – Directeur de recherche émérite (Université Gustave Eiffel) – Compétences : transports et impacts sur la pollution de l'air, émissions de polluants des véhicules et du trafic, métrologie et méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux

Mme Sylvie CASSADOU – Médecin épidémiologiste (Observatoire régional de santé Occitanie) – Compétences : épidémiologie, évaluation quantitative des impacts sur la santé

Mme Laureline COATES – Conseiller médical en santé au travail (Institut national de recherche et de sécurité) – Compétences : médecine du travail, toxicologie professionnelle

M. Marc DURIF – Directeur exécutif (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air) – Compétences : surveillance de la qualité de l'air, caractérisation des émissions atmosphériques, réglementations et plans d'actions

Mme Elodie GUIGON – Maître de conférences (Ecole Pratique des Hautes Etudes) – Compétences : transferts environnementaux, analyse des micropolluants organiques dans l'air

M. Sébastien HULO – Professeur des Universités et Praticien hospitalier (Centre hospitalier universitaire de Lille, Université de Lille) – Compétences : pathologies pulmonaires d'origine professionnelle, explorations fonctionnelles respiratoires

Mme Bénédicte JACQUEMIN – Chargée de recherche (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail) – Compétences : épidémiologie, pollution atmosphérique

M. Hervé LABORDE-CASTEROT – Praticien hospitalier (Assistance publique-Hôpitaux de Paris Hôpital Fernand Widal, Centre antipoison et de toxicovigilance de Paris) – Compétences : pathologies professionnelles, toxicologie clinique, épidémiologie

M. Claude LAMBRE – Retraité (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) – Compétences : immunologie, évaluation des risques sanitaires, toxicologie des produits chimiques

Mme Juliette LARBRE – Cheffe de service (Service des Laboratoires de Santé Environnementale, Mairie de Paris) – Compétences : prélèvements et analyses dans l'air, exposition

Mme Barbara LE BOT – Professeur des Universités (École des hautes études en santé publique, Université de Rennes, Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail, Unité mixte de recherche 1085) – Compétences : contamination de l'environnement intérieur, qualité de l'air et des poussières sédimentées, évaluation des expositions

M. Christophe LEROYER – Professeur des Universités et Praticien hospitalier (Centre hospitalier universitaire de Brest, Université de Bretagne Occidentale) – Compétences : asthme, bronchopneumopathie chronique obstructive, environnement

Mme Rachel NADIF – Chercheuse (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Centre de recherche en Épidémiologie et Santé des populations U1018) – Compétences : épidémiologie, santé respiratoire

Mme Anne OPPLIGER – Chercheuse senior, Privat Docent (Unisanté, Université de Lausanne) – Compétences : bioaérosols, risques biologiques, One Health

M. Jérémie POURCHEZ – Directeur de recherche (École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Département « Activité Biologique des Particules Inhalées », Inserm Sainbioso U1059) – Compétences : toxicologie, métrologie des aérosols, nanomatériaux

Mme Delphine PRAUD – Chercheuse en épidémiologie environnementale (Centre Léon Bérard à Lyon) – Compétences : épidémiologie, caractérisation des expositions, cancers

Mme Anastasia SAADE – Médecin chercheur (Centre hospitalier universitaire de Rennes, Université de Rennes) – Compétences : évaluation du risque infectieux, pathologies professionnelles infectieuses à transmission aérienne

Mme Audrey SMARGIASSI – Professeur titulaire et chercheuse (Université de Montréal et Institut National de Santé Publique du Québec) – Compétences : expologie, effets respiratoires des polluants atmosphériques, risques sanitaires

---

**PARTICIPATION ANSES****Coordination scientifique**

Mme Emmanuelle DURAND

Mme Diane LE BAYON

**Contribution scientifique**

Mme Emmanuelle DURAND

Mme Diane LE BAYON

Mme Amandine PAILLAT

**Secrétariat administratif**

Mme Sophia SADDOKI

## SOMMAIRE

Présentation des intervenants .....	3
Sigles et abréviations .....	10
Liste des tableaux .....	12
Liste des figures .....	13
<b>1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine .....</b>	<b>14</b>
1.1 Contexte .....	14
1.2 Objet .....	15
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation .....	15
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts .....	16
<b>2 Objectifs et principe général .....</b>	<b>17</b>
2.1 Terminologie générale .....	17
2.2 Définitions .....	17
2.2.1 Valeurs de référence .....	17
2.2.2 Métrologie .....	19
2.3 Objectif .....	19
2.4 Principe général .....	20
2.4.1 Méthodes de mesure dans l'air des lieux de travail et l'air intérieur .....	20
2.4.2 Méthodes de mesure dans les poussières .....	22
<b>3 Évaluation des méthodes de mesures dans l'air .....</b>	<b>24</b>
3.1 Exigences de performance pour l'évaluation de chaque méthode .....	24
3.1.1 Origine de la méthode .....	24
3.1.2 Description de la méthode .....	24
3.1.3 Conditions d'échantillonnage .....	24
3.1.4 Transport et conservation .....	27
3.1.5 Conditions d'analyse .....	27
3.1.6 Données de validation .....	28
3.2 Critères de décision .....	30
3.2.1 Grilles de critères de décision .....	30
3.2.1.1 Critères de décision relatifs au prélèvement .....	30
3.2.1.2 Critères de décision relatifs à l'analyse .....	32
3.2.2 Exceptions .....	33
3.2.2.1 Suivi des valeurs de référence court terme .....	33
3.2.2.1.1 Suivi des VLCT-15min .....	33
3.2.2.1.2 Suivi des VGAI court terme .....	33
3.2.2.2 Suivi de valeur plafond .....	34

3.3	Éléments complémentaires .....	34
3.4	Démarche d'évaluation des méthodes.....	35
3.4.1	Recensement des protocoles.....	35
3.4.1.1	Pour la comparaison à des VLEP .....	35
3.4.1.2	Pour la comparaison à des VGAI .....	36
3.4.2	Identification des différentes méthodes disponibles .....	37
3.4.3	Recherche des critères d'exclusion.....	37
3.4.4	Recueil des données nécessaires à l'évaluation .....	37
3.4.5	Classement des méthodes .....	40
3.4.6	Élaboration des recommandations.....	41
<b>4</b>	<b>Évaluation des méthodes de mesure dans les poussières .....</b>	<b>42</b>
4.1	Exigences de performance pour l'évaluation de chaque méthode .....	42
4.1.1	Origine de la méthode.....	42
4.1.2	Description de la méthode .....	42
4.1.3	Conditions d'échantillonnage .....	42
4.1.4	Transport et conservation .....	43
4.1.5	Conditions d'analyse.....	43
4.1.6	Données de validation .....	43
4.2	Critères de décisions.....	45
4.2.1	Critères de décision relatifs au prélèvement .....	45
4.2.2	Critères de décision relatifs à l'analyse .....	46
4.3	Éléments complémentaires .....	47
4.4	Démarche d'évaluation des méthodes de mesures dans les poussières .....	47
4.4.1	Recensement des protocoles.....	47
4.4.2	Identification des différentes méthodes disponibles .....	48
4.4.3	Recherche de critères d'exclusion .....	48
4.4.4	Recueil des données nécessaires à l'évaluation .....	49
4.4.5	Classement des méthodes .....	50
4.4.6	Élaboration des recommandations.....	50
4.5	Rappel de bonnes pratiques.....	51
<b>5</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>52</b>
	Annexe 1 : Annexe relative aux données d'incertitudes .....	56
	Annexe 2 : Synthèse des exigences générales de la norme NF EN 45544 (parties 1 et 2), 2015 ...	59

## Sigles et abréviations

2,4-DNPH : 2,4-dinitrophénylhydrazine  
AFNOR : Association française de normalisation  
Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire  
ASTM International : American Society for Testing and Materials International  
BGIA : Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz  
CEN : Comité européen de normalisation  
CES : Comité d'experts spécialisé  
CLHP : chromatographie liquide à haute performance (= HPLC en anglais pour High performance liquid chromatography)  
CMR : Cancérogène, mutagène et toxique pour la reproduction  
COCT : Conseil d'Orientation sur les Conditions de Travail  
COFRAC : Comité français d'accréditation  
EPA : Environmental protection agency  
GT : Groupe de travail  
HCSP : Haut conseil de santé publique  
HSE : Health and Safety Executive  
IFA : Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung  
INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité  
INSST : Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo  
IRSST : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail  
ISO : international standard organisation  
LCSQA : Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air  
LQ : limite de quantification  
MAK : Maximale Arbeitsplatzkonzentration  
NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health  
OMS : Organisation Mondiale de la Santé  
OQAI : Observatoire de la qualité de l'air intérieur  
OSHA : Occupational Safety and Health Administration  
PST : plan santé au travail  
VLEP : valeurs limites d'exposition professionnelle  
VLCT : valeur limite court terme  
VGAI : valeurs guides de qualité d'air intérieur  
VGAI CT : valeur guide de qualité d'air intérieur court terme  
VGAI LT : valeur guide de qualité d'air intérieur long terme  
VGPI : valeur guide pour les poussières intérieures  
VIM : Vocabulaire International de Métrologie

VP : valeur plafond

VR : valeur de référence

VSR : Valeurs Sanitaires de Références

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Conditions de pression de vapeur pour le prélèvement des agents chimiques semi-volatils (d'après l'annexe informative des normes NF EN ISO 23861, 2022 et NF X 43-215, 2018) _____	26
Tableau 2 : grille de décision pour le classement des méthodes de mesure dans l'air– paramètres relatifs au prélèvement _____	30
Tableau 3 : grille de décision pour le classement des méthodes de mesure dans l'air – paramètres relatifs à l'analyse _____	32
Tableau 4 : Exigences pour les différents types de méthodes à recenser pour le suivi de valeur plafond _____	34
Tableau 5 : Paramètres descriptifs des méthodes de mesure pour la comparaison des concentrations dans l'air aux VGAI ou VLEP _____	38
Tableau 6 : Données de validation des méthodes de mesure pour la comparaison des concentrations dans l'air aux VGAI ou VLEP _____	39
Tableau 7 : Classements potentiels des méthodes de mesure d'agents chimiques sous forme gazeuse _____	40
Tableau 8 : Classements potentiels des méthodes de mesure d'agents chimiques sous forme particulaire ou en phase mixte _____	41
Tableau 9 : Grille de décision pour le classement des méthodes de mesure dans les poussières – paramètres relatifs au prélèvement _____	45
Tableau 10 : Grille de décision pour le classement des méthodes de mesure dans les poussières – paramètres relatifs à l'analyse _____	46
Tableau 11 : Paramètres descriptifs des méthodes de mesure pour la comparaison des concentrations dans les poussières intérieures aux VGPI _____	49
Tableau 12 : Données de validation des méthodes de mesure pour la comparaison des concentrations dans les poussières intérieures aux VGPI _____	49
Tableau 13 : Termes relatifs aux incertitudes identifiés dans les protocoles du NIOSH _____	57

## Liste des figures

Figure 1 : Principe général de l'évaluation des méthodes de mesure dans l'air _____	22
Figure 2 : Principe général de l'évaluation des méthodes de mesure dans les poussières _____	23
Figure 3 : Représentation graphique du critère de décision relatif à la limite de quantification et à l'étendue de mesure _____	33

# 1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine

## 1.1 Contexte

L'Anses élabore et recommande plusieurs types de valeurs de référence dans l'air fondées sur des **critères exclusivement sanitaires**, permettant de caractériser le lien entre une exposition aérienne à un agent chimique et l'occurrence d'un effet néfaste observé, notamment :

- Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) élaborées par le comité d'experts spécialisé (CES) « Valeurs Sanitaires de Référence ».
- Les valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI) élaborées par le CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens »
- Les valeurs guides des poussières intérieures (VGPI) élaborées par le CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens »

Ces valeurs peuvent ensuite être utilisées par les pouvoirs publics en vue de fixer des valeurs réglementaires.

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

- une phase d'expertise scientifique indépendante confiée à l'Anses ;
- 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 est de discuter de l'effectivité des valeurs limites et de déterminer d'éventuels délais d'application, fonction de conditions de faisabilité technico-économique.

Le contrôle technique des VLEP est encadré par les dispositions du Code du travail (articles R. 4412-27 à R. 4412-31 pour les agents chimiques dangereux et articles R. 4412-76 à R. 4412-80 pour les agents chimiques classés cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction (CMR)).

Les VGAI proposées par l'Anses constituent le socle initial du processus institutionnel visant à fixer des valeurs réglementaires de surveillance de la qualité de l'air intérieur.

Afin d'appuyer les pouvoirs publics dans l'élaboration de valeurs opérationnelles permettant de mettre en place des actions d'amélioration de la qualité de l'air intérieur, le ministère chargé de la santé sollicite usuellement le Haut conseil de la santé publique (HCSP) en vue de proposer, à partir des VGAI de l'Anses, des valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos, ainsi qu'un calendrier pour leur déploiement. Le HCSP tient compte, dans ses propositions, de considérations pratiques, réglementaires, juridiques, économiques et sociologiques.

Enfin, conformément à la loi du 1er août 2008 relative à la responsabilité environnementale, des VGAI réglementaires sont établies par le ministère chargé de l'écologie, inscrites dans le code de l'environnement et sont associées à des mesures de gestion.

La surveillance de la qualité de l'air intérieur s'est mise en place progressivement notamment dans les établissements recevant du public et plus spécifiquement accueillant des enfants, comme prévu par le décret 2011-1728 du 2 décembre 2011 et est encadrée par les dispositions du code de

l'environnement (articles R221-30 à D-221-38). Ces dispositions sont complétées par le décret n° 2022-1690 du 27 décembre 2022<sup>1</sup> et l'arrêté du 27 décembre 2022<sup>2</sup>.

Concernant les poussières<sup>3</sup> et les VGPI, l'Anses a confirmé la pertinence de considérer l'ingestion de poussières sédimentées en environnements intérieurs dans l'évaluation de l'exposition globale de la population aux agents chimiques non volatiles et semi-volatiles, et la nécessité de disposer de VGPI pour interpréter les résultats de mesure en termes de risque (Anses, 2019). A l'heure actuelle, les VGPI ne sont pas intégrées dans un dispositif de surveillance.

## 1.2 Objet

Les travaux d'expertise de l'Anses concernant les VLEP, les VGAI et les VGPI comprennent également une évaluation des méthodes de mesures disponibles pour la comparaison des concentrations sur le lieu de travail, dans l'air intérieur et dans les poussières à ces valeurs de référence.

Le présent rapport présente la méthodologie d'évaluation des méthodes de mesure mise en œuvre par l'Anses, qui annule et remplace la version précédente élaborée en 2020 (Anses, 2020). Il constitue une actualisation et un enrichissement. Outre une actualisation des références normatives et exigences de performances associées, ce rapport présente la démarche d'évaluation des méthodes de mesure des agents chimiques non volatiles et semi-volatiles dans les poussières.

La démarche d'évaluation des méthodes de mesure (dans l'air ou les poussières) ne définit pas d'éléments de stratégie d'échantillonnage comme le nombre de prélèvements à réaliser, le pas de temps de prélèvement, la (ou les) période(s) et fréquence de prélèvement et la notion de représentativité spatio-temporelle de la mesure. Ces éléments essentiels pour l'interprétation de résultats de mesure seront à définir en lien notamment avec les référentiels disponibles (exemple de la norme NF EN ISO 16000-1, 2006, NF X 43-298, 2013) et la réglementation en vigueur.

## 1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

Pour évaluer les méthodes de mesure disponibles afin de recommander la ou les méthodes les plus appropriées pour la mesure des concentrations dans l'air ou dans les poussières aux fins de comparaison aux VLEP, aux VGAI et aux VGPI élaborées par l'Anses un groupe de travail (GT) « Métrologie » a été créé depuis 2014 et renouvelé périodiquement. Celui-ci est rattaché à 2 CES :

- « Valeurs sanitaires de référence » (CES VSR) ;
- « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » (CES Air).

Ses travaux d'expertise sont répartis entre les deux CES en fonction de leur nature. L'évaluation réalisée par le GT Métrologie pour les valeurs établies par l'agence sont soumise à validation du CES VSR si elle concerne une VLEP et du CES Air si elle concerne une VGAI ou une VGPI.

Le groupe de travail (GT) réalise de façon autonome l'évaluation des méthodes de mesure disponibles afin de recommander la ou les méthodes les plus appropriées pour la mesure des concentrations

<sup>1</sup> Modifie le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public.

<sup>2</sup> Fixe les conditions de réalisation de la mesure à lecture directe de la concentration en dioxyde de carbone dans l'air intérieur au titre de l'évaluation annuelle des moyens d'aération.

<sup>3</sup> Le terme « poussière(s) » est utilisé dans ce document et désigne aussi bien les termes « poussière(s) intérieure(s) », « poussière(s) domestique(s) », que « poussière(s) sédimentée(s) » (cf. chapitre 2.2 Définitions)

dans l'air aux fins de comparaison aux VLEP établies dans des directives européennes en vue de permettre leur transposition dans le droit français. Il s'appuie sur la démarche d'évaluation harmonisée des méthodes de mesure des polluants dans l'air au regard des différentes valeurs de référence présentée dans le présent rapport.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

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 (Janvier 2024) ».

## 1.4 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 publiées sur le site internet <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

## 2 Objectifs et principe général

### 2.1 Terminologie générale

Les terminologies suivantes sont employées dans ce rapport :

- Air des lieux de travail : atmosphère des endroits désignés où les activités du travail sont accomplies (NF EN 1540, 2021) ;
- Air intérieur : atmosphère dans les environnements intérieurs tels que les logements ayant des salles de séjour, des chambres à coucher, des ateliers de bricolage, des salles de jeux, des caves, des cuisines et des salles de bain ; les salles ou lieux de travail dans les bâtiments qui ne sont pas soumis à des inspections d'hygiène et de sécurité concernant les polluants de l'air intérieur (par exemple bureaux, locaux de vente) ; les bâtiments publics (par exemple hôpitaux, écoles, jardins d'enfants, salles de sport, bibliothèques, restaurants et bars, théâtres, cinémas et autres salles) et également les habitacles de véhicules (NF EN ISO 16000-1, 2006) ;
- Air ambiant / air extérieur : en référence à la réglementation relative à la surveillance de la qualité de l'air (code de l'environnement – Articles R221-1 à R221-3), le terme « air ambiant » est employé pour désigner l'air extérieur par rapport à l'air intérieur ;
- Aérosol : particules en suspension dans l'air et mélange de gaz (et de vapeur) dans lequel elles sont en suspension (NF EN 1540, 2021) ;
- Aérosol semi-volatil : aérosol composé d'un ou plusieurs agents chimiques présents sous forme particulaire et vapeur et dont les proportions sont susceptibles d'évoluer de façon significative dans le temps en fonction des conditions environnementales et des conditions liées au prélèvement (durée, débit, températures etc.) ;
- Particules en suspension dans l'air : matière fine, sous forme solide ou liquide, dispersée dans l'air (NF EN 1540, 2021) ;
- Poussières : « tout type de particules rencontrées en intérieur sous forme déposée », quelles que soient leurs origines (naturelle/synthétique, extérieure/intérieure) et leur nature (inorganique/organique) (Anses, 2019) basée sur le guide VDI 4300-8 de l'Association des ingénieurs allemands (VDI, 2001). La poussière était définie, par opposition aux particules en suspension dans l'air. **Le terme « poussière(s) » est utilisé dans ce document et désigne aussi bien les termes « poussière(s) intérieure(s) », « poussière(s) domestique(s) », que « poussière(s) sédimentée(s) » ;**
- Vapeur : phase gazeuse d'une substance dans un état d'équilibre ou d'équilibre instable avec la même substance à l'état liquide ou solide, au-dessous de son point d'ébullition ou de sublimation (NF EN 1540, 2021).

L'annexe 1 présente la terminologie relative aux données d'incertitudes propres à différents organismes élaborant ou validant des méthodes de mesure.

### 2.2 Définitions

#### 2.2.1 Valeurs de référence

L'Anses a retenu comme définition pour les VLEP :

- **VLEP-8h** : La VLEP-8h correspond à la valeur limite de la moyenne de la concentration atmosphérique d'un agent chimique prélevé dans la zone de respiration<sup>4</sup> d'un travailleur

<sup>4</sup> Espace autour du nez et de la bouche dans lequel la respiration a lieu. Techniquement, la zone respiratoire correspond à un hémisphère (généralement de rayon 30 cm) s'étendant devant la face de la personne, centrée sur le milieu du segment

pondérée par la durée au cours d'un poste de travail, c'est-à-dire 8 heures. Dans l'état actuel des connaissances scientifiques, la VLEP-8h est censée protéger d'effets sur la santé, à moyen et long termes, les travailleurs exposés régulièrement et pendant la durée d'une vie de travail à l'agent chimique considéré ;

VLCT-15min : La VLCT-15 min correspond à la valeur limite de la moyenne de la concentration atmosphérique d'un agent chimique prélevé dans la zone de respiration d'un travailleur pondérée sur une période de référence de 15 minutes. Cette concentration est mesurée pendant le pic d'exposition et ce, quelle que soit sa durée. Les VLCT-15min sont destinées à protéger la santé des travailleurs des effets toxiques aigus en limitant l'intensité des pics d'exposition ou certains effets chroniques dus à la répétition d'expositions de courte durée ;

Valeur plafond (VP) : Elle est définie comme la valeur 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.

L'Anses a retenu comme définition pour les VGAI (Anses, 2011) :

En se basant sur la définition de l'OMS, une VGAI est définie comme une valeur numérique associée à un temps d'exposition correspondant à une concentration dans l'air d'un agent chimique en dessous de laquelle aucun effet sanitaire ou aucune nuisance ayant un retentissement sur la santé (dans le cas de composés odorants) ne sont en principe attendus pour la population générale. Cette définition est généralement applicable dans le cadre de valeurs guides construites pour protéger d'effets à seuil de dose.

Dans le cas d'effets sans seuil de dose identifié, tels que les effets cancérogènes pour lesquels un mode d'action génotoxique est évoqué, les valeurs guides sont exprimées sous la forme de niveaux de risque correspondant à une probabilité de survenue de la maladie.

En fonction des durées d'exposition considérées et en s'inspirant de définitions généralement admises sur ce sujet, des VGAI peuvent être construites selon la terminologie suivante :

- VGAI court terme (VGAI CT) si l'effet critique apparaît après une courte durée d'exposition (15 min à quelques jours), généralement unique et à un niveau de concentration élevé. Ce type de valeur permet la protection de la population générale d'effets immédiats ;
- VGAI long terme (VGAI LT) si l'effet critique apparaît à la suite d'une exposition continue à long terme ou s'il est observé à la suite d'une accumulation de la substance dans l'organisme. Ce type de valeur permet la protection de la population générale exposée en continu (plus d'une année) dans les environnements intérieurs en tenant compte des variations des concentrations d'exposition ;
- VGAI intermédiaire : proposé par certains organismes, ce type de valeur permet la protection de la population dans le cadre d'une situation particulière d'exposition à une substance pendant une durée supérieure à quelques jours mais inférieure à un an.

L'Anses a retenu comme définition pour les VGPI :

Les VGPI sont les concentrations d'un ou plusieurs agent(s) chimique(s) dans la poussière dont le respect vise à protéger la santé de la population générale. Elles présentent différents niveaux de protection, selon un choix de valeur à déterminer par le gestionnaire. Les VGPI sont construites pour des expositions long terme par voie orale, sur des scénarios d'exposition de la vie quotidienne, afin de faciliter la gestion courante des concentrations élevées des contaminants dans la poussière.

---

qui joint les deux oreilles. La base de l'hémisphère est un plan passant par ce segment, le sommet de la tête et le larynx. Cette description technique est inapplicable quand un équipement de protection respiratoire est utilisé (NF EN 1540 (Février 2012) - Exposition des lieux de travail – Terminologie).

## 2.2.2 Métrologie

Dans le cadre de la méthodologie d'évaluation des méthodes de mesure de concentration en polluants dans l'air et les poussières, les définitions suivantes ont été retenues :

- protocole : ce terme désigne les modes opératoires publiés par des organismes reconnus ;
- méthode : ce terme désigne le principe d'une méthode de mesure d'un polluant dans l'air. Il englobe la technique de prélèvement et la technique d'analyse.

Une même méthode peut donc être déclinée dans différents protocoles.

A titre d'illustration, l'une des méthodes de mesure du formaldéhyde dans l'air consiste à effectuer un prélèvement d'air à l'aide d'une pompe sur un tube de gel de silice imprégné de 2,4-dinitrophénylhydrazine (2,4-DNPH), puis une désorption chimique avec de l'acétonitrile et une analyse par chromatographie en phase liquide à haute performance – détection aux ultraviolets (CLHP/UV). Cette méthode est notamment décrite dans les protocoles suivants : NF X 43-264, NIOSH 2016, MétroPol 001, NF ISO 16000-3, etc ;

- phase mixte : un polluant en phase mixte correspond à un polluant semi-volatil ou pouvant être émis dans l'air sous forme de mélange de particules en suspension dans l'air et de vapeur.

## 2.3 Objectif

Les méthodes de mesure de la concentration d'un agent chimique dans l'air des lieux de travail, dans l'air intérieur et dans les poussières sont évaluées de manière à recommander une ou plusieurs méthodes permettant d'effectuer des mesures de concentration de l'agent chimique à des fins de comparaison avec les VLEP, les VGAI ou les VGPI recommandées par le CES VSR, ou bien à des fins de comparaison avec les VLEP établies dans des directives européennes.

L'objectif n'est pas de classer l'ensemble des méthodes selon un système de notation chiffrée mais plutôt de présenter de manière structurée et systématique les critères permettant d'arriver à une recommandation de méthodes qui soit fondée sur un jugement scientifique et technique.

Pour les VGAI et VLEP, les méthodes peuvent être classées en quatre catégories en fonction de leur niveau de validation :

- **catégorie 1A : méthodes validées** (l'ensemble des critères de performance sont satisfaits) ;
- **catégorie 1B : méthodes partiellement validées** (les critères essentiels de performance sont satisfaits) ;
- **catégorie 2 : méthodes indicatives<sup>5</sup>** (des critères essentiels à la validation ne sont pas suffisamment explicités, ou bien la méthode nécessite des ajustements devant faire l'objet d'une validation) ;
- **catégorie 3 : méthodes non validées ou non évaluables**. Cette catégorie englobe les méthodes inadaptées pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas remplis et les méthodes non évaluables (désignées par la catégorie 3\*) pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas documentés.

Pour les VGPI, les méthodes peuvent être classées en trois catégories en fonction de leur niveau de validation<sup>6</sup> :

<sup>5</sup> Dans le cadre de la réglementation sur la surveillance de l'air ambiant, une méthode indicative désigne une méthode pour laquelle l'incertitude est supérieure à celle de la méthode de référence.

<sup>6</sup> La mesure des agents chimiques dans les poussières étant relativement récente, les données de validation disponibles sont plus rares que pour les méthodes de mesures dans l'air. De ce fait, les méthodes évaluées au regard des VGPI ne sont classées qu'en trois catégories, comparativement aux méthodes évaluées au regard des VGAI et VLEP.

- **catégorie 1 : méthodes validées** (les critères de performance sont satisfaits) ;
- **catégorie 2 : méthodes indicatives** (la méthode nécessite des ajustements devant faire l'objet d'une validation pour être employée) ;
- **catégorie 3 : méthodes non validées ou non évaluables.** Cette catégorie englobe les méthodes inadaptées pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas remplis et les méthodes non évaluables pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas documentés.

## 2.4 Principe général

### 2.4.1 Méthodes de mesure dans l'air des lieux de travail et l'air intérieur

Dans ce chapitre, le principe général de la démarche d'évaluation des méthodes de mesure est décrit. A noter que le fascicule de documentation FD CEN/TR 17055 (2017) explicite également comment choisir une procédure de mesurage selon certaines exigences normatives. Toutefois, la démarche, objet du présent rapport, prend en compte des critères de décision complémentaires décrits dans le chapitre 3.2.

Dans le domaine de l'air des lieux de travail, la norme NF EN 482 (2021) établit les exigences élémentaires de performance pour les procédures servant à déterminer la concentration des agents chimiques. La norme ISO 20581 (2016) présente les mêmes exigences. Il a été retenu de privilégier la référence à la norme NF EN 482 (2021) mentionnée dans différents textes réglementaires.

Dans le domaine de l'air intérieur, une telle norme n'existe pas.

De ce fait, le groupe de travail a retenu les exigences de cette norme principale NF EN 482 (2021) pour l'évaluation des méthodes de mesure en lien avec les VLEP et les VGAI.

Pour l'évaluation des méthodes de mesure à des fins de comparaison aux VLEP, les durées de prélèvement doivent être les plus proches possibles des durées des VLEP, à savoir 8 heures pour les VLEP-8h et 15 minutes pour les VLCT-15min.

Pour l'évaluation des méthodes de mesure à des fins de comparaison aux VGAI, compte tenu des périodes de référence des VGAI élaborées par l'Anses, le GT Métrologie a construit un cadre pour l'évaluation des méthodes de mesure reposant sur le choix d'une durée de prélèvement arbitraire et cohérente avec le type de VGAI :

- VGAI long terme (VGAI LT) : 7 jours<sup>7</sup> ;
- VGAI court terme (VGAI CT) : durée de référence de la VGAI CT.

Que ce soit dans l'objectif d'évaluer les méthodes de mesure pour le domaine de l'air des lieux de travail ou de l'air intérieur, la méthodologie générale est identique et consiste à :

- recenser les différents protocoles de mesure du polluant dans l'air ;
- identifier les différentes méthodes disponibles en regroupant les protocoles mettant en œuvre les mêmes méthodes ;
- rechercher en priorité les critères d'exclusion (Cf. § 6.3). Si de tels critères sont remplis pour une méthode, celle-ci est classée en catégorie 3 ;
- évaluer les différents paramètres :
  - répertorier différents paramètres visant à évaluer la technique de prélèvement, la technique d'analyse et les performances de la méthode globale ;

<sup>7</sup> Cette durée de prélèvement de 7 jours a été retenue afin d'évaluer les méthodes de mesure pour la comparaison à des VGAI long terme sur la base d'un cadre constant. Elle ne se substitue pas à la durée de référence de la VGAI long terme ni à la durée de prélèvement à mettre en œuvre sur le terrain.

- évaluer chaque méthode au regard de la conformité aux exigences de performances indiquées notamment dans la norme NF EN 482 (2021) et des critères de décision détaillés plus loin dans le document ;
- classer chaque méthode en 4 catégories en fonction de l'évaluation précédente :
  - **catégorie 1A : méthodes validées** (l'ensemble des critères de performance sont satisfaits) ;
  - **catégorie 1B : méthodes partiellement validées** (les critères essentiels de performance sont satisfaits) ;
  - **catégorie 2 : méthodes indicatives** (des critères essentiels à la validation ne sont pas suffisamment explicités, ou bien la méthode nécessite des ajustements devant faire l'objet d'une validation) ;
  - **catégorie 3 : méthodes non validées ou non évaluables**. Cette catégorie englobe les méthodes inadaptées pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas remplis et les méthodes non évaluables (désignées par la catégorie 3\*) pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas documentés ;

NB : Pour la mesure d'un aérosol ou d'agent chimique en phase mixte, un premier classement est établi au regard des critères de performances portant sur le prélèvement. Un second classement est établi au regard des critères de performances portant sur l'analyse. Le classement final de la méthode correspond au classement le plus défavorable ;

- recommander la ou les méthodes les plus appropriées pour la mesure des concentrations à des fins de comparaison aux VLEP ou VGAI selon l'objectif.

Il est à noter que l'évaluation des méthodes est réalisée au regard de l'ensemble des données disponibles dans les protocoles mettant en œuvre ces méthodes, et que ce sont les méthodes qui sont classées et non pas les protocoles individuellement.

Les méthodes classées en catégories 1A et 1B sont celles qui sont recommandées de façon préférentielle aux gestionnaires. Les méthodes de catégorie 2, nécessitant une validation complémentaire pour juger de leur applicabilité, sont indicatives. En revanche, les méthodes de catégorie 3 ne sont donc pas recommandées soit du fait d'un manque de données permettant de juger de leur applicabilité soit du fait de performances non satisfaisantes pour le contrôle d'une exposition en référence à des VLEP ou à des VGAI.

La Figure 1 schématise les différentes étapes de l'évaluation pour les méthodes de mesure dans l'air des lieux de travail ou l'air intérieur.

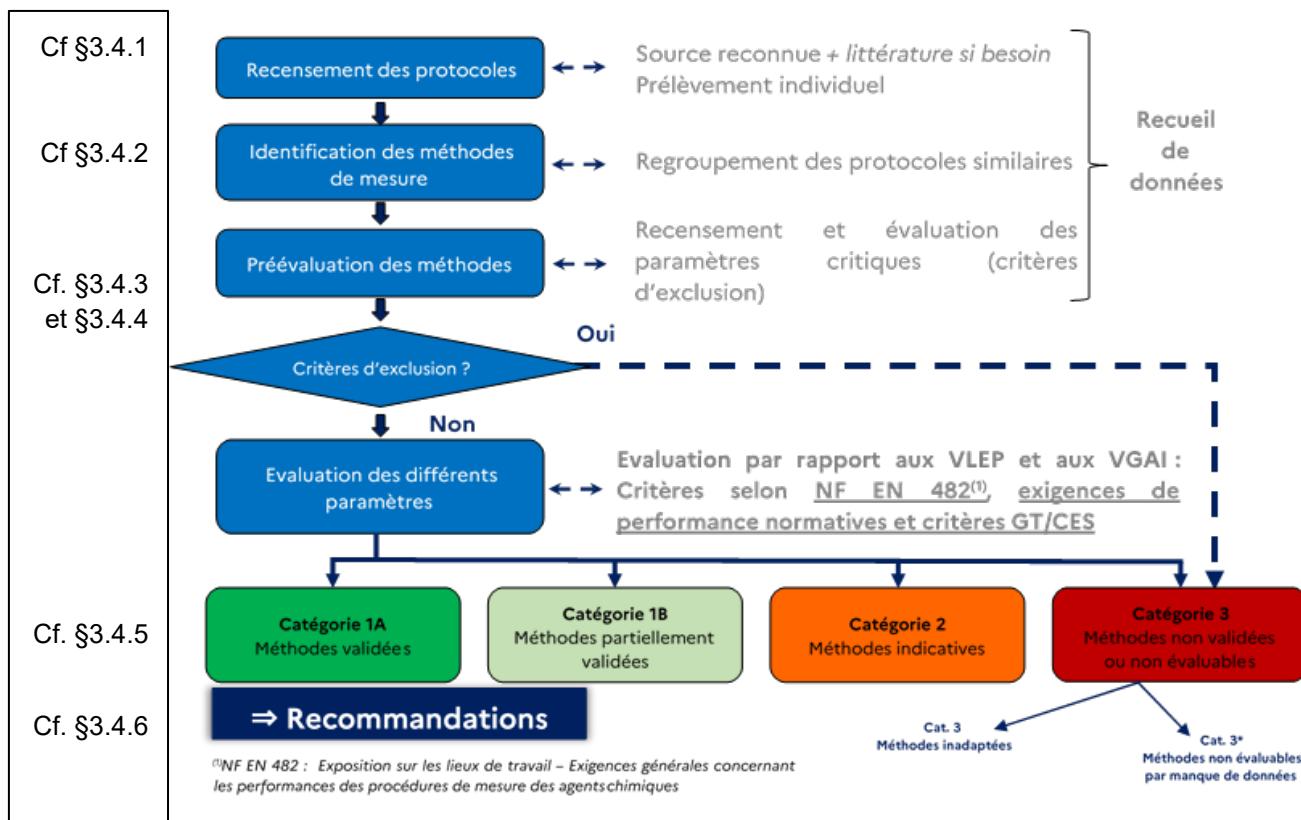


Figure 1 : Principe général de l'évaluation des méthodes de mesure dans l'air

## 2.4.2 Méthodes de mesure dans les poussières

Dans le domaine de la mesure des agents chimiques dans les poussières, seule la norme NF X 46-032 (2008) établit des exigences de performance pour la mesure du plomb dans les poussières. Pour les autres agents chimiques, il n'existe pas de normes à ce jour et peu de méthodes de mesure développées par des organismes de référence sont disponibles.

Le GT métrologie a donc construit un cadre pour l'évaluation des méthodes de mesure des agents chimiques dans les poussières à des fins de comparaison aux VGPI, en adaptant la démarche développée pour les méthodes de mesure dans l'air.

L'objectif n'est pas de classer l'ensemble des méthodes selon un système de notation chiffrée, mais plutôt de présenter de manière structurée et systématique les critères permettant d'arriver à une recommandation de catégorie pour la méthode considérée qui soit fondée sur un jugement scientifique et technique.

La méthodologie générale est identique pour chaque agent chimique et consiste à :

- recenser les différents protocoles de mesure de l'agent chimique dans les poussières ;
- identifier les différentes méthodes disponibles en regroupant les protocoles mettant en œuvre les mêmes méthodes ;
- rechercher en priorité les critères d'exclusion (cf. § 4.4.3). Si un ou des critères d'exclusion sont identifiés pour une méthode, celle-ci n'est pas validée ;
- évaluer les différents paramètres :
  - répertorier les différents paramètres visant à évaluer la technique de prélèvement, la technique d'analyse et les performances de la méthode globale ;
  - évaluer chaque méthode au regard de la conformité aux exigences de performances et des critères de décision détaillés ;

- classer chaque méthode dans une des trois catégories en fonction de son niveau de validation :
  - **catégorie 1 : méthodes validées** (les critères de performance sont satisfaits) ;
  - **catégorie 2 : méthodes indicatives** (la méthode nécessite des ajustements devant faire l'objet d'une validation pour être employée) ;
  - **catégorie 3 : méthodes non validées ou non évaluables**. Cette catégorie englobe les méthodes inadaptées pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas remplis et les méthodes non évaluables pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas documentés.
- recommander la ou les méthodes les plus appropriées pour la mesure des concentrations à des fins de comparaison aux VGPI selon l'objectif.

La Figure 2Figure 1 schématisé schématisé les différentes étapes de l'évaluation pour les méthodes de mesure dans les poussières.

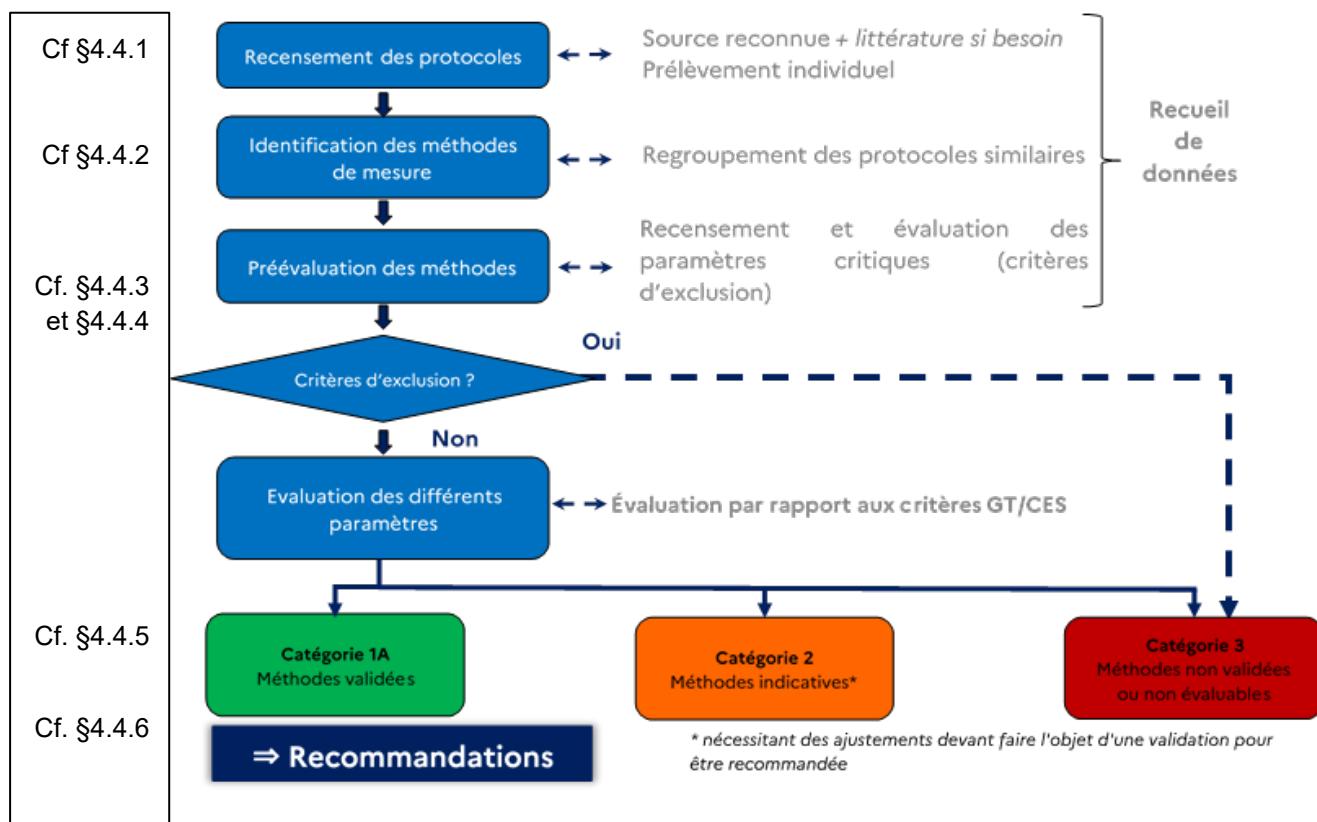


Figure 2 : Principe général de l'évaluation des méthodes de mesure dans les poussières

### 3 Évaluation des méthodes de mesures dans l'air

#### 3.1 Exigences de performance pour l'évaluation de chaque méthode

L'évaluation des méthodes de mesure se base :

- sur les exigences de performance générales fixées par la norme NF EN 482 (2021) ;
- sur les exigences complémentaires devant être satisfaites pour certains types particuliers de procédures et de dispositifs de mesurage. Ces exigences concernent notamment<sup>8</sup> :
  - les dispositifs de prélèvement par diffusion (NF EN ISO 23320 (2022) pour l'air des lieux de travail et NF EN 13528-1,-2 (2003) et NF EN 13528-3 (2004) pour l'air ambiant et intérieur) ;
  - les dispositifs de prélèvement de gaz et de vapeurs par pompage (NF EN ISO 22065, 2020) ;
  - les pompes de prélèvement (NF EN ISO 13137, 2022) ;
  - les dispositifs de prélèvement de particules en suspension dans l'air (NF EN 13205 toutes les parties, 2014, NF X 43-257,2016, NF X 43-259,1990) ;
  - les métaux et métalloïdes (NF EN ISO 21832, 2020) ;
  - les agents chimiques sous forme de mélange de particules en suspension dans l'air et de vapeur (NF EN ISO 23861,2022, NF X 43-215, 2018) ;
  - les nano-objets et leurs agrégats et agglomérats (NF EN 16966, 2018) ;
  - les instruments à lecture directe (NF EN 45544-1,-2,-3,2015 et NF EN 45544-4,2016) ;
- sur les exigences devant être satisfaites pour certains agents chimiques et mentionnées dans des normes spécifiques à ces agents chimiques.

Dans le cas où plusieurs protocoles mettent en œuvre une même méthode, celle-ci est étudiée au regard des données de validation décrites dans chaque protocole. Il peut s'avérer que certains protocoles soient peu détaillés et ne présentent pas l'ensemble des données de validation requises. Dans ce cas, le groupe de travail s'assure que la méthode présente bien l'ensemble des données de validation au travers des données disponibles dans chaque protocole.

##### 3.1.1 Origine de la méthode

Le protocole doit avoir été publié dans une source reconnue (Cf. §3.4.1).

##### 3.1.2 Description de la méthode

La description doit comprendre toutes les informations nécessaires pour mener à bien la procédure et indiquer, en outre, l'incertitude élargie qui peut être atteinte, l'étendue de mesure, la durée d'échantillonnage, les interférences et les informations relatives aux conditions environnementales ou autres qui peuvent avoir une influence sur les performances de la procédure de mesure.

##### 3.1.3 Conditions d'échantillonnage

###### Sélectivité

La procédure de mesure doit spécifier les informations appropriées sur la nature et l'ampleur des interférences ainsi que les divers moyens d'amoindrir leurs effets.

Les procédures de mesurage des agents chimiques présents sous forme de particules atmosphériques doivent stipuler une méthode pour prélever la fraction de taille à laquelle se rapporte

<sup>8</sup> Liste non exhaustive.

la valeur de référence fixée pour l'agent chimique. Les fractions de taille sont définies dans la norme NF EN 481 (1993). Dans le domaine de l'air ambiant, les conventions d'échantillonnage des particules sont différentes et sont mises en relation avec les fractions de taille dans la norme NF ISO 7708 (1996).

Si des valeurs de référence différentes sont définies pour différentes espèces d'un agent chimique, la procédure de mesurage doit déterminer chaque espèce concernée.

#### Description de l'échantillonneur

Dans le domaine de l'air des lieux de travail, dans le cas de l'échantillonnage d'un aérosol, la fraction conventionnelle échantillonnée doit être précisée.

Le dispositif d'échantillonnage doit être conforme aux exigences de la norme NF EN 13205 (2014) en fonction de la fraction d'aérosol prélevé (inhalable, thoracique ou alvéolaire), notamment :

- l'incertitude élargie liée au dispositif de prélèvement d'aérosol doit être inférieure à 25% ;
- le biais relatif à la convention de prélèvement doit résulter en une composante d'incertitude (de mesure) comprise entre 5 et 10%, selon le degré d'optimisation du dispositif de prélèvement au regard de la convention de prélèvement. Les dispositifs de prélèvement qui ne sont pas correctement optimisés peuvent avoir une composante d'incertitude comprise entre 20 et 25%.

Pour la fraction inhalable, les exigences de la norme NF X 43-257 (2016) s'appliquent également.

Des exigences supplémentaires spécifiées notamment dans les normes NF EN ISO 23320 (2022), NF EN ISO 22065 (2020), NF EN 13205 (toutes parties, 2014), NF EN ISO 21832 (2020), NF EN ISO 23861 (2022) et NF EN 45544 (parties -1, -2, -3 2015 et partie -4, 2016) doivent être satisfaites pour des types particuliers de procédures et de dispositifs de mesure.

Concernant les polluants semi-volatils (NF X 43-215, 2018) ou pouvant être émis dans l'air sous forme de mélange de particules en suspension dans l'air et de vapeur (NF EN ISO 23861, 2022), le type d'échantillonneur nécessaire pour effectuer la mesure doit être déterminé en fonction du coefficient de distribution des particules en suspension dans l'air (NF EN ISO 23861, 2022). Si ce coefficient est :

- < 10% : il n'est pas nécessaire d'analyser le substrat de collecte des particules.

Ainsi les méthodes de mesure permettant de prélever uniquement la phase vapeur peuvent convenir ;

- compris entre 10 et 90% : les 2 substrats de collecte (particules + vapeur), correspondant à une phase mixte telle que définie en 2.2.2, doivent être analysés.

Les méthodes de mesure doivent donc impérativement permettre de collecter simultanément et d'analyser la phase mixte (particules + vapeur) ;

- > 90% : seul le substrat de collecte des particules doit être analysé.

Ainsi les méthodes de mesure permettant de ne prélever que la phase particulaire peuvent convenir.

En l'absence de test de distribution et de données relatives au coefficient de distribution, le choix de l'échantillonneur peut être déterminé à partir de la pression de vapeur de l'agent chimique (NF EN ISO 23861, 2022) (Cf. Tableau 1).

**Tableau 1 : Conditions de pression de vapeur pour le prélèvement des agents chimiques semi-volatils (d'après l'annexe informative des normes NF EN ISO 23861, 2022 et NF X 43-215, 2018)**

Pression de vapeur à 20°C (Pa)	Conditions de température du procédé	Phase à prélever
> 100	-	Vapeur
[0,001 – 100]	-	Particulaire + vapeur = phase mixte
$\leq 0,001$	Température basse : $\leq 50^{\circ}\text{C}$	Particulaire
	Température élevée : $> 50^{\circ}\text{C}$	Particulaire + vapeur = phase mixte

En l'absence de normes spécifiques pour l'air intérieur portant sur l'échantillonnage de particules en suspension, le dispositif d'échantillonnage doit être conforme aux exigences de la norme NF EN 12341(2023) du domaine de l'air ambiant.

Des exigences pour les échantillonneurs par diffusion sont données dans les normes NF EN 13528 toutes les parties -1,-2(2003) et -3(2004). La norme NF EN 14412 (2004) étend ces exigences au domaine de l'air intérieur.

#### Volume d'air recommandé (ou durée de prélèvement) :

Concernant la durée de prélèvement, celle-ci doit être dans la mesure du possible la plus proche de la période de la valeur de référence.

Si certaines méthodes sont validées sur des durées de prélèvement très courtes, le groupe de travail vérifiera la possibilité d'allonger les durées de prélèvement en fonction des données de validation et notamment des informations relatives à la capacité du support de prélèvement pour approcher la période de référence.

Le volume prélevé recommandé doit être inférieur aux deux tiers du volume de claquage<sup>9</sup> mesuré conformément à la norme NF EN 22065 (2020) dans le cas de prélèvement de gaz ou de vapeur.

#### Débit pour les préleveurs en série :

Dans le cas de préleveurs montés en série, notamment pour la mesure d'agents chimiques sous forme de mélange de particules en suspension dans l'air et de vapeur correspondant à la phase mixte, le débit d'utilisation du dispositif de prélèvement des particules est un débit contrignant qui doit être respecté au risque de ne pas prélever la fraction conventionnelle souhaitée. Ce débit doit être compatible avec le débit de prélèvement du dispositif de prélèvement de vapeurs (NF X 43-215, 2018).

#### Débit de prélèvement par diffusion :

Pour les prélèvements passifs, les débits de prélèvement par diffusion doivent avoir été validés expérimentalement, conformément à la norme NF EN ISO 23320 (2022) ou procédure équivalente.

<sup>9</sup> Volume de claquage : volume d'air que l'on peut faire passer à travers un dispositif de prélèvement avant que le gaz ou la vapeur ne soit élué(e) du dispositif de prélèvement (NF EN 1540, 2021).

L'annexe B de la norme NF EN 13528-2 (2003) mentionne qu'il faut utiliser le débit nominal, à savoir le débit de prélèvement déterminé expérimentalement dans des conditions spécifiées.

#### Rétrodiffusion :

Pour les prélèvements passifs, le biais lié au choix d'un adsorbant non idéal doit être inférieur ou égal à 10%, conformément à la norme NF EN ISO 23320 (2022) ou procédure équivalente.

#### Influence des conditions environnementales :

L'influence des paramètres environnementaux doit être précisée : température, humidité, pression, vitesse d'air, orientation du dispositif de prélèvement...

### **3.1.4 Transport et conservation**

Un bref descriptif des conditions de transport et de stockage (conditionnement, température, durée...) doit être mentionné. La durée de conservation des échantillons avant analyse doit être précisée. Les études de stabilité et de conservation de l'échantillon doivent être détaillées. Le taux de récupération après stockage permettra d'apprécier les conditions de stockage optimales.

Les valeurs moyennes de récupération après conservation ne doivent pas présenter de différences supérieures à 10% de la concentration initiale pour les prélèvements de gaz et de vapeur conformément aux normes NF EN 22065 (2020) et NF EN 13528-2 (2003).

Dans le cas d'échantillons nécessitant des conditions particulières de transport et de stockage pour garantir leur intégrité, par exemple transport et stockage à 4°C ou à l'abri de la lumière, celles-ci doivent être explicitées.

Les métaux et métalloïdes présents dans les particules en suspension dans l'air étant jusqu'à présent analysés sous forme élémentaire totale, le taux de récupération après conservation ne sera pas évalué pour ce type de composés. Pour les métaux et métalloïdes présents dans des gaz ou des vapeurs inorganiques, par exemple le mercure, l'arsenic de l'arsine, etc., ou dans des composés pouvant exister sous forme de mélange de particules/vapeur, par exemple le trioxyde d'arsenic, les exigences sur le taux de récupération sont à satisfaire (NF EN ISO 21832, 2020).

### **3.1.5 Conditions d'analyse**

#### Préparation de l'échantillon :

- les conditions de manipulation de l'échantillon doivent être décrites : désorption, minéralisation, etc. ;
- dans le cas des aérosols, la méthode doit préciser si les dépôts sur les parois du dispositif de prélèvement sont pris en compte.

#### Technique analytique :

- la technique et les conditions analytiques doivent être précisées ;
- la réponse du détecteur doit être vérifiée sur l'étendue du domaine recherché ;
- la technique analytique doit être sensible et spécifique à l'agent chimique (sélectivité, spécificité), les interférences doivent être nulles ou *a minima* identifiées ;
- la méthode doit permettre l'identification de la forme chimique (spéciation pour les composés inorganiques) pour laquelle la valeur de référence est définie.

### 3.1.6 Données de validation

#### Étendue minimale de mesure :

Quel que soit le type de valeur de référence, le domaine de validation doit couvrir au minimum l'intervalle 0,1 à 2 fois la valeur de référence.

Une exception est notée pour les VLCT-15min, pour lesquelles seront considérés deux domaines de validation<sup>10</sup> :

- 0,1 à 2 \* VLCT-15min pour le contrôle technique réglementaire de la VLCT-15min ;
- 0,5 à 2 \* VLCT-15min pour le suivi des expositions court terme.

Dans le cas d'un protocole qui n'est pas validé sur ces intervalles de concentration, le groupe de travail prend en compte les limites de quantification ainsi que les données sur la capacité de l'échantillonneur pour évaluer dans quelle mesure le protocole peut être utilisé sur la plage de concentration requise.

#### Taux de récupération analytique – désorption et minéralisation :

L'efficacité de désorption doit être mentionnée et la méthode de détermination précisée.

Pour les gaz et composés sous forme vapeur, selon les normes NF EN 22065 (2020), NF EN ISO 23320 (2022) et NF EN 13528-2 (2003), le taux de récupération analytique doit être :

- $\geq 75\%$  (avec coefficient de variation  $\leq 10\%$ ) pour les dispositifs de prélèvement de type A<sup>11</sup>;
- $\geq 95\%$  (avec coefficient de variation  $\leq 10\%$ ) pour les dispositifs de prélèvement de type B<sup>12</sup>.

Pour les composés sous forme de mélange de particules et de vapeur, ou les métaux et métalloïdes, selon les normes NF EN ISO 23861 (2022) et 21832 (2020), le taux de récupération analytique doit être  $\geq 90\%$  (avec un coefficient de variation  $\leq 5\%$  pour satisfaire la norme NF EN ISO 21832, 2020).

A noter que pour :

- les métaux et métalloïdes totaux :

- lorsque la procédure de mesurage implique une mise en solution de l'échantillon, le taux de récupération analytique doit être déterminé par l'analyse de composés purs, de matériaux de référence ou d'échantillons d'air de référence ;
- les procédures de mesure qui impliquent l'utilisation de techniques analytiques non destructives peuvent présenter un biais d'analyse dû aux différences physiques ou chimiques entre les échantillons et les matériaux d'étalonnage. Le biais d'analyse doit être estimé en tenant compte des processus impliqués de manière théorique (NF EN ISO 21832, 2020) ou alors, le taux de récupération analytique doit être déterminé expérimentalement (par l'analyse d'échantillons d'air de référence ou par l'analyse d'échantillons d'air du lieu de travail caractérisés par une analyse ultérieure à l'aide d'une procédure de référence).

<sup>10</sup> Les critères de validation et de performance pour les méthodes destinées au suivi des VLCT sont définis par la norme NF EN 482 (2021) 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. En revanche, elle pourrait être classée en catégorie 1A ou 1B uniquement à des fins d'évaluation de l'exposition professionnelle.

<sup>11</sup> Dispositif de prélèvement de type A : dispositif basé sur l'adsorption sur un solide ou support imprégné de réactif, la désorption chimique avec un solvant puis l'analyse du produit de la désorption.

<sup>12</sup> Dispositif de prélèvement de type B : dispositif basé sur l'adsorption sur un solide ou support imprégné de réactif, la désorption thermique puis l'analyse du produit de la désorption.

- les composés solubles des métaux et métalloïdes :

- lorsque la procédure de mesurage n'implique pas de méthode de mise en solution de l'échantillon définie par elle-même<sup>13</sup> ou en présence d'un problème de compatibilité chimique, le taux de récupération analytique est déterminé par l'analyse de blancs de laboratoire dopés ;
- lorsque la procédure de mesurage implique une méthode de mise en solution de l'échantillon définie par elle-même<sup>9</sup>, le taux de récupération analytique est considéré comme étant égal à 100%.

Volume de claquage / capacité :

Pour les prélèvements actifs sur support adsorbant, le volume de claquage ou la capacité doivent avoir été déterminés.

Les conditions de détermination doivent être précisées. Selon la norme NF EN ISO 22065 (2020), dans les conditions d'essai précisées, la quantité d'agent chimique récupérée dans la section secondaire du dispositif de prélèvement doit être inférieure ou égale à 5 % de la quantité totale récupérée.

Si la quantité est supérieure à 5 %, d'autres essais de claquage du dispositif de prélèvement sont à réaliser pour déterminer ce volume.

Limite de quantification :

La limite de quantification doit être précisée et doit permettre de mesurer le dixième de la valeur de référence.

Dans le cas des VLCT-15min, elle doit permettre de mesurer la moitié de la VLCT-15min pour le suivi des expositions court terme et le dixième de la VLCT-15min dans le cadre d'un contrôle technique réglementaire. Les conditions de détermination doivent être précisées.

Dans le cas où la limite de quantification n'est pas mentionnée, elle est estimée égale à 10/3 de la limite de détection si cette dernière a été déterminée comme étant 3 fois l'écart-type sur les mesures du blanc.

Limite de détection :

La limite de détection et les conditions de détermination doivent être précisées.

Dans le cas où la limite de détection n'est pas mentionnée, elle est estimée égale à 3/10 de la limite de quantification si cette dernière a été déterminée comme étant 10 fois l'écart-type sur les mesures du blanc.

Incertitudes :

Les données permettant d'apprécier l'incertitude de la procédure de mesure (prélèvement et analyse) doivent être mentionnées.

D'après la norme NF EN 482 (2021), l'incertitude élargie relative doit être :

---

<sup>13</sup> Dans le cas d'une « méthode de mise en solution de l'échantillon définie par elle-même », les composés solubles de métaux et métalloïdes sont définis par la solution de lixiviation et des conditions de lixiviation spécifiques (annexe A de la norme NF EN ISO 21832, 2020).

- $\leq 50\%$  sur l'intervalle 0,5 à 2 \* la valeur de référence court terme (VLCT-15min ou VGAI-CT) ;
- $\leq 50\%$  sur l'intervalle 0,1 à 0,5 \* la valeur de référence long terme (VLEP-8h ou VGAI-LT) ;
- $\leq 30\%$  sur l'intervalle 0,5 à 2 \* la valeur de référence long terme (VLEP-8h ou VGAI-LT).

Pour les mélanges de particules en suspension dans l'air et de vapeur, cette incertitude élargie relative doit être inférieure ou égale à 50 %.

Dans le cas où l'incertitude élargie n'est pas conforme aux exigences de la norme NF EN 482 (2021), les experts analysent les données d'incertitude disponibles (fidélité, biais, etc.). L'annexe 1 décrit le type de données disponibles, ainsi que l'ensemble des données concourant à l'incertitude (taux de récupération, efficacité de désorption, rétrodiffusion, etc.) pour évaluer ce critère.

## 3.2 Critères de décision

### 3.2.1 Grilles de critères de décision

Les méthodes doivent satisfaire les critères et exigences détaillés dans le chapitre précédent.

Néanmoins, de manière à affiner l'évaluation des méthodes et pouvoir les classer suivant les 4 catégories précédemment définies, différents critères de décision ont été établis.

Les exceptions concernant les VLCT-15 min, les VGAI court terme et les VP sont présentées dans le chapitre 3.2.2.

#### 3.2.1.1 Critères de décision relatifs au prélèvement

Les critères de décision relatifs au prélèvement sont décrits dans le Tableau 2. Les critères d'exclusion qui amènent à ne pas recommander certaines méthodes de mesure sont indiqués en rouge et gras.

Tableau 2 : grille de décision pour le classement des méthodes de mesure dans l'air – paramètres relatifs au prélèvement

Paramètres	Critère de décision	Classement			
		1A	1B	2	3
<b>Dispositif de prélèvement</b>					
Méthode applicable aux contrôles des VLEP par prélèvement individuel	Oui	X			
	<b>Non</b>				<b>X</b>
Support de prélèvement adapté aux états dans lesquels se trouve l'agent chimique à la $P_{atm}$ et $T_{amb}$ (cas notamment de phase mixte gaz-vapeur/aérosol solide ou liquide)	Oui	X			
	<b>Non</b>				<b>X</b>
Conformité du dispositif de prélèvement à la fraction conventionnelle à prélever (à partir de l'étude de l'efficacité d'échantillonnage en conditions expérimentales en laboratoire)	Respect des exigences de la norme NF EN 13205	X			
	Autres données de biais			X	
	<b>Aucune donnée ou sous-estimation sur une partie jugée d'intérêt de la gamme granulométrique</b>				<b>X</b>
<b>Autres critères</b>					
volume de claquage** étudié en atmosphère contrôlée ou dans un flux d'air, déterminé dans les conditions opératoires et suffisant pour mesurer au moins 2 fois la valeur de référence <u>sur une durée de</u>	VLEP-8h	VGAI-LT			
	$\geq 4h$	$\geq 3,5$ jours	X		
	[1-4h[	[1-3,5 jours[		X	
	<1h	< 1 jour			X

Paramètres	Critère de décision	Classement			
		1A	1B	2	3
	Non étudié	voir si étude de la capacité de piégeage			
Capacité de piégeage** étudiée par injection d'une aliquote directement sur le support, déterminée dans les conditions opératoires et suffisante pour mesurer au moins 2 fois la valeur de référence <b>sur une durée de</b>	≥ 4h	≥ 3,5 jours		X	
	< 4h	< 3,5 jours			X
	<b>Non étudié</b>				X
Influence des conditions environnementales sur la capacité de piégeage (humidité relative, température, stabilité du support à la lumière dans le cas de supports imprégnés d'un réactif (dérivation), vitesse de l'air pour les supports passifs...)	Identification et étude	X			
	Identification		X		
	Pas d'information			X	
Interférences (influence sur la capacité de piégeage notamment)	Identification et étude	X			
	Identification		X		
	Pas d'information			X	
Conservation des échantillons	≥ 8 jours	X			
	4-8 jours		X		
	2-4 jours			X	
	<b>&lt; 2 jours ou aucun essai</b>				X
Détermination du débit de prélèvement par diffusion	Déterminé expérimentalement sur le domaine 0,1 à 2 fois la valeur de référence	X			
	Déterminé expérimentalement sur une gamme de concentration différente			X	
	<b>Calculé ou sans information sur les modalités de détermination</b>				X
Variation du débit d'échantillonnage pour les supports passifs Sur 8 heures (VLEP) / sur 7 jours (VGAI)	≤ 10%	X			
	]10-20]%			X	
	<b>&gt; 20% ou NR</b>				X
Rétrodiffusion : Sur 8 heures (VLEP) / sur 7 jours (VGAI)	≤10%	X			
	]10-20]%			X	
	<b>&gt; 20% ou NR</b>				X

\*\* pour tube adsorbant et filtre imprégné ; NR : non renseigné(e)

### 3.2.1.2 Critères de décision relatifs à l'analyse

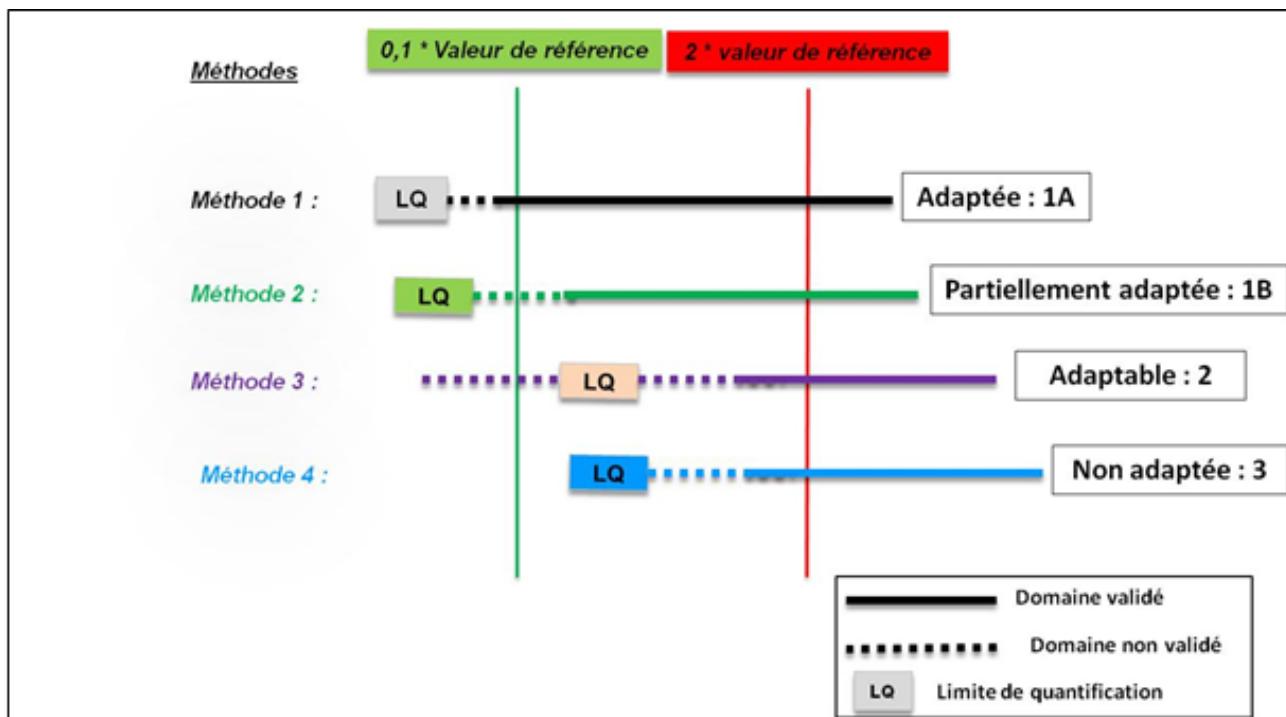
Les critères de décision relatifs à l'analyse sont décrits dans le Tableau 3. Les critères d'exclusion qui amènent à ne pas recommander certaines méthodes de mesure sont indiqués en rouge et en gras.

Tableau 3 : grille de décision pour le classement des méthodes de mesure dans l'air – paramètres relatifs à l'analyse

Paramètres	Critère de décision	Classement			
		1A	1B	2	3
Technique d'analyse adaptée au regard de l'agent chimique à doser	Adaptée	X			
	<b>Non adaptée</b>				X
Sélectivité/spécificité	Oui	X			
	<b>Non</b>				X
Spéciation <sup>14</sup>	Oui	X			
	Non		Classement selon jugement d'expert		
Taux de récupération analytique Rendement d'adsorption/désorption - rendement de minéralisation	Plusieurs concentrations sur le domaine 0,1 à 2 fois la valeur de référence	X			
	Une concentration sur le domaine 0,1 à 2 fois la valeur de référence		X		
	En dehors de la gamme de concentration			X	
	<b>Non déterminé ou valeur non conforme aux exigences des normes</b>				X
Interférences analytiques	Identification et étude	X			
	Identification		X		
	Pas d'information			X	
Limite de quantification et étendue de mesure adaptées à des concentrations correspondant aux valeurs de référence	Adaptées	X			
	Partiellement adaptées		X		
	Adaptables			X	
	<b>Non adaptées</b>				X
Données d'incertitude (prélèvement + analyse)	Incertitudes globales et élargies sur le domaine 0,1 – 2*VR : plusieurs points gamme, exigences EN 482 respectées	X			
	Incertitudes globales et élargies sur une autre gamme, autres données d'incertitude, exigences EN 482 non respectées, donnée sur une partie trop restreinte de la gamme, etc.		Classement selon jugement d'expert (Cf. § 3.1.6)		
	<b>Aucune donnée d'incertitude</b>				X

<sup>14</sup> La spéciation concerne les composés inorganiques.

Concernant le critère « Limite de quantification et étendue de mesure adaptées à des concentrations correspondant aux valeurs de référence », la Figure 3 schématise les différents classements des méthodes au regard des domaines de validation et limites de quantification.



Concernant le critère « Données d'incertitude », des exemples de cas où l'incertitude élargie n'est pas conforme aux exigences de la norme NF EN 482 (2021) peuvent être : incertitude globale et élargie déterminée sur une autre gamme de concentration, incertitude non globale, autres données d'incertitude, exigences EN 482 non respectées, données obtenues sur une partie trop restreinte de la gamme, etc.

### 3.2.2 Exceptions

#### 3.2.2.1 Suivi des valeurs de référence court terme

##### 3.2.2.1.1 *Suivi des VLCT-15min*

Pour l'évaluation des méthodes au regard d'une VLCT-15min, les critères définis précédemment s'appliquent également, à l'exception des critères relatifs à la capacité de piégeage, à la variation de débit et à la rétrodiffusion.

Une autre exception est l'intervalle d'applicabilité de la méthode qui doit couvrir 0,5 à 2 \* VLCT-15min (cf. § 3.1.6).

##### 3.2.2.1.2 *Suivi des VGAI court terme*

Pour l'évaluation des méthodes au regard d'une VGAI court terme, les critères définis précédemment s'appliquent à l'exception des critères relatifs à la capacité de piégeage, à la variation de débit et à la rétrodiffusion.

### 3.2.2.2 Suivi de valeur plafond

Compte tenu de la définition et de la finalité de la valeur plafond, les méthodes de mesure consistant à effectuer un prélèvement d'air puis une analyse en différé ne conviennent pas pour le suivi et le contrôle de ce type de valeur limite.

Pour le suivi de valeur plafond, il doit donc être recherché en priorité l'existence de systèmes de mesure individuels et spécifiques pour le suivi en continu de la concentration en temps réel.

Ces dispositifs doivent satisfaire aux exigences générales de la norme NF EN 482 (2021) et aux exigences particulières de la norme NF EN 45544 (parties -1,-2,-3, 2015 et partie -4, 2016) relative uniquement aux gaz et vapeurs. Il faudra porter particulièrement attention aux caractéristiques suivantes (cf. annexe 2) :

- domaine de mesure des concentrations;
- sensibilité ;
- temps de réponse ;
- sélectivité (notamment avec l'utilisation d'une cellule électrochimique) ;
- ...

Dans le cas où il n'existe pas de système de mesure de la concentration en continu portable individuel, alors les systèmes de mesure de la concentration en continu portables, transportables ou à poste fixe seront également évalués. Dans le cas où il n'existe aucun système de mesure de la concentration en continu, alors l'existence d'autres méthodes de mesure de la concentration sera mentionnée, tout en précisant clairement que ces méthodes ne sont pas adaptées pour le contrôle de valeur plafond. Par conséquent, ces méthodes seront classées en catégorie 3. A titre informatif, le domaine d'utilisation de ces méthodes sera également précisé.

Le Tableau 4 ci-dessous présente les différents types de méthode et leur classement possible en fonction de leur performance pour le suivi et le contrôle de valeur plafond :

**Tableau 4 : Exigences pour les différents types de méthodes à recenser pour le suivi de valeur plafond**

Type de méthode	Classement maximal	Exigences
Mesure en continu de l'exposition à l'aide d'un analyseur individuel	1A	Conformité à la norme NF EN 45554
Mesure en continu de l'exposition ou de la concentration dans l'air des lieux de travail à l'aide d'un analyseur portable	1B	Conformité à la norme NF EN 45554
Mesure en continu de la concentration dans l'air des lieux de travail à l'aide d'un appareil fixe ou transportable	2	Conformité à la norme NF EN 45554
Mesure ponctuelle à l'aide d'un appareil ou dispositif à réponse immédiate (tubes détecteurs par exemple)	3	Conformité à la norme NF EN ISO 17621
Mesure ponctuelle à l'aide d'un appareil ou dispositif à réponse différée nécessitant une analyse en laboratoire	3	-

## 3.3 Éléments complémentaires

Facilité de mise en œuvre (coût, matériel nécessaire...)

Le cas échéant, si la méthode nécessite un matériel spécifique ou des conditions particulières pour être mise en œuvre, ces conditions sont explicitement mentionnées.

#### Sécurité de mise en œuvre :

La mise en œuvre de la méthode (prélèvement et analyse) ne doit pas constituer une source de risque potentiel pour la santé et la sécurité des travailleurs.

### **3.4 Démarche d'évaluation des méthodes**

#### **3.4.1 Recensement des protocoles**

Les dispositifs de mesure mettant en œuvre des tubes colorimétriques ne sont pas adaptés pour la comparaison à des valeurs de référence par manque de sensibilité, de données de validation et du fait d'une mise en œuvre sur quelques minutes.

Ils sont plutôt développés à des fins d'estimation rapide d'un niveau de concentration pour des situations accidentelles ou d'identification de sources de pollution par exemple.

Les dispositifs de mesure en continu ne sont habituellement pas des systèmes de mesure individuels et, par conséquent, ne sont pas adaptés pour la comparaison à des VLEP-8h ou VLCT-15min mais peuvent être appropriés pour le suivi d'une valeur plafond. Par ailleurs, ces dispositifs manquent généralement de sensibilité et de données de validation.

Dans le domaine de l'air intérieur, la mise en œuvre de dispositifs en continu peut être contraignante en termes d'encombrement et de nuisances sonores notamment.

De ce fait, ces dispositifs de mesure ne seront donc généralement pas recensés ni systématiquement évalués dans le cadre de ces travaux d'expertise, excepté dans le cas d'une valeur plafond.

##### **3.4.1.1 Pour la comparaison à des VLEP**

Les protocoles doivent être publiés dans une source reconnue et doivent permettre l'évaluation de l'exposition professionnelle c'est-à-dire mettant en œuvre des méthodes de mesure individuelle.

Les protocoles spécifiant des mesures à poste fixe uniquement, des mesures environnementales ou des mesures de la qualité de l'air intérieur ne sont pas évalués. Néanmoins, ils pourront être recensés et détaillés s'il n'existe pas de protocole de mesure individuelle suffisamment validé.

Les principales sources consultées sont les suivantes (liste non exhaustive) :

- France : INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité - base de données MétroPol)  
<http://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html>
- Europe : Base de données Gestis : regroupement de méthodes européennes validées, centralisées au BGIA (Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz) Allemagne  
<https://amcaw.ifa.dguv.de/amcaw/substances/list>
- Espagne : INSST (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo)  
<https://www.insst.es/metodos-de-toma-de-muestras-y-analisis>
- UK: HSE (Health and Safety Executive)  
<http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/index.htm>
- Allemagne : IFA (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung), IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen :  
<http://www.ifa-arbeitsmappedigital.de/sg/9/inhalt.html>

- Allemagne : The MAK Collection for Occupational Health and Safety – Air Monitoring Methods  
<http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/3527600418>
- Canada : IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail)  
<http://www.irsst.qc.ca/-listersst.html>
- USA: NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)  
<http://www.cdc.gov/niosh/nmam/default.html>
- USA: OSHA (Occupational Safety and Health Administration)  
<http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/toc.html>
- Si besoin, la littérature scientifique internationale pertinente.

#### Organismes de normalisation :

- AFNOR : Normes préparées ou examinées par la commission X43C « Air des lieux de travail » (code ICS 13.040.30) : <http://www.afnor.fr>
- ISO : Normes préparées ou examinées par le sous-comité TC 146/SC 2 « atmosphères des lieux de travail » (code ICS 13.040.30) : <http://www.iso.org>
- CEN : Normes préparées ou examinées par le sous-comité TC 137 « Evaluation de l'exposition aux agents chimiques et biologiques sur le lieu de travail » : <http://www.cen.eu/>

#### 3.4.1.2 Pour la comparaison à des VGAI

Les protocoles doivent être publiés dans une source reconnue. Sur la base de la définition des VGAI, les protocoles doivent permettre de mesurer une concentration dans l'air associée à un temps d'exposition. Communément, cette définition renvoie à une mesure d'ambiance qui repose sur des dispositifs de mesure à positionner dans une pièce. Les systèmes de prélèvement individuel renvoient quant à eux à l'exposition d'une personne pouvant fréquenter différents environnements sur le temps d'exposition. L'ensemble de ces protocoles décrits pour l'air intérieur seront recensés et détaillés en vue d'une évaluation.

En revanche, les protocoles permettant d'évaluer l'exposition professionnelle mettant en œuvre des méthodes de mesure individuelle ne sont pas évalués. Néanmoins, ils pourront être recensés et détaillés s'il n'existe pas de protocole de mesure suffisamment validé.

Les principales sources consultées sont les suivantes (liste non exhaustive) :

- LCSQA : Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air :  
<https://www.lcsqa.org/fr/rapports-publies>
- OQEI : Observatoire de la Qualité des environnements intérieurs
- EPA: Environmental protection agency (USA) : Air Monitoring Methods – Indoor air (IP), Inorganic (IO) et Toxic Organic (TO) Compendium Methods.  
<https://www.epa.gov/amtic/air-monitoring-methods>  
<https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/indoor-air>
- Si besoin, la littérature scientifique internationale pertinente.

#### Organismes de normalisation :

- AFNOR : Normes préparées ou examinées par la commission X43 I « Air intérieur » ou par la commission X43D « qualité de l'air – atmosphères ambiantes » : <http://www.afnor.fr>
- ISO : Normes préparées ou examinées par le sous-comité TC 146/SC6 « air intérieur » ou SC3 « atmosphères ambiantes » : <http://www.iso.org>
- CEN : Normes préparées ou examinées par le sous-comité TC 264 « Qualité de l'air » : <http://www.cen.eu/>

### 3.4.2 Identification des différentes méthodes disponibles

Les différentes méthodes sont identifiées au travers des protocoles recensés.

Les protocoles mettant en œuvre une même méthode de mesure, c'est-à-dire quand le dispositif de prélèvement, la technique de préparation de l'échantillon et la technique d'analyse sont analogues, sont regroupés.

### 3.4.3 Recherche des critères d'exclusion

Les critères d'exclusion sont les critères essentiels dont le non-respect amène à ne pas recommander ces méthodes de mesure, correspondant au classement de la méthode en catégorie 3.

Hormis pour le cas de valeur plafond (Cf. 3.2.2.2), les critères d'exclusion sont les suivants (Cf. aussi Tableau 2 et Tableau 3) :

#### Concernant le prélèvement :

- prélèvement non individuel pour la comparaison aux VLEP ;
- support de prélèvement inadapté aux états dans lesquels se trouve l'agent chimique à la pression atmosphérique et à température ambiante (20-25°C) : cas notamment de phase mixte gaz-vapeur/aérosol solide ou liquide ;
- dispositif de prélèvement non conforme à la fraction conventionnelle à prélever ;
- absence d'étude de la capacité de piégeage et de la rétention ;
- débit d'échantillonnage pour les supports passifs non calculé selon NF EN ISO 23320 (2022) ou selon NF EN 13528-2 (2003) et non déterminé expérimentalement ;
- absence de donnée sur la conservation des échantillons (ou taux de récupération insuffisant) ou durée de conservation des échantillons inférieure à 2 jours ;
- variation du débit de diffusion > 20% ou non renseignée ;
- rétrodiffusion > 20% ou non renseignée.

#### Concernant l'analyse :

- technique d'analyse inadaptée au regard de l'agent chimique à doser ;
- technique d'analyse non sélective/non spécifique ;
- étendue de mesure et limite de quantification inadaptées ;
- taux de récupération analytique non déterminé ou non conforme aux exigences des normes.

#### Concernant la performance de la méthode globale :

- absence de données relatives à l'incertitude élargie de mesure de la méthode.

Dès lors qu'un de ces critères d'exclusion est identifié, la méthode est classée en catégorie 3 et ne fait pas l'objet d'une évaluation détaillée. Pour la mesure d'aérosol ou d'agent chimique en phase mixte, une première évaluation est réalisée au regard des critères relatifs au prélèvement et une seconde au regard des critères relatifs à l'analyse conduisant à un classement différencié des méthodes de prélèvement et d'analyse puis un classement global de la méthode de mesure.

### 3.4.4 Recueil des données nécessaires à l'évaluation

Si aucun critère d'exclusion n'a pu être établi, alors la méthode fait l'objet d'une évaluation détaillée.

Pour réaliser cette évaluation, différents paramètres sont répertoriés à partir des protocoles similaires décrivant la méthode.

Ce recensement est effectué à l'aide des 2 tableaux suivants (Tableau 5 et Tableau 6) :

**Tableau 5 : Paramètres descriptifs des méthodes de mesure pour la comparaison des concentrations dans l'air aux VGAI ou VLEP**

Méthode n° XX - prélèvement - traitement échantillon - analyse		Protocole n°1	Protocole n°2
Paramètres descriptifs			
Gaz/vapeur - Aérosol - Mixte		<i>Préciser s'il s'agit de la forme gazeuse ou particulaire, ou les deux. Dans le cas d'aérosol préciser la fraction conventionnelle prélevée</i>	
Prélèvement	Actif / passif	<i>Préciser si le prélèvement est actif (passage d'un flux d'air au moyen d'une pompe) ou passif (diffusion de l'air au travers du média)</i>	
	Système de prélèvement	<i>Préciser le système de prélèvement (cassette fermée, tube, cyclone...), la nature du support de prélèvement (filtre fibre de verre, charbon actif...) et ses caractéristiques (diamètre, quantité d'adsorbant...)</i>	
	Débit	<i>Préciser le débit recommandé. Dans le cas de prélèvements passifs, préciser le débit d'échantillonnage (si le débit d'échantillonnage est donné par le fabricant, noter (F) ; ou si l'on dispose de données de validation expérimentale, noter (Ex))</i>	
	Volume	<i>Préciser le volume d'air recommandé</i>	
	Durée	<i>Préciser la durée d'échantillonnage recommandée</i>	
Analyse	Préparation échantillon	<i>Préciser les conditions de préparation de l'échantillon : désorption/dissolution (nature du solvant, dissolution du filtre/cassette, désorption thermique...)</i>	
	Technique d'analyse	<i>Préciser la technique d'analyse et le mode de détection utilisés : GC, HPLC, ICP, chromatographie ionique ; FID, MS...</i>	
	Paramètres analytiques	<i>Préciser les principaux paramètres analytiques</i>	

**Tableau 6 : Données de validation des méthodes de mesure pour la comparaison des concentrations dans l'air aux VGAI ou VLEP**

Méthode n° XX - prélèvement - traitement échantillon - analyse		Protocole n°1	Protocole n°2
Domaine de validation	Préciser l'étendue de mesure sur laquelle a été validée la méthode		
Coefficient de désorption / efficacité de désorption / taux récupération analytique	Préciser les valeurs des coefficients de partage et d'adsorption-désorption, leurs critères d'acceptation		
Données de validation expérimentale du débit d'échantillonnage	A remplir dans le cas de support passif		
Données de stabilité du débit d'échantillonnage	A remplir dans le cas de support passif		
Rétrodiffusion	A remplir dans le cas de support passif		
Capacité / volume de claquage	Dans le cas de prélèvement actif sur tube adsorbant, préciser les conditions de détermination		
Linéarité de réponse du détecteur (instrument d'analyse)	Préciser si la linéarité a été vérifiée (capacité à fournir des réponses proportionnelles à la concentration en analyte à doser)		
Essais de conservation et de stockage avant analyse Taux de récupération après stockage	Préciser les conditions de stockage et de transport à respecter. Mentionner s'il y a eu des études de perte d'analyte en fonction du temps, Renseigner le taux de récupération après stockage		
Conditions environnementales	Préciser, le cas échéant, l'influence des paramètres environnementaux : température, pression, hygrométrie, vitesse du vent, orientation du dispositif de prélèvement...		
Sélectivité / interférences	Préciser l'influence d'éventuels interférents (interférents sur le prélèvement et interférents sur l'analyse)		
Spéciation* (*concerne les composés inorganiques)	Préciser si la méthode permet l'identification de la forme chimique sous laquelle se trouve l'agent chimique		
Conditions de détermination de VLEP-8h / VGAI long terme	Estimation de l'incertitude élargie	Inclure si possible incertitude du prélèvement + incertitude de l'analyse. Détailler dans la mesure du possible les différentes composantes de l'incertitude	
	Limite de détection	Mentionner la valeur donnée et convertie en concentration dans l'air en mg.m <sup>-3</sup> . Préciser le mode de détermination et le volume prélevé	
	Limite de quantification	Mentionner la valeur donnée et convertie en concentration dans l'air en mg.m <sup>-3</sup> . Préciser le mode de détermination et le volume prélevé	
Conditions de détermination de VLCT-15min / VGAI Court terme	Estimation de l'incertitude élargie	Inclure si possible incertitude du prélèvement + incertitude de l'analyse. Détailler dans la mesure du possible les différentes composantes de l'incertitude	
	Limite de détection	Mentionner la valeur donnée et convertie en concentration dans l'air en mg.m <sup>-3</sup> . Préciser le mode de détermination et le volume prélevé	
	Limite de quantification	Mentionner la valeur donnée et convertie en concentration dans l'air en mg.m <sup>-3</sup> . Préciser le mode de détermination et le volume prélevé	
INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES			
Informations complémentaires	Donner toute information complémentaire permettant de compléter le jugement sur une méthode donnée : caractère pratique, disponibilité des matériels ou des réactifs, facilité de mise en œuvre...		

### 3.4.5 Classement des méthodes

L'évaluation de chaque méthode s'effectue au regard de la conformité aux exigences de performances indiquées notamment dans la norme NF EN 482 (2021) et des critères de décision détaillés précédemment (Cf. § 3.2) sur la base des données recueillies (Cf. § 3.4.4). Concernant les aérosols et les agents chimiques en phase mixte, une première évaluation est réalisée au regard des critères relatifs au prélèvement et une seconde au regard des critères relatifs à l'analyse conduisant à un classement différencié des méthodes de prélèvement et d'analyse, puis à un classement global de la méthode de mesure selon les catégories suivantes :

- **Catégorie 1A : méthodes validées** (l'ensemble des critères de performance sont satisfaits) ;
- **Catégorie 1B : méthodes partiellement validées** (les critères essentiels de performance sont satisfaits) ;
- **Catégorie 2 : méthodes indicatives** (des critères essentiels à la validation ne sont pas suffisamment explicités, ou bien la méthode nécessite des ajustements devant faire l'objet d'une validation) ;
- **Catégorie 3 : méthodes non validées ou non évaluables.** Cette catégorie englobe les méthodes inadaptées pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas remplis et les méthodes non évaluables (désignées par la catégorie 3\*) pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas documentés.

Chaque méthode est classée en fonction de la notation la plus basse attribuée à un des critères d'évaluation.

Néanmoins, en fonction du critère concerné, et sur la base du jugement d'expert, il n'est pas exclu que la méthode puisse être classée à un niveau supérieur ou inférieur sous réserve que cela puisse être clairement justifié.

Les Tableaux 7 et 8 présentent des exemples de classements possibles de méthodes de mesure pour les agents chimiques gazeux et pour les agents chimiques particulaires ou sous forme de phase mixte.

Tableau 7 : Classements potentiels des méthodes de mesure d'agents chimiques sous forme gazeuse

Méthodes		Protocoles	Classement de la méthode (préciser au regard de quelle valeur de référence)
A	Principe à rappeler	référence	1A
B	Principe à rappeler	référence	1B
C	Principe à rappeler	référence	2
D	Principe à rappeler	référence	3
E	Principe à rappeler	référence	3*
* méthode non évaluable en l'absence de données			

**Tableau 8 : Classements potentiels des méthodes de mesure d'agents chimiques sous forme particulaire ou en phase mixte**

Méthodes		Protocoles	Classement de la méthode de mesure (préciser au regard de quelle valeur de référence)		
			Dispositif de prélèvement	Méthode d'analyse <sup>(1)</sup>	Évaluation globale
A	Principe à rappeler	référence	/	1A, 1B, 2	/
B	Principe à rappeler	référence	/	3	3
C	Principe à rappeler	référence	1A, 2	3	3
D	Principe à rappeler	référence	1A	1A	1A
E	Principe à rappeler	référence	1A	1B	1B
F	Principe à rappeler	référence	1A	2	2
G	Principe à rappeler	référence	2	1A, 1B, 2	2
H	Principe à rappeler	référence	3	1A, 1B, 2	3

(1) Inclus les autres critères relatifs au prélèvement et ceux relatifs à l'analyse (cf. § 4.1)

### 3.4.6 Élaboration des recommandations

Une étude comparative et détaillée des méthodes est ensuite 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 à des fins de comparaison aux différentes valeurs de référence recommandées.

Une ou plusieurs méthodes peuvent être recommandées. Dans tous les cas, les conditions d'application de chaque méthode seront précisées, et notamment, pour quel type de valeur les méthodes sont recommandées.

Lorsqu'il s'avère qu'aucune méthode n'est suffisamment validée, l'usage ou le développement et la validation d'une méthode de mesure peuvent être recommandés en soulignant les limites de celle-ci et en précisant notamment les paramètres nécessitant une validation complémentaire.

Lorsqu'une méthode comporte un danger et/ou une contrainte particulière, que ce soit pendant la phase de prélèvement ou la phase d'analyse, ceux-ci sont soulignés dans le rapport et des recommandations peuvent être émises pour la mise en œuvre de cette méthode ou des améliorations éventuelles à apporter.

Dans le cas où une méthode utiliserait des agents chimiques classées cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques (CMR) de catégorie 1A ou 1B, et qu'il existe des méthodes alternatives équivalentes en termes de niveau de validation et mettant en œuvre des agents chimiques moins dangereux, seules ces méthodes alternatives seront recommandées.

Dans le cas où aucune méthode n'est décrite pour l'agent chimique étudié, des recommandations basées sur des informations tirées de la littérature peuvent être émises.

## 4 Évaluation des méthodes de mesure dans les poussières

### 4.1 Exigences de performance pour l'évaluation de chaque méthode

#### 4.1.1 Origine de la méthode

Le protocole doit avoir été publié dans une source reconnue (Cf. §4.4.1).

#### 4.1.2 Description de la méthode

La description doit comprendre toutes les informations nécessaires pour mener à bien la procédure et indiquer, en outre, l'incertitude élargie qui peut être atteinte, l'étendue de mesure, les interférences et les informations relatives aux modalités de prélèvement.

#### 4.1.3 Conditions d'échantillonnage

##### Description du système de prélèvement

Le dispositif doit être adapté au(x) composé(s) recherché(s) et ne pas être source de contamination de l'échantillon prélevé. Le cas échéant, il doit permettre d'obtenir ou de garantir l'obtention de la fraction granulométrique d'intérêt, si elle est précisée.

##### Paramètres du prélèvement :

La surface prélevée lors des essais de validation doit être connue et *a minima* égale ou supérieure à celle indiquée dans le protocole.

Le scénario de prélèvement doit être connu et suivi : mode (essuyage, tamponnage, aspiration), scénario et nombre de passages, pliages (dans le cas de l'utilisation d'une lingette), type d'embout et vitesse de l'air (dans le cas de l'aspiration).

Un point d'attention est à porter sur le couple lingette/type d'imprégnation utilisé pour les prélèvements par essuyage ou tamponnage. Elle doit être adaptée au(x) composé(s) recherché(s).

Dans le cas d'un prélèvement par aspiration, un tamisage selon la fraction granulométrique d'intérêt doit être réalisé, sauf dans le cas de l'utilisation d'un système permettant de prélever directement la fraction d'intérêt. Concernant la fraction d'intérêt considérée, si un consensus se dessine pour considérer qu'au-dessus de 250 µm, l'adhésion des particules à la peau est faible, il n'y a pas d'accord sur une valeur optimale (Anses, 2019). L'utilisation de cette fraction de 250 µm peut entraîner une sous-estimation des concentrations de certains COSV, plus concentrés sur les fractions plus fines (Anses, 2019). Ainsi, la taille des poussières qui collent à la peau est variable selon la littérature mais la fraction la plus souvent considérée, dans un contexte d'évaluation des expositions humaines, est inférieure à 150 µm (Ruby *et al.* 2016). Par exemple, lors de l'enquête nationale dans 300 écoles françaises pour décrire la qualité de l'environnement intérieur des salles de classe menée, entre 2013 et 2017, par OQAI, les poussières déposées au sol prélevées par aspiration ont été tamisées à 100 µm (Dassonville *et al.* 2019).

#### 4.1.4 Transport et conservation

Les conditions de transport et de conservation (conditionnement, température, durée...) doivent être décrites et justifiées. Les études de conservation et stabilité des agents chimiques doivent être détaillées.

Le taux de récupération après stockage permettra d'apprécier les conditions de stockage optimales. Les valeurs moyennes de récupération après conservation ne doivent pas présenter de différences supérieures à 10 % de la concentration initiale.

Il est à noter que les métaux et métalloïdes étant jusqu'à présent analysés sous la forme élémentaire totale, le taux de récupération après conservation ne sera pas évalué pour ce type de composés. Cependant, une attention particulière sera à porter pour les métaux et métalloïdes partiellement volatils (mercure, arsenic, plomb...).

#### 4.1.5 Conditions d'analyse

##### Préparation de l'échantillon :

- les conditions de manipulation de l'échantillon doivent être décrites : désorption, minéralisation, etc.

##### Technique analytique :

- la technique et les conditions analytiques doivent être précisées ;
- la réponse du détecteur doit être vérifiée sur l'étendue du domaine recherché ;
- la technique analytique doit être sensible et spécifique à l'agent chimique (sélectivité, spécificité), les interférences doivent être nulles ou *a minima* identifiées ;
- la méthode doit permettre l'identification de la forme chimique (spéciation pour les composés inorganiques) pour laquelle la valeur de référence est définie.

#### 4.1.6 Données de validation

##### Dopage

Les méthodes doivent avoir été validées par un dopage de la surface ou du support, en utilisant un type de dopage (poudre, solution ou suspension) adapté au(x) composé(s) recherché(s), à la nature de la surface et à la méthode de prélèvement utilisée.

Une attention particulière portera sur la nature d'une éventuelle matrice (réelle ou synthétique) utilisée pour le dopage.

Les méthodes ayant été validées sur plusieurs types de surfaces seront mises en avant.

##### Matériaux de référence certifiés

Des matériaux de référence certifiés peuvent être utilisés dans le cadre de la validation d'une méthode.

##### Étendue minimale de mesure :

Quel que soit le type de valeur de référence, le domaine de validation doit couvrir au minimum l'intervalle 0,1 à 2 fois la VGPI.

Dans le cas d'un protocole qui n'est pas validé sur ces intervalles de concentration, le groupe de travail prend en compte les limites de quantification pour évaluer dans quelle mesure le protocole peut être utilisé sur la plage de concentration requise.

### Taux de récupération analytique – désorption, extraction, et minéralisation :

Le taux de récupération analytique doit être mentionné et la méthode de détermination précisée.

La récupération est considérée comme complète lorsqu'elle est supérieure à 90% avec un coefficient de variation (CV)  $\leq 10\%$ . Un taux supérieur à 75% avec un CV  $\leq 10\%$  est considéré comme acceptable, mais toute correction du résultat doit être mentionnée.

A noter que pour :

- Les métaux et métalloïdes totaux :

- lorsque la procédure de mesurage implique une mise en solution de l'échantillon, le taux de récupération analytique doit être déterminé par l'analyse de composés purs ou de matériaux de référence ;
- les procédures de mesure qui impliquent l'utilisation de techniques analytiques non destructives peuvent présenter un biais d'analyse dû aux différences physiques ou chimiques entre les échantillons et les matériaux d'étalonnage. Le taux de récupération analytique doit alors être déterminé expérimentalement (par l'analyse d'échantillons de poussières de référence) ou le biais d'analyse doit être estimé en tenant compte des processus impliqués de manière théorique (NF EN ISO 21832, 2020).

- Les composés solubles des métaux et métalloïdes :

- lorsque la procédure de mesurage n'implique pas de méthode de mise en solution de l'échantillon définie par elle-même<sup>15</sup> ou en présence d'un problème de compatibilité chimique (avec la lingette dans le cas de prélèvements par essuyage), le taux de récupération analytique est déterminé par l'analyse de blancs de laboratoire dopés ;
- lorsque la procédure de mesurage implique une méthode de mise en solution de l'échantillon définie par elle-même<sup>9</sup>, le taux de récupération analytique est considéré comme étant égal à 100%.

### Limite de quantification :

La limite de quantification doit être précisée et doit permettre de mesurer le dixième de la valeur de référence.

Dans le cas où la limite de quantification n'est pas mentionnée, elle est estimée égale à 10/3 de la limite de détection si cette dernière a été déterminée comme étant 3 fois l'écart-type sur les mesures du blanc.

### Limite de détection :

La limite de détection et les conditions de détermination doivent être précisées.

Dans le cas où la limite de détection n'est pas mentionnée, elle est estimée égale à 3/10 de la limite de quantification si cette dernière a été déterminée comme étant 10 fois l'écart-type sur les mesures du blanc.

### Incertitudes :

<sup>15</sup> Dans le cas d'une « méthode de mise en solution de l'échantillon définie par elle-même », les composés solubles de métaux et métalloïdes sont définis par la solution de lixiviation et des conditions de lixiviation spécifiques (annexe A de la norme NF EN ISO 21832, 2020).

Les données permettant d'apprécier l'incertitude de la procédure de mesure (prélèvement et analyse) doivent être mentionnées.

L'incertitude élargie relative doit être  $\leq 50\%$  sur l'intervalle 0,1 à 2 fois la VGPI.

Dans le cas où l'incertitude élargie n'est pas précisée, le groupe de travail analyse les données d'incertitude disponibles, par exemple la fidélité intermédiaire.

Selon la définition du VIM<sup>16</sup>, la fidélité intermédiaire est une fidélité de mesure selon un ensemble de conditions qui comprennent la même procédure de mesure, le même lieu et des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires pendant une période de temps étendue, mais peuvent comprendre d'autres conditions que l'on fait varier.

Elle est validée lorsqu'elle est déterminée sur au moins une concentration dans le domaine (0,1 à 2X la VGPI) avec un coefficient de variation maximum de 20%. La méthode est classée comme indicative lorsqu'elle est déterminée sur une concentration en dehors du domaine (0,1 à 2X la VGPI) avec un coefficient de variation maximum de 20%. La méthode n'est pas validée lorsque le coefficient de variation est supérieur à 20% ou non déterminé.

## 4.2 Critères de décisions

Les méthodes doivent satisfaire les critères et exigences détaillés dans le chapitre précédent.

Néanmoins, de manière à affiner l'évaluation des méthodes et pouvoir les classer suivant les 3 catégories précédemment définies, différents critères de décision ont été établis.

### 4.2.1 Critères de décision relatifs au prélèvement

Les critères de décision relatifs au prélèvement sont décrits dans le tableau 9. Les critères d'exclusion qui amènent à ne pas valider certaines méthodes de mesure sont indiqués en rouge et en gras.

Tableau 9 : Grille de décision pour le classement des méthodes de mesure dans les poussières – paramètres relatifs au prélèvement

Méthode	Paramètres	Critères d'évaluation	Classement		
			1	2	3
Prélèvement					
Toutes méthodes	Méthode applicable aux contrôles des VGPI (prélèvement des poussières sédimentées)	Oui	X		
		<b>Non</b>			<b>X</b>
	Dans le cas d'un résultat exprimé en masse/surface, taille de la surface échantillonnée lors de la validation de la méthode	Indiquée	X		
		Non indiquée		X	
	Utilisation d'un support de collecte et d'un dispositif de prélèvement compatible avec le(s) composé(s) recherché(s), la fraction à prélever, et la méthode d'analyse qui va être utilisée	Indiqué	X		
		<b>Non indiqué</b>			<b>X</b>
	Conditions de conservation entre le prélèvement et l'analyse, stabilité du stockage	Taux de récupération conforme aux exigences ou non concerné <sup>17</sup>	X		
		Documentées		X	

<sup>16</sup> <https://jcgm.bipm.org/vim/fr/index.html>

<sup>17</sup> Du fait de leur stabilité physico-chimique, la plupart des composés inorganiques ne sont pas concernés par ce paramètre.

Méthode	Paramètres	Critères d'évaluation	Classement		
			1	2	3
<b>Prélèvement</b>					
		<b>Inadaptées ou non documentées</b>			X
Méthode de prélèvement par essuyage	Modalités de passage du support	Détaillées <sup>18</sup>	X		
		Information partielle	Classement selon jugement d'expert		
		<b>Non indiquées</b>			X
Méthode de prélèvement par aspiration	Conformité à la fraction d'intérêt	Oui	X		
		<b>Non</b>			X

#### 4.2.2 Critères de décision relatifs à l'analyse

Les critères de décision relatifs à l'analyse sont décrits dans le Tableau 10. Les critères d'exclusion qui amènent à ne pas valider certaines méthodes de mesure sont indiqués en rouge et en gras.

Tableau 10 : Grille de décision pour le classement des méthodes de mesure dans les poussières – paramètres relatifs à l'analyse

Paramètres	Critères d'évaluation	Classement		
		1	2	3
<b>Analyse</b>				
Technique d'analyse	Adaptée au regard de l'agent chimique à doser	X		
	<b>Non adaptée au regard de l'agent chimique à doser</b>			X
Sélectivité/Spécificité	Oui	X		
	<b>Non</b>			X
Spéciation <sup>19</sup>	Oui	X		
	Non		Classement selon jugement d'expert	
Essai de validation de la méthode par dopage de la surface ou du support (solution, suspension ou poudre)	Oui	X		
	<b>Non</b>			X
Interférences analytiques	Identification et étude	X		
	Identification		X	
	Pas d'information		Classement selon jugement d'expert	
Limite de quantification et étendue de mesure adaptées à des concentrations correspondant aux valeurs de référence	Adaptées (0,1 à 2 X la VGPI)	X		
	Adaptables		Classement selon jugement d'expert	
	<b>Non adaptées et non adaptables</b>			X
Taux de récupération analytique	Au moins une concentration sur le domaine (0,1 à 2 fois la VGPI)	X		
	En dehors du domaine (0,1 à 2 fois la VGPI)		X	
	<b>Non déterminé ou valeur non conforme aux exigences</b>			X
Données d'incertitude (prélèvement + analyse)	Incertitudes globales et élargies sur le domaine 0,1 – 2*VGPI : plusieurs points de gamme, exigences respectées	X		

<sup>18</sup> Mode (essuyage ou tamponnage), scénario de passages, nombre de passages et de pliages.

<sup>19</sup> La spéciation concerne les composés inorganiques.

Paramètres	Critères d'évaluation	Classement		
		1	2	3
<b>Analyse</b>				
	Incertitudes globales et élargies sur une autre gamme, autres données d'incertitude, exigences non respectées, donnée sur une partie trop restreinte de la gamme, etc.			Classement selon jugement d'expert (Cf. § 3.1.6)
	<b>Aucune donnée d'incertitude</b>			<b>X</b>

## 4.3 Éléments complémentaires

### Facilité de mise en œuvre (coût, matériel nécessaire...)

Le cas échéant, si la méthode nécessite un matériel spécifique ou des conditions particulières pour être mise en œuvre, ces conditions sont explicitement mentionnées.

### Sécurité de mise en œuvre

La mise en œuvre de la méthode (prélèvement et analyse) ne doit pas constituer une source de risque potentiel pour la santé et la sécurité des travailleurs.

## 4.4 Démarche d'évaluation des méthodes de mesures dans les poussières

### 4.4.1 Recensement des protocoles

Le domaine de la mesure des agents chimiques dans les poussières étant relativement récent en comparaison du domaine de la mesure des agents chimiques dans l'air, peu de méthodes de mesures ont été développées par des organismes de références. De ce fait aucune technique de mesure n'est a priori écartée lors du recensement des protocoles. Les méthodes les plus couramment mises en œuvre et faisant l'objet d'un plus grand nombre de protocoles sont l'essuyage et l'aspiration (Anses, 2019)

Les protocoles doivent être publiés dans une source reconnue.

Les sources consultées peuvent être les suivantes (liste non exhaustive) :

- France : INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité - base de données MétroPol)  
<http://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html>
- UK: HSE (Health and Safety Executive)  
<http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/index.htm>
- Canada : IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail)  
<http://www.irsst.qc.ca/-listersst.html>
- USA: ASTM International (American Society for Testing and Materials International)  
<https://www.astm.org/products-services/standards-and-publications/standards/physical-testing-standards-and-mechanical-testing-standards.html>
- USA: NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)  
<http://www.cdc.gov/niosh/nmam/default.html>
- USA: OSHA (Occupational Safety and Health Administration)  
<http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/toc.html>
- LCSQA : Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air :  
<https://www.lcsqa.org/fr/rapports-publies>

- OQEI : Observatoire de la Qualité des environnements intérieurs ;

Si besoin, la littérature scientifique internationale pertinente.

#### Organisme de normalisation :

- AFNOR <http://www.afnor.fr>

### **4.4.2 Identification des différentes méthodes disponibles**

Les différentes méthodes sont identifiées au travers des protocoles recensés.

Les protocoles mettant en œuvre une même méthode de mesure, c'est-à-dire quand le dispositif de prélèvement, la technique de préparation de l'échantillon et la technique d'analyse sont analogues, sont regroupés.

### **4.4.3 Recherche de critères d'exclusion**

Les critères d'exclusion, décrits également dans les Tableau 9 et Tableau 10, sont les critères essentiels dont le non-respect amène à ne pas recommander ces méthodes de mesure, correspondant au classement de la méthode en catégorie 3.

#### **Concernant le prélèvement**

##### Toutes méthodes :

- méthode ne permettant pas le prélèvement des poussières sédimentées ;
- absence d'indications sur l'utilisation d'un support de collecte et d'un dispositif de prélèvement adapté, compatibles avec le(s) composé(s) recherché(s), la fraction à prélever et la méthode d'analyse utilisée ;
- absence de données ou non satisfaction au regard des critères de performance attendus sur les conditions de transport et de conservation entre le prélèvement et l'analyse, la stabilité du stockage (NB : Du fait de leur stabilité physico-chimique, la plupart des composés inorganiques ne sont pas concernés par ce paramètre).

##### Méthode utilisant le prélèvement par essuyage :

- absence d'indications sur les modalités d'essuyage.

##### Méthode utilisant le prélèvement par aspiration :

- non-conformité à la fraction d'intérêt.

#### **Concernant l'analyse**

##### Toutes méthodes :

- technique d'analyse inadaptée au regard de l'agent chimique à doser ;
- technique d'analyse non sélective/non spécifique ;
- absence d'essai de validation de la méthode par dopage de la surface ou du support ;
- limite de quantification et étendue de mesure non adaptées aux concentrations recherchées et non adaptables ;
- taux de récupération analytique non déterminé ou valeur non conforme aux exigences ;
- absence de données relatives à l'incertitude de mesure de la méthode.

Dès lors qu'un de ces critères d'exclusion est identifié, la méthode est classée en catégorie 3 et ne fait pas l'objet d'une évaluation détaillée.

#### 4.4.4 Recueil des données nécessaires à l'évaluation

Si aucun critère d'exclusion n'a pu être établi, alors la méthode fait l'objet d'une évaluation détaillée. Pour réaliser cette évaluation, différents paramètres sont répertoriés à partir des protocoles similaires décrivant la méthode.

Ce recensement est effectué à l'aide des 2 tableaux suivants (Tableau 11 et Tableau 12) :

**Tableau 11 : Paramètres descriptifs des méthodes de mesure pour la comparaison des concentrations dans les poussières intérieures aux VGPI**

Méthode n° XX - prélèvement - traitement échantillon - analyse			Protocole n°1	Protocole n°2
Paramètres descriptifs				
Prélèvement	Essuyage/ Tapotage / Aspiration	Préciser le type de prélèvement		
	Système de prélèvement	Préciser le système de prélèvement (aspirateur, lingette...), la nature du support de prélèvement (composition de la lingette, modèle de prélèvement par aspiration...) et ses caractéristiques		
	Prélèvement par aspiration : vitesse	Dans le cas du prélèvement par aspiration, préciser la vitesse d'entrée de l'air		
	Schéma de prélèvement	Préciser quel est le schéma de prélèvement indiqué dans la méthode		
	Prélèvement par aspiration	Préciser la fraction si utilisation d'un système d'aspiration sélectif		
Analyse	Préparation échantillon	Préciser les conditions de préparation de l'échantillon et la fraction soumise à l'analyse : tamisage avec ou sans quartage préalable, désorption/dissolution (nature du solvant, dissolution, désorption thermique...)		
	Technique d'analyse	Préciser la technique d'analyse et le mode de détection utilisés : GC, HPLC, ICP, chromatographie ionique ; FID, MS...		
	Paramètres analytiques	Préciser les principaux paramètres analytiques		

**Tableau 12 : Données de validation des méthodes de mesure pour la comparaison des concentrations dans les poussières intérieures aux VGPI**

Méthode n° XX - prélèvement - traitement échantillon - analyse		Protocole n°1	Protocole n°2
Données de validation			
Domaine de validation	Préciser l'étendue de mesurage sur laquelle a été validée la méthode		
Essai de validation de la méthode par dopage	Préciser la taille de la surface ou du support échantillonné lors de la validation et l'agent chimique utilisé pour le dopage (solution, suspension ou poudre)		
Coefficient de désorption / efficacité de désorption / taux récupération analytique	Préciser les valeurs des coefficients de partage et d'adsorption-désorption, leurs critères d'acceptation		
Linéarité de réponse du détecteur (instrument d'analyse)	Préciser si la linéarité a été vérifiée (capacité à fournir des réponses proportionnelles à la concentration en analyte à doser)		
Essais de conservation et de stockage avant analyse	Préciser les conditions de conservation entre le prélèvement et l'analyse, stabilité du stockage		
Taux de récupération analytique	Renseigner la gamme de concentrations et le nombre de points de gamme sur lesquels il a été déterminé et le résultat		
Interférences analytiques	Préciser l'influence d'éventuels interférents		
Sélectivité / Spéciation* (*concerne les composés inorganiques)	Préciser si la méthode permet l'identification de la forme chimique sous laquelle se trouve l'agent chimique		
Conditions de détermination de la VGPI	Fidélité intermédiaire	Mentionner la valeur donnée Renseigner la gamme de concentrations et le nombre de points de gamme sur lesquels elle a été déterminée	
	Limite de détection	Mentionner la valeur donnée Préciser le mode de détermination et la surface prélevée	
		Mentionner la valeur donnée	

	<b>Limite de quantification</b>	<i>Préciser le mode de détermination et la surface prélevée</i>		
<b>Informations complémentaires</b>		<i>Donner toute information complémentaire permettant de compléter le jugement sur une méthode donnée : caractère pratique, disponibilité des matériels ou des réactifs, facilité de mise en œuvre...</i>		

#### 4.4.5 Classement des méthodes

L'évaluation de chaque méthode s'effectue au regard des critères de décision détaillés précédemment (Cf. § 4.2) sur la base des données recueillies (Cf. § 4.4.4).

Une première évaluation est réalisée au regard des critères relatifs au prélèvement et une seconde au regard des critères relatifs à l'analyse conduisant à un classement différencié des méthodes de prélèvement et d'analyse, puis à un classement global de la méthode de mesure selon les catégories suivantes :

- **Catégorie 1 : méthodes validées** (les critères de performance sont satisfaits) ;
- **Catégorie 2 : méthodes indicatives** (la méthode nécessite des ajustements devant faire l'objet d'une validation pour être employée) ;
- **Catégorie 3 : méthodes non validées ou non évaluables.** Cette catégorie englobe les méthodes inadaptées pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas remplis et les méthodes non évaluables (désignées par la catégorie 3\*) pour lesquelles des critères essentiels à la validation ne sont pas documentés.

Chaque méthode est classée en fonction de la notation la plus basse attribuée à un des critères d'évaluation.

Néanmoins, en fonction du critère concerné, et sur la base du jugement d'expert, il n'est pas exclu que la méthode puisse être classée à un niveau supérieur ou inférieur sous réserve que cela puisse être clairement justifié.

#### 4.4.6 Élaboration des recommandations

Sur la base du classement des méthodes, une étude comparative et détaillée pouvant intégrer la faisabilité technique est réalisée. La ou les méthodes les plus appropriées sont recommandées pour la mesure des concentrations à des fins de comparaison aux différentes valeurs de VGPI.

Une ou plusieurs méthodes peuvent être recommandées. Dans tous les cas, les conditions d'applicabilité de chaque méthode seront précisées, et notamment, pour quel type de valeur les méthodes sont recommandées.

Lorsqu'il s'avère qu'aucune méthode n'est suffisamment validée, l'usage ou le développement et la validation d'une méthode de mesure peuvent être recommandés en soulignant les limites de celle-ci et en précisant notamment les paramètres nécessitant une validation complémentaire.

Lorsqu'une méthode comporte un danger et/ou une contrainte particulière, que ce soit pendant la phase de prélèvement ou la phase d'analyse, ceux-ci sont soulignés dans le rapport et des recommandations peuvent être émises pour la mise en œuvre de cette méthode ou des améliorations éventuelles à apporter.

Dans le cas où une méthode utiliserait des agents chimiques classés CMR 1A ou 1B, et qu'il existe des méthodes alternatives équivalentes en termes de niveau de validation et mettant en œuvre des agents chimiques moins dangereux, seules ces méthodes alternatives seront recommandées.

Dans le cas où aucune méthode n'est décrite pour l'agent chimique étudié, des recommandations basées sur des informations tirées de la littérature peuvent être émises.

## 4.5 Rappel de bonnes pratiques

La mesure des agents chimiques dans les poussières étant une démarche relativement récente, il n'existe à l'heure actuelle que peu de protocoles détaillant les procédures à mettre en œuvre. Ainsi en complément de la démarche d'évaluation des méthodes de mesures dans les poussières, le groupe de travail a souhaité rappeler différentes bonnes pratiques à mettre en œuvre lors de la réalisation de ce type de mesure sur le terrain :

- Prélever une ou des surface(s) représentative(s) de l'exposition des occupants.
- En amont du prélèvement : renseigner une fiche de prélèvement indiquant la nature des surfaces, les produits interférents pouvant être présents dans l'environnement de prélèvement (par exemple : pesticides, produits ménagers...), la fréquence, le type de nettoyage, le protocole d'aération et l'habitude d'occupation, la date du dernier nettoyage de la surface prélevée, l'aspect visuel des poussières (par exemple : présence de débris ou de poussières visibles à renseigner).
- Au moment du prélèvement : éviter l'aération et l'occupation. Les gants utilisés doivent être adaptés à la nature de l'agent chimique recherché. L'absence de contamination croisée entre deux prélèvements doit être vérifiée.
- Pour la méthode de prélèvement par essuyage, il est recommandé d'analyser au moins un blanc pour chaque lot de lingettes, de vérifier que le blanc du lot de lingettes soit inférieur à la valeur cible / 10 et de réaliser un blanc terrain.
- Pour la méthode par aspiration, il est recommandé de faire préalablement au tamisage un quartage, si la quantité de poussières est trop importante (par exemple : collecte de sac d'aspirateur).
- Dans le cas d'essais de validation par dopage, il est recommandé que la surface modèle soit dopée sur au moins 50% de la superficie délimitée.

**Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail et par les comités d'experts spécialisés VSR et Air : respectivement le 25 juin 2024, le 12 décembre 2024 et le 16 décembre 2024.**

## 5 Bibliographie

Anses (2011) Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur. Evolution de la méthode d'élaboration des valeurs guides de qualité d'air intérieur. Agence nationale de sécurité sanitaire, Maisons-Alfort, France

Anses (2016) Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur. Méthode d'élaboration de valeurs guides de qualité d'air intérieur. Agence nationale de sécurité sanitaire, Maisons-Alfort, France

Anses (2019) Exposition aux poussières sédimentées dans les environnements intérieurs. (Auto-saisine 2017-SA-0192). Maisons-Alfort, France

Anses (2020) Méthodologie d'évaluation des méthodes de mesure dans l'air des lieux de travail et l'air intérieur. Maisons-Alfort, France

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

Arrêté du 27 décembre 2022 modifiant l'arrêté du 1er juin 2016 relatif aux modalités de présentation du rapport d'évaluation des moyens d'aération

Dassonville, C., A. Grégoire, S. Sivanantham, J. Achille, B. Berthineau, V. Cochet, M. Derbez, J-P. Lucas, L. Malingre, O. Ramalho, J. Riberon, D. Rousselle, W. Wei, G. Wyart, et C. Mandin. 2019. Qualité de l'air intérieur et contamination des poussières déposées au sol dans les écoles en France. Rapport référencé CSTB-OQAI/2018-125, Décembre 2019, 178 pages.

Décret n°2009-1570 du 15 décembre 2009 relatif au contrôle du risque chimique sur les lieux de travail

Décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène

Décret n° 2011-1728 du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public

Décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public

Décret n° 2022-1690 du 27 décembre 2022 modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public

LOI n° 2008-757 du 1er août 2008 relative à la responsabilité environnementale et à diverses dispositions d'adaptation au droit communautaire dans le domaine de l'environnement. <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000019277729>

FD CEN/TR 13205-3 (novembre 2014) - Exposition sur les lieux de travail - Évaluation des performances des instruments de mesurage des concentrations d'aérosols - Partie 3 : Analyse des données d'efficacité de prélèvement

FD CEN/TR 17055 (mai 2017) - Exposition sur les lieux de travail - Mesurage des agents chimiques conformément aux exigences de l'EN 482 et de l'une des normes EN 838, EN 1076, EN 13205, EN 13890 et EN 13936 - Choix des procédures

ISO 20581 (novembre 2016) - Air des lieux de travail - Exigences générales concernant les performances des procédures de mesure des agents chimiques

NF EN ISO 21832 (décembre 2020) - Air des lieux de travail - Procédures pour la détermination des métaux et métalloïdes dans les particules en suspension dans l'air

NF EN 12341 (août 2023) - Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP10 ou MP2,5 de matière particulaire en suspension

NF EN 13205-1 (août 2014) - Exposition sur les lieux de travail - Évaluation des performances des dispositifs de prélèvement pour le mesurage des concentrations de particules en suspension dans l'air - Partie 1 : exigences générales

NF EN 13205-2 (août 2014) - Exposition sur les lieux de travail - Évaluation des performances des dispositifs de prélèvement pour le mesurage des concentrations de particules en suspension dans l'air - Partie 2 : essai de performances en laboratoire par détermination par l'efficacité de prélèvement

NF EN 13205-4 (août 2014) - Exposition sur les lieux de travail - Évaluation des performances des dispositifs de prélèvement pour le mesurage des concentrations de particules en suspension dans l'air - Partie 4 : essai de performances en laboratoire par comparaison des concentrations

NF EN 13205-5 (août 2014) - Exposition sur les lieux de travail - Évaluation des performances des dispositifs de prélèvement pour le mesurage des concentrations de particules en suspension dans l'air - Partie 5 : essais de performances des échantillonneurs d'aérosols, réalisés sur les lieux de travail

NF EN 13205-6 (août 2014) - Exposition sur les lieux de travail - Évaluation des performances des dispositifs de prélèvement pour le mesurage des concentrations de particules en suspension dans l'air - Partie 6 : essais de manipulation et de transport

NF EN 13528-1 (avril 2003) - Qualité de l'air - Echantillonneurs par diffusion pour la détermination des concentrations des gaz et des vapeurs - Prescriptions et méthodes d'essai - Partie 1: prescriptions générales

NF EN 13528-2 (mai 2003) - Qualité de l'air ambiant - Échantillonneurs par diffusion pour la détermination des concentrations des gaz et des vapeurs - Exigences et méthodes d'essai - Partie 2 : exigences spécifiques et méthodes d'essai

NF EN 13528-3 (juillet 2004) - Qualité de l'air ambiant - Échantillonneurs par diffusion pour la détermination de la concentration des gaz et vapeurs - Exigences et méthodes d'essai - Partie 3 : guide pour la sélection, l'utilisation et la maintenance

NF EN 14412 (décembre 2004) Qualité de l'air intérieur – Echantillonnage par diffusion pour la détermination de la concentration des gaz et vapeur. Guide pour la sélection, l'utilisation et la maintenance

NF EN 1540 (décembre 2021) - Exposition des lieux de travail - Terminologie

NF EN 16966 (novembre 2018) - Exposition sur les lieux de travail - Mesurage de l'exposition par inhalation de nano-objets et de leurs agrégats et agglomérats - Métriques à utiliser telles que concentration en nombre, concentration en surface et concentration en masse

NF EN 45544-1 (mars 2015) - 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

NF EN 45544-2 (mars 2015) - 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 2 : exigences de performance pour les appareillages utilisés pour la gestion de l'exposition

NF EN 45544-3 (mars 2015) - 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 3 : exigences de performance des appareillages utilisés pour la détection de gaz générale

NF EN 45544-4 (juin 2016) - 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 4 : guide de sélection, d'installation, d'utilisation et d'entretien

NF EN 481 (novembre 1993) - Atmosphères des lieux de travail - Définition des fractions de taille pour le mesurage des particules en suspension dans l'air

NF EN 482 (mars 2021) - Exposition sur les lieux de travail - Procédures pour déterminer la concentration d'agents chimiques - Exigences élémentaires relatives aux performances. AFNOR

NF EN ISO 13137 (octobre 2022) - Air des lieux de travail - Pompes pour l'échantillonnage individuel des agents chimiques et biologiques - Exigences et méthodes d'essai

NF EN ISO 16000-1 (juillet 2006) - Air intérieur - Partie 1 : aspects généraux de la stratégie d'échantillonnage

NF EN ISO 17621 (novembre 2015) - Air des lieux de travail - Systèmes de mesurage par tube détecteur à court terme - Exigences et méthodes d'essai - Atmosphères des lieux de travail - Systèmes de mesurage par tube détecteur à court terme - Exigences et méthodes d'essai

NF EN ISO 22065 (novembre 2020) - Air des lieux de travail - Gaz et vapeurs - Exigences pour l'évaluation des procédures de mesure à l'aide de dispositifs de prélèvement par pompage

NF EN ISO 23320 (mai 2022) - Air des lieux de travail - Gases et vapeurs - Exigences pour l'évaluation des procédures pour le mesurage à l'aide de dispositifs de prélèvement par diffusion

NF EN ISO 23861 (octobre 2022) - Air des lieux de travail - Agent chimique présent sous forme de mélange de particules en suspension dans l'air et de vapeur - Exigences d'évaluation des procédures de mesure utilisant des dispositifs de prélèvement

NF ISO 7708 (mai 1996) - Qualité de l'air - Définitions des fractions de taille des particules pour l'échantillonnage lié aux problèmes de santé

NF X 43-215 (octobre 2018) - Qualité de l'air - Air des lieux de travail - Prélèvement et analyse des aérosols semi-volatils - Exigences et méthodes d'essai

NF X 43-257 (août 2016) - Qualité de l'air - Air des lieux de travail - Prélèvement d'aérosol à l'aide d'une cassette (orifice 4 mm)

NF X 43-259 (mai 1990) - Qualité de l'air - Air des lieux de travail - Prélèvement individuel ou à poste fixe de la fraction alvéolaire de la pollution particulaire. Méthode de séparation par cyclone 10 mm

NF X 43-298 (novembre 2013) - Air des lieux de travail - Conduite d'une intervention en vue d'estimer l'exposition professionnelle aux agents chimiques par prélèvement et analyse de l'air des lieux de travail

NF X 46-032 (avril 2008) - Diagnostic plomb - Méthodologie de mesure du plomb dans les poussières au sol

Ruby M.V., Y.W. Lowney, A.L. Bunge, S.M. Roberts, J.L. Gomez-Eyles, U. Ghosh, J.C. Kissel, P. Tomlinson, C. Menzie. (2016). Oral bioavailability, bioaccessibility, and dermal absorption. Environmental Science & Technology 50(5): 2151-2164.

VDI 4300 Blatt 8:2001-06 (juin 2001) - Measurement of indoor air pollution - Sampling of house dust

# ANNEXES

---

## Annexe 1 : Annexe relative aux données d'incertitudes

### **Protocoles élaborés par les organismes européens (ISST, HSE, DGUV, MAK, IFA, INRS) :**

De manière générale, les organismes européens élaborant et validant des méthodes de mesure dans l'air des lieux de travail se réfèrent aux exigences de la norme EN 482. Les modalités de détermination de l'incertitude dépendent de la date du protocole. Ainsi, de manière générale pour les protocoles établis antérieurement à 2006, des données de biais et de fidélité seront rapportées permettant de préciser la conformité aux exigences de la norme EN 482 :1994. Les protocoles établis postérieurement à 2006 présentent généralement des données d'incertitudes élargies calculées selon les préconisations de la norme EN 482 :2006 ou les versions suivantes de cette norme.

L'INRS ne rapporte généralement dans ses protocoles que des coefficients de variation issus des différents essais réalisés (détermination du coefficient de désorption, essais de stockage, etc.)

### **Protocoles élaborés par les organismes nord-américains (IRSST, NIOSH, OSHA)**

L'IRSST ne rapporte dans son guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail qu'une incertitude analytique CVa (%). Ce paramètre n'est pas défini<sup>20</sup>.

Le tableau suivant présente les termes en lien avec des données d'incertitude utilisés par le NIOSH et l'OSHA. Il explicite les notions couvertes par ces termes, de manière à pouvoir les appréhender au regard des exigences en termes d'incertitudes élargies telles que définies par la norme NF EN 482. Il est à préciser que les documents OSHA cités dans le Tableau 13 « Evaluation Guidelines for Air Sampling Methods Utilizing Spectroscopic Analysis » (Octobre 2005) et « Validation Guidelines for Air Sampling Methods Utilizing Chromatographic Analysis » (Mai 2010), ont été annulés en mai 2024 et remplacés<sup>21</sup>. Cependant les méthodes évaluées ont été mises au point selon ces documents, il est donc nécessaire de rappeler la terminologie correspondante.

<sup>20</sup> IRSST 2012 - Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail – Guide technique T-06 – 8eme édition – Montréal (Quebec) – 150p (<http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/T-06.pdf>)

<sup>21</sup> <https://www.osha.gov/sites/default/files/sampling-and-analytical-methods1.pdf>

Tableau 13 : Termes relatifs aux incertitudes identifiés dans les protocoles du NIOSH

Terme identifiés dans les protocoles	Définition	Exigence	Modalités de détermination	Transposition selon sa définition	Signification /équivalence EN 482
Bias	Difference between the average measured mass or concentration and reference mass or concentration expressed as a fraction of reference mass or concentration ([1], [2])	Method bias should be less than 10% ([4])	Les résultats des différents essais de validation (détermination du taux de récupération, de la stabilité de l'échantillon, de l'influence des conditions environnementales) sont utilisés pour déterminer ces paramètres. La méthodologie est décrite dans le document de référence du NIOSH ([3])	Biais	similaire au biais EN 482 : 1994.
Overall Precision (SrT)	The repeatability or reproducibility of individual measurements expressed as relative standard deviation([1], [2])	-		Fidélité globale	
Accuracy	The degree of agreement between a measured value and the accepted reference value. In this manual, accuracy is calculated from the absolute mean bias of the method plus the overall precision, SrT, at the 95% confidence level. For an individual measurement, it includes the combination of precision and bias([1], [2])	target accuracy is less than 25% difference from actual concentration over the range of the method. ([5])		Incertitude élargie	plus exigeant que la norme NF EN 482
Precision (Sr)	Experimental precision of spiked samplers; precision of analytical method([1], [2])	-		Fidélité analytique	

Sources :

- [1] Glossary of Abbreviations, Definitions and Symbols in NIOSH NMAM, 5th edition - avril 2016
- [2] NIOSH Manual of analytical methods (NMAM), 4th ed. DHHS(NIOSH) Publication No. 94-113.]
- [3] NIOSH Guidelines for Air Sampling and Analytical Method Development and Evaluation – May 1995 ([https://www.cdc.gov/niosh/docs/95-117/pdfs/95-117.pdf?id=10.26616/NIOSH\\_PUB\\_95117](https://www.cdc.gov/niosh/docs/95-117/pdfs/95-117.pdf?id=10.26616/NIOSH_PUB_95117))
- [4] NIOSH NMAM, 5th edition - avril 2016- Page ME-10 of ME-19
- [5] NIOSH NMAM, 5th edition - avril 2016- Page PS-6 of PS-9

Tableau 14 : Termes relatifs aux incertitudes identifiés dans les protocoles de l'OSHA

Termes identifiés dans les protocoles	Définition	Exigences	Modalités de détermination	Transposition selon sa définition	Signification /équivalence EN 482
Overall standard error of estimate (SEE)	<p>Active sampling</p> $SEE = \sqrt{S_{yx}^2 + V_{SP}^2}$ <p>Passive sampling:</p> $SEE = \sqrt{S_{yx}^2 + V_{SR}^2 + V_T^2 + V_P^2}$ <p>where</p> <p><math>S_{yx}</math> is the standard error of estimate from storage</p> <p><math>V_{SR}</math> is the sampling rate variation</p> <p><math>V_T</math> is the sampling rate uncertainty due to unreported temperature (7.7%)</p> <p><math>V_P</math> is the sampling rate uncertainty due to unreported pressure (3%) ([6], [7])</p>	-	<p>Détermination des écarts-types lors des essais de conservation des échantillons. (prélèvement en atmosphère contrôlée à la concentration cible, puis stockage des échantillons plusieurs jours à température ambiante, et à température réfrigérée). ([6], [7])</p>	Incertitude type composée relative	Approche similaire avec moins de paramètres pris en compte
Precision (overall procedure)	Assuming a normal distribution of values about the regression curve and uniformity of variation about the entire range of the storage stability curve, $\pm 1.96$ times the overall standard error of estimate will represent the 95% confidence limit which is the precision of the method. ([6], [7]).	The confidence limits of the overall procedure must be $\pm 25\%$ ([6], [7])	$\pm 1.96 * SEE$ (the z-statistic from the standard normal distribution at the 95% confidence level) ([6], [7])	Incertitude globale élargie	Exigence plus contraignante mais sur la base de moins d'incertitudes types prises en compte
Reproducibility	test de vérification de la SEE, avec un technicien indépendant ([6], [7])	No individual analytical result shall deviate from the theoretical value by more than $1.96 * SEE$	Test de vérification de la SEE, avec un technicien indépendant à partir de 6 échantillons pour chaque concentration cible.	Reproductibilité	-
Precision (analytical procedure)	Fidélité de l'instrumentation analytique ([7])		The precision of the analytical instrumentation measured as the mass equivalent to the standard error of estimate determined from the {list type of curve, example: linear} regression of data points from standards over a range that covers 0.1 {or RQL whichever is higher} to 2 times the target concentration. ([7])	Fidélité analytique	-

Sources : [6] Evaluation Guidelines for Air Sampling Methods Utilizing Spectroscopic Analysis - October 2005 (<https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/spectroguide/spectroguide.pdf>); [7] – Validation Guidelines for Air Sampling Methods Utilizing Chromatographic Analysis - May 2010 (<https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/chromguide/chromguide.pdf>)

## Annexe 2 : Synthèse des exigences générales de la norme NF EN 45544 (parties 1 et 2), 2015

Tableau 15 : 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, 2015)

<b>Construction mécanique</b>	Dispositifs adaptés pour la mise en œuvre des gaz d'essai
	Résistances aux substances
<b>Indication</b>	Indication de valeurs inférieures à la limite inférieure de l'échelle
	Indication si limite supérieure de l'étendue de mesurage dépassée
	Fidélité requise pour mesurer les exigences de performances de la norme
	Doivent fonctionner pour des concentrations supérieures au niveau correspondant au seuil d'alarme
<b>Signaux de défaut</b>	Défaillance alimentation 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 16 : Exigences générales portant sur le manuel d'instruction (norme NF EN 45544, parties 1 et 2, 2015)**

<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 $T^{\circ}$ entreposage
		Limites de P et correction
		Variation du 0 ( $\Delta 0$ )
	Interférences autres gaz	
	Débit min/max, temps de réponse	
	Vérification débit	
	Indications natures 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 supérieure à limite supérieure	

Tableau 17 : Exigences générales portant sur les conditions d'essai (norme NF EN 45544, parties 1 et 2, 2015)

<b>Conditions d'essai</b>	Séquence d'essai
	Préparation appareil avant essai
	Conditions environnement : Température, Humidité Relative, Pression
	Gaz d'essai
	Tension alimentation
	Temps de stabilisation
	Orientation
	Etalonnage

Tableau 18 : Exigences générales portant sur la méthode d'essai (norme NF EN 45544, parties 1 et 2, 2015)

<b>Méthode d'essai</b>  <u>Incertitude globale</u> $[(X_{moy}-X_{ref})+2s]*100 / X_{ref}$ <u>Variation du 0</u> $X_{moy}+2s$ <p><math>X_{moy}</math> = moyenne des résultats de n mesures répétées</p> <p>s = écart type des mesurages</p> <u>Exigences de performances de base (45544-2)</u> $(m_b-m_a)/m_b * 100 < (30-2s_{GER}/m_b * 100)$ $(s_{GER} = \text{écart-type mes. concentration gaz essai de réf})$ <b><math>m_b-m_a &lt; \text{variation 0}</math></b> (mesures avant et après essai)	<b>Entreposage hors tension</b>  <u>Après essai entreposage, tester tous les essais décrits ci-dessous</u>		
	<b>Mesurage des écarts</b>  <u>Incertitude globale par rapport à un gaz d'essai sur gamme de 5 concentrations</u>	<u><math>U_g &lt; 50\%</math> pour <math>0,1^*[\text{GER}] &lt; [\text{gaz}] &lt; 0,5^*[\text{GER}]</math></u> <u><math>U_g &lt; 30\%</math> pour <math>0,5^*[\text{GER}] &lt; [\text{gaz}] &lt; 10^*[\text{GER}]</math></u>	
		<u>limite inf étendue de mesure (<math>L_{infEM}</math>)</u> <u>&lt; étendue constructeur</u> $L_{infEM} = 0,5^*l_0$ si $\Delta 0 < 0,25^*[\text{GER}]$ $L_{infEM} = 0,8^*l_0$ si $\Delta 0 > 0,25^*[\text{GER}]$	
	<b>Essais mécaniques</b>  <u>Vibrations</u>  <u>Chute</u>	<u>cf. Exigences de base</u>	
		<u>cf. Exigences de base</u>	
	<b>Essais d'environnement dans l'air et dans le gaz de réf</b>  <u>T°</u>  <u>P</u>  <u>HR</u>  <u>Vitesse air</u>	<u>Air de 0</u> $(m_{20^{\circ}\text{C}}-m_{5^{\circ}\text{C}}) \text{ et } (m_{20^{\circ}\text{C}}-m_{40^{\circ}\text{C}}) < \Delta 0 \text{ ou } 5\% \text{ de } [\text{GER}]$ $(m_{20^{\circ}\text{C}}-m_{-10^{\circ}\text{C}}) < 2^*l_0 \text{ ou } 5\% \text{ de } [\text{GER}]$ <u>GER</u> <u>cf. exigences de base (modifiées pour <math>(m_{20^{\circ}\text{C}}-m_{-10^{\circ}\text{C}})</math>)</u>	
		<u>cf. exigences de base</u>	
		<u>cf. exigences de base</u>	
		<u>cf. exigences de base</u>	
		<u>cf. exigences de base</u>	
	<b>Essais de performance</b>  <u>Alarme sonore</u>  <u>Points de consigne de l'alarme</u>  <u>Temps de réponse de l'alarme</u>  <u>Avertisseur de défaut de débit</u>  <u>Temps de préchauffage</u>  <u>Temps de réponse : mesure de <math>T_{90}</math> (90% [GER])</u>  <u>Temps de récupération : mesure de <math>T_{10}</math> (10% [GER])</u>  <u>Concentrations sup à étendue de mesurage</u>  <u>Utilisation prolongée sous gaz d'essai</u>	<u><math>&gt; 70 \text{ dB à } 0,3 \text{ m}</math></u>	
		<u>Mise en marche à chaque consigne</u>	
		<u><math>T_{alarme} &lt; 20 \text{ s}</math></u>	
		<u>cf. exigences de base</u>	
		<u>cf. exigences de base pour GER</u>	
		<u><math>T_{90} &lt; 2,5 \text{ min (ou } T_{50} &lt; 1 \text{ min pour certains gaz)}</math></u>	
		<u><math>T_{10} &lt; 5 \text{ min (ou } T_{50} &lt; 1 \text{ min pour certains gaz)}</math></u>	
		<u><math>&lt; 20\% \text{ [GER] ou } \Delta 0</math></u>	
		<u>cf. exigences de base</u>	
	<b>Essais d'orientation</b>	<u>cf. exigences de base</u>	
	<b>Essais électriques</b>	<u>Fonction VLEP-8h pour <math>[\text{gaz}]_{moy} = 50\%</math> (3 paliers sur 8h : 100%, 50%, 0%)</u>	<u>45% - 55%</u> <u>cf. exigences de base pour le reste</u>
	<b>Essais de dérive</b>	<u>cf. exigences de base</u>	
<b>Rapport d'essai</b>			

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





# anses

AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail  
14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr)