

NORME
INTERNATIONALE

ISO
14644-1

Première édition
1999-05-01

**Salles propres et environnements maîtrisés
apparentés —**

Partie 1:
Classification de la propreté de l'air

*Cleanrooms and associated controlled environments —
Part 1: Classification of air cleanliness*



Numéro de référence
ISO 14644-1:1999(F)

Sommaire	Page
1 Domaine d'application	1
2 Termes et définitions	1
3 Classification	3
4 Démonstration de conformité	5
Annexe A (informative) Illustration graphique des classes du Tableau 1	7
Annexe B (normative) Détermination de la classification de la propreté particulaire à l'aide d'un compteur de particules utilisant la diffusion de la lumière	8
Annexe C (normative) Traitement statistique des données de concentration particulaire	12
Annexe D (informative) Exemples élaborés de calcul de la classification	14
Annexe E (informative) Indications sur le comptage et le mesurage des tailles particulières situées à l'extérieur de l'étendue granulométrique fixée par la classification	20
Annexe F (informative) Procédure d'échantillonnage séquentiel	22
Bibliographie	26

© ISO 1999

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse
Internet iso@iso.ch

Imprimé en Suisse

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 14644-1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 209, *Salles propres et environnements contrôlés apparentés*.

L'ISO 14644 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Salles propres et environnements maîtrisés apparentés*:

- *Partie 1: Classification de la propreté de l'air*
- *Partie 2: Spécifications pour les essais et le contrôle afin de prouver la conformité continue avec l'ISO 14644-1*
- *Partie 3: Méthodes d'évaluation et de mesurage*
- *Partie 4: Conception, construction et mise en route*
- *Partie 5: Fonctionnement*
- *Partie 6: Termes et définitions*
- *Partie 7: Mini-environnements et isolateurs — Isolateurs*

L'attention de l'utilisateur est attirée sur le fait que les titres figurant dans la liste ci-dessus pour les parties 2 à 7 sont des titres de travail valables au moment de l'édition de la partie 1. Au cas où l'une ou plusieurs de ces parties en préparation serait retirée du programme de travail, les parties restantes pourraient s'en trouver renumérotées.

Les annexes B et C constituent des éléments normatifs de la présente Norme internationale.

Les annexes A, D, E et F sont données uniquement à titre d'information.

Introduction

Les salles propres et les environnements maîtrisés apparentés fournissent des moyens pour maîtriser la contamination particulaire de l'air, à des niveaux appropriés pour les activités sensibles à la contamination. Les produits et les procédés qui tirent parti de la maîtrise de la contamination aérienne sont, entre autres, le spatial, la micro-électronique, la pharmacie, les dispositifs médicaux et de soins, l'agro-alimentaire.

La présente Norme internationale fixe les niveaux d'une classification ISO à utiliser pour caractériser la propreté de l'air des salles propres et des environnements maîtrisés apparentés. Elle préconise également une méthode normalisée d'essai ainsi qu'une procédure pour déterminer la concentration des particules en suspension dans l'air.

Lorsqu'on l'applique pour définir une classification, la présente Norme internationale est limitée précisément à l'étendue granulométrique des tailles particulaires qui sont prises en compte pour la définition des concentrations limites. Elle donne également des protocoles de référence pour la détermination et la désignation des niveaux de propreté que l'on construit sur des concentrations en particules dont les tailles sortent de l'étendue granulométrique fixée pour la classification.

La présente Norme internationale appartient à une série de normes qui traite de salles propres et de maîtrise de la contamination. De nombreux facteurs, en plus de la propreté particulaire, doivent être pris en compte dans la conception, le cahier des charges, l'exploitation et la maîtrise des salles propres et autres environnements maîtrisés. Ils sont étudiés plus en détail dans d'autres Normes internationales de cette série.

Dans le cas d'imposition de politiques ou de contraintes supplémentaires de la part des instances réglementaires, il peut être nécessaire de procéder à une adaptation appropriée des méthodes d'essais normalisées.

Salles propres et environnements maîtrisés apparentés —

Partie 1:

Classification de la propreté de l'air

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 14644 comprend la classification de la propreté de l'air des salles propres et environnements maîtrisés apparentés exclusivement en termes de concentration des particules en suspension dans l'air. Pour l'application de cette classification, on ne considère que les populations de particules présentant une distribution cumulée dont le seuil inférieur de sensibilité se situe dans l'étendue granulométrique de 0,1 μm à 5 μm .

La présente partie de l'ISO 14644 ne donne pas la classification des populations de particules sortant de l'étendue granulométrique de référence de 0,1 μm à 5 μm . Les concentrations de particules ultrafines (plus petites que 0,1 μm) et de macroparticules (plus grandes que 5 μm) peuvent être utilisées pour quantifier ces populations en terme de descripteurs U et M.

La présente partie de l'ISO 14644 n'est pas applicable pour caractériser la nature physique, chimique, radiologique ou viable des particules en suspension dans l'air.

NOTE La distribution granulométrique réelle de particules par taille à l'intérieur de l'étendue de référence n'est pas habituellement prévisible et est typiquement variable avec le temps.

2 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 14644, les termes et définitions suivants s'appliquent.

2.1 Généralités

2.1.1

salle propre

salle dans laquelle la concentration des particules en suspension dans l'air est maîtrisée et qui est construite et utilisée de façon à minimiser l'introduction, la production et la rétention des particules à l'intérieur de la pièce, et dans laquelle d'autres paramètres pertinents, tels que la température, l'humidité et la pression sont maîtrisés comme il convient

2.1.2

zone propre

espace dédié dans lequel la concentration des particules en suspension dans l'air est maîtrisée et qui est construit et utilisé de façon à minimiser l'introduction, la production et la rétention de particules à l'intérieur de la pièce, et dans laquelle d'autres paramètres pertinents, tels que la température, l'humidité et la pression sont maîtrisés comme il convient

NOTE Cet espace peut être clos ou ouvert, et peut ou non être situé à l'intérieur d'une salle propre.

2.1.3 installation

salle propre ou une ou plusieurs zones propres avec toutes les structures associées, les systèmes de traitement d'air, les services et servitudes

2.1.4 classification

niveau (ou procédé consistant à spécifier ou à déterminer le niveau) de propreté particulaire de l'air applicable à une salle ou une zone propre; il est exprimé en termes de classe ISO *N*, laquelle représente, pour chaque taille particulaire considérée, la concentration maximale admissible (en particules par mètre cube d'air)

NOTE 1 Les concentrations en cause sont obtenues à l'aide de l'équation (1) donnée en 3.2.

NOTE 2 La classification selon la présente Norme internationale est limitée à l'étendue allant de la classe ISO 1 à la classe ISO 9.

NOTE 3 Les tailles de particule (limite basse de la distribution granulométrique) prises en considération pour les besoins de la classification selon la présente Norme internationale sont limitées à une étendue granulométrique de 0,1 µm à 5 µm. La propreté de l'air peut être décrite et spécifiée (mais non classée) en termes de descripteurs U ou M (voir 2.3.1 ou 2.3.2) pour des tailles de particules prises en considération en dehors de l'étendue granulométrique applicable à la classification.

NOTE 4 On peut spécifier des numéros de classification ISO intermédiaires, pour lesquels l'incrément le plus petit admissible sera de 0,1. Ainsi, la gamme des classes ISO intermédiaires s'étend de la classe ISO 1,1 à la classe ISO 8,9.

NOTE 5 La classification peut s'effectuer dans l'un quelconque des trois états d'occupation (voir 2.4).

2.2 Particules en suspension dans l'air

2.2.1 particule

objet solide ou liquide, dans le cadre de la classification de la propreté de l'air, appartenant à une distribution cumulée qui est fondée sur une taille de limite inférieure se situant dans l'étendue allant de 0,1 µm à 5 µm

2.2.2 taille de particule

diamètre d'une sphère qui, dans un instrument donné de mesurage des tailles de particules, donne une réponse qui est équivalente à la réponse de la particule à mesurer

NOTE Pour les compteurs de particules qui utilisent la diffusion de la lumière, le terme diamètre optique est employé.

2.2.3 concentration de particules

nombre de particules individuelles par unité de volume d'air

2.2.4 distribution granulométrique

distribution cumulée des concentrations de particules en fonction de leur taille

2.2.5 particule ultrafine

particule dont le diamètre équivalent est inférieur à 0,1 µm

2.2.6 macroparticule

particule dont le diamètre équivalent est supérieur à 5 µm

2.2.7 fibre

particule dont le rapport de la plus petite à la plus grande dimension est égal ou supérieur à 10

2.3 Descripteurs

2.3.1 descripteur U

concentration, mesurée ou spécifiée, exprimée en particules par mètre cube d'air et comprenant les particules ultrafines

NOTE Le descripteur U peut être considéré comme une limite supérieure des moyennes obtenues aux points d'échantillonnage ou une limite supérieure de confiance, en fonction du nombre de ces points utilisés pour caractériser la salle ou la zone propre. Un descripteur U ne peut servir à caractériser une classe de propreté particulaire de l'air, mais peut être utilisé indépendamment ou conjointement à une classe de propreté particulaire de l'air.

2.3.2 descripteur M

concentration, mesurée ou spécifiée, des macroparticules par mètre cube d'air, exprimée en termes de diamètre équivalent auquel accède la méthode de mesurage mise en œuvre

NOTE Le descripteur M peut être considéré comme une limite supérieure des moyennes obtenues aux points d'échantillonnage ou une limite supérieure de confiance, en fonction du nombre de ces points utilisés pour caractériser la salle ou la zone propre. Un descripteur M ne peut servir à caractériser une classe de propreté particulaire de l'air, mais peut être utilisé indépendamment ou conjointement à une classe de propreté particulaire de l'air.

2.4 États d'occupation

2.4.1 installation après construction

installation complète avec toutes les servitudes connectées et en fonctionnement, mais sans équipement ni matières de production et sans personnel présent

2.4.2 installation au repos

installation complète, avec l'équipement de production installé et fonctionnant comme convenu entre le client et le fournisseur, mais sans personnel présent

2.4.3 installation en activité

installation fonctionnant selon le mode prescrit, avec l'effectif spécifié travaillant dans les conditions convenues

2.5 Intervenants

2.5.1 client

organisme ou agent responsable de la rédaction du cahier des charges d'une salle propre ou d'une zone propre

2.5.2 fournisseur

organisme chargé de satisfaire les exigences du cahier des charges d'une salle propre ou d'une zone propre

3 Classification

3.1 État d'occupation

La propreté particulaire de l'air d'une salle propre ou d'une zone propre doit être définie pour l'un ou plusieurs des trois états d'occupation définis en 2.4, c'est-à-dire «après construction», «au repos» ou «en activité».

NOTE Noter que l'état «après construction» est applicable aux salles propres et aux zones propres récemment achevées ou modifiées. Une fois que l'examen sur l'état «après construction» est terminé, les essais suivants concerneront les états «au repos» ou «en activité» ou les deux.

3.2 Numéro de classification

La propreté particulaire de l'air doit être désignée par un numéro de classification N . La concentration maximale admissible C_n , pour chaque particule de taille D prise en compte, est donnée par l'équation:

$$C_n = 10^N \times \left(\frac{0,1}{D}\right)^{2,08} \quad (1)$$

où

C_n est la concentration maximale admissible (en particules par mètre cube d'air) des particules en suspension dont le diamètre est égal ou supérieur à la taille D . C_n est arrondi au chiffre entier le plus proche, en se limitant à 3 chiffres significatifs;

N est le numéro de classification ISO; il doit être inférieur ou égal à 9; des numéros de classification ISO intermédiaires peuvent être utilisés, le plus petit incrément autorisé étant 0,1;

D est la taille considérée en micromètres;

0,1 est une constante exprimée en micromètres.

Le Tableau 1 présente des classes types de propreté particulaire et les concentrations correspondantes des particules de tailles égales ou supérieures aux valeurs considérées. La Figure A.1 (voir annexe A) donne une représentation graphique des classes retenues. En cas de contestation, la concentration C_n est calculée par l'équation (1) ci-dessus et sert de valeur de référence.

Tableau 1 — Classes types de propreté particulaire de l'air des salles propres et zones propres

Numéro de classification ISO (N)	Concentrations maximales admissibles (particules/m ³ d'air) en particules de taille égale ou supérieure à celle donnée ci-dessous					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
Classe ISO 1	10	2				
Classe ISO 2	100	24	10	4		
Classe ISO 3	1 000	237	102	35	8	
Classe ISO 4	10 000	2 370	1 020	352	83	
Classe ISO 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	29
Classe ISO 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
Classe ISO 7				352 000	83 200	2 930
Classe ISO 8				3 520 000	832 000	29 300
Classe ISO 9				35 200 000	8 320 000	293 000

NOTE À cause des incertitudes dues au mesurage, les concentrations sont données avec, au plus, 3 chiffres significatifs.

3.3 Désignation

La désignation de la propreté particulaire de l'air d'une salle ou d'une zone propre doit comprendre:

- a) le numéro de classification sous la forme «classe ISO *N*»;
- b) l'état d'occupation des lieux dont on veut classer l'air;
- c) la ou les tailles particulières prises en compte et les concentrations correspondantes, obtenues par l'application de la formule (1), les tailles étant situées entre 0,1 µm et 5 µm.

EXEMPLE DE DÉSIGNATION

Classe ISO 4; installation en activité; tailles considérées: 0,2 µm (2 370 particules/m³), 1 µm (83 particules/m³).

La (ou les) taille(s) de particules considérées à mesurer doivent faire l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur.

Si les mesurages sont à faire pour plus d'une taille, chaque taille particulaire plus grande (par exemple, D_2) doit être égale à au moins 1,5 fois celle qui la précède (par exemple, D_1), c'est-à-dire:

$$D_2 \geq 1,5 \times D_1$$

4 Démonstration de conformité

4.1 Principe

La conformité avec les conditions de propreté de l'air (classe ISO) demandées par le client est vérifiée en mettant en œuvre des procédures d'essais définies, et en remettant un rapport donnant les conditions d'essai et ses résultats, le tout ayant fait l'objet d'un accord préalable entre le client et son fournisseur.

4.2 Essais

La méthode d'essai de référence servant à démontrer la conformité est donnée à l'annexe B. Toute autre méthode d'exactitude comparable peut être spécifiée, bien que, si aucune méthode n'a été choisie ou n'a fait l'objet d'un accord entre les parties, on doit utiliser la méthode de référence. Les essais mis en œuvre pour établir la conformité doivent utiliser des instruments étalonnés.

4.3 Limites de concentration des particules en suspension dans l'air

À la fin des essais effectués conformément à 4.2, les concentrations particulières moyennes et la limite supérieure de confiance à 95 % (si nécessaire) doivent être calculées selon les équations données à l'annexe C.

La ou les concentrations moyennes particulières, calculées selon l'équation (C.1), ne doivent pas dépasser la ou les concentrations limites déterminées selon l'équation (1) en 3.2, comme spécifié en 3.3 c) pour la ou les tailles considérées.

De plus, lorsque le nombre de points de prélèvement est au moins égal à 2 sans dépasser 9, le calcul suivant C.3 des limites supérieures de confiance à 95 % doit donner des valeurs qui ne dépassent pas les limites de concentration données ci-dessus.

NOTE Des exemples élaborés de calcul de la classification sont donnés à l'annexe D.

Les concentrations particulières qui servent à établir la conformité à la classification doivent être mesurées en utilisant la même méthode pour toutes les tailles considérées.

4.4 Rapport d'essai

Les résultats des essais, pour chaque salle propre ou zone propre, doivent être consignés par écrit et présentés dans un rapport contenant une affirmation de conformité ou de non-conformité avec la désignation prévue de la classification.

Le rapport doit mentionner les points suivants:

- a) le nom et l'adresse de l'organisme responsable des essais et la date d'exécution de ceux-ci;
- b) le numéro et l'année de publication de la présente partie de l'ISO 14644, c'est-à-dire ISO 14644-1:199X (année de publication de l'édition la plus récente);
- c) une identification claire de l'emplacement de la salle propre ou de la zone propre examinée (avec référence des locaux adjacents si nécessaire), et les coordonnées précises de tous les points d'échantillonnage;
- d) les critères de désignation de la salle propre ou de la zone propre considérée, comprenant la classification ISO, l'état d'occupation pertinent et les tailles particulières prises en compte;
- e) la description détaillée de la méthode d'essai en y incluant les conditions particulières d'essai ou les écarts par rapport à la méthode d'essai et l'identification des appareils de mesure et leur certificat d'étalonnage en cours de validité;
- f) les résultats des essais avec les données de concentration particulière pour tous les points échantillonnés.

NOTE Si les concentrations des particules ultrafines ou des macroparticules sont quantifiées, comme décrit à l'annexe E, il convient de mentionner l'information appropriée dans le rapport d'essai.

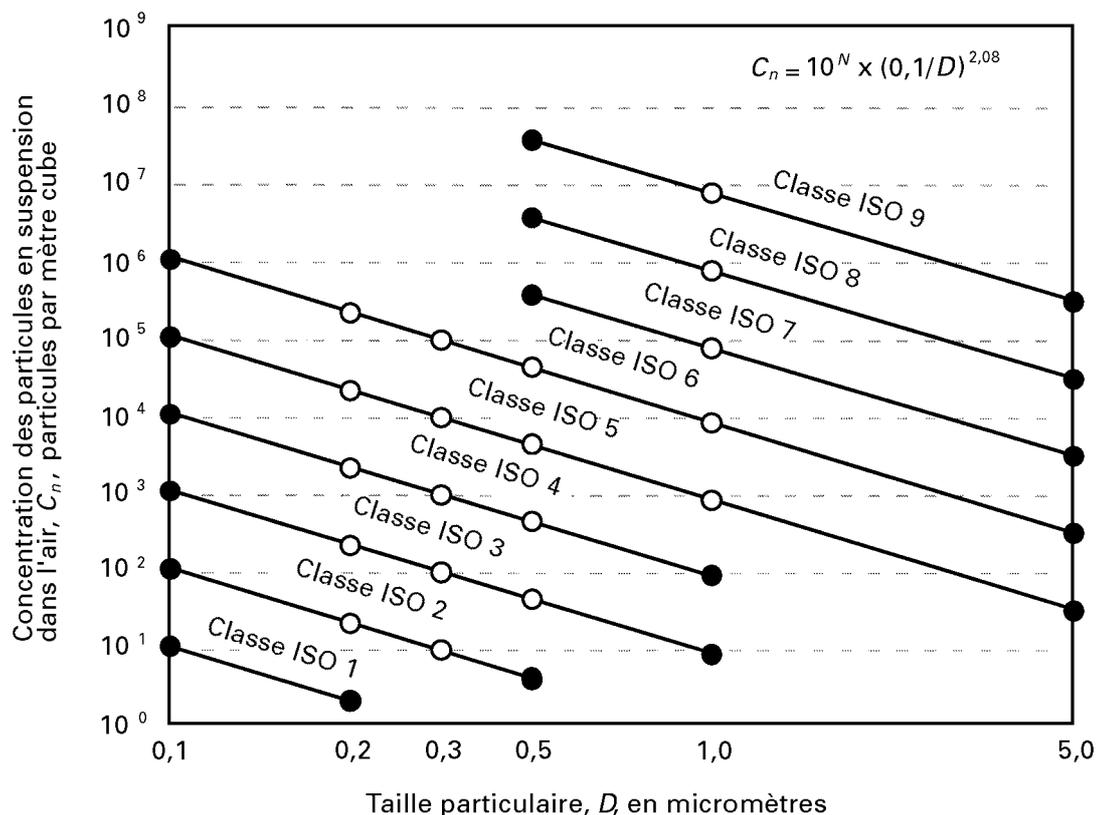
Annexe A (informative)

Illustration graphique des classes du Tableau 1

À titre d'exemple, la Figure A.1 traduit sous forme graphique les classes de propreté de l'air du Tableau 1. Les classes ISO du Tableau 1 sont représentées par les droites indiquant les limites de concentration des classes pour les tailles limites inférieures de particules données. Elles sont basées sur des calculs effectués selon l'équation (1) de 3.2. Étant donné que les droites donnent une approximation des limites de classes, elles ne doivent pas être utilisées pour définir les limites. De telles déterminations sont faites selon l'équation (1).

Les droites de la représentation graphique ne doivent pas être extrapolées au-delà des cercles pleins qui les limitent et qui indiquent, pour chaque classe ISO référencée, les limites inférieure et supérieure des tailles particulières à considérer.

Les droites indiquant les limites de classes ne représentent pas les distributions granulométriques que l'on peut réellement trouver dans les salles propres et zones propres.



NOTE 1 C_n représente la concentration maximale admissible (en particules par mètre cube d'air) des particules de taille égale ou supérieure à la taille considérée.

NOTE 2 N représente le numéro de classification ISO.

Figure A.1 — Représentation graphique des limites de concentration de la classification ISO pour des classes types ISO

Annexe B

(normative)

Détermination de la classification de la propreté particulaire à l'aide d'un compteur de particules utilisant la diffusion de la lumière

B.1 Principe

À chaque emplacement d'échantillonnage prévu, un compteur de particules à diffusion de la lumière est utilisé, de façon à obtenir la concentration des particules en suspension dans l'air qui ont une taille égale ou supérieure aux tailles spécifiées.

B.2 Exigences liées à l'appareil

B.2.1 Compteur de particules

Compteur de particules utilisant la diffusion de la lumière, disposant d'un moyen d'affichage ou d'enregistrement du nombre et de la taille des particules en suspension dans l'air, possédant une capacité de tri des tailles permettant de donner la concentration particulaire pour les niveaux granulométriques retenus pour la classe de propreté prise en considération et possédant un dispositif d'échantillonnage approprié.

B.2.2 Étalonnage de l'appareil

L'appareil doit être accompagné d'un certificat d'étalonnage en cours de validité; la méthode d'étalonnage et la fréquence des contrôles doivent tenir compte de la pratique courante admise.

B.3 Conditions préliminaires d'essai

B.3.1 Préparation de l'essai

Avant les essais, vérifier, dans la salle propre ou zone propre, que tout ce qui contribue à l'intégrité opérationnelle est en place et fonctionne conformément au cahier des charges.

Cette vérification préliminaire comporte normalement:

- a) un examen des débits et des vitesses d'air;
- b) un examen des pressions différentielles;
- c) un examen des fuites de confinement;
- d) un essai de fuite sur le montage des filtres.

B.3.2 Essai de réglage préliminaire

Mettre l'appareil en place et procéder à la vérification préliminaire de celui-ci conformément aux instructions des constructeurs.

B.4 Échantillonnage

B.4.1 Définition des points d'échantillonnage

B.4.1.1 Déduire le nombre minimal de points d'échantillonnage de l'équation (B.1) suivante:

$$N_L = \sqrt{A} \quad (\text{B.1})$$

où

N_L est le nombre minimal des points d'échantillonnage (arrondi au nombre entier supérieur);

A est l'aire de la salle propre ou de la zone propre à contrôler, en mètres carrés.

NOTE Dans le cas d'un écoulement d'air unidirectionnel horizontal, l'aire A est celle d'une section perpendiculaire à la direction de l'écoulement.

B.4.1.2 Vérifier que les points de prélèvement sont uniformément répartis à travers l'aire de la salle propre ou de la zone propre et situés à la hauteur où s'effectue l'activité.

Si le client demande des points de prélèvement supplémentaires, leur nombre et leurs emplacements doivent être précisés.

NOTE De tels points de prélèvement supplémentaires peuvent être ceux considérés comme critiques à partir d'une analyse des risques.

B.4.2 Définition du volume élémentaire de l'échantillon par point de prélèvement

B.4.2.1 Prélever, en chaque point de prélèvement, un volume d'air suffisant pour que, à la limite de la classe ISO spécifiée, 20 particules au moins soient détectées de la taille de particules la plus grande considérée.

Le volume élémentaire V_s par point de prélèvement est donné par l'équation (B.2):

$$V_s = \frac{20}{C_{n,m}} \times 1000 \quad (\text{B.2})$$

où

V_s est le volume élémentaire minimal, en litres, prélevé en chaque point (sous réserve d'observer B.4.2.2);

$C_{n,m}$ est la limite de classe (en nombre de particules par mètre cube) pour la plus grande taille particulaire prise en compte dans la classification visée;

20 est le nombre de particules qui pourrait être compté si la concentration particulaire était celle de la limite de classe.

NOTE Lorsque V_s est très grand, le temps de prélèvement devient important. En utilisant la procédure d'échantillonnage séquentiel (voir annexe F), on peut réduire à la fois le volume de l'échantillon et le temps nécessaire pour l'obtenir.

B.4.2.2 Le volume prélevé en chaque point doit être au moins de 2 litres et le temps de prélèvement doit être au moins de 1 min.

B.4.3 Procédure d'échantillonnage

B.4.3.1 Préparer le compteur de particules (voir B.2.1) suivant les instructions du constructeur et conformément au certificat d'étalonnage de l'instrument.

B.4.3.2 La tête de prélèvement doit être disposée face à l'écoulement. Si la direction de l'écoulement à échantillonner n'est pas maîtrisée ou prévisible (par exemple, un écoulement non unidirectionnel), l'entrée de la tête de prélèvement doit être dirigée vers le haut.

B.4.3.3 Prélever au moins le volume d'air calculé suivant B.4.2 en chaque point de prélèvement.

B.4.3.4 Lorsqu'un seul point d'échantillonnage est demandé (voir B.4.1), prélever un minimum de trois volumes élémentaires (voir B.4.2) en ce point.

B.5 Enregistrement des résultats

B.5.1 Concentration particulaire en chaque point d'enregistrement

B.5.1.1 Noter le résultat de mesurage de chaque échantillon sous forme de concentration particulaire (voir 3.3) pour chaque taille visée par la classification appropriée de propreté de l'air.

NOTE Prendre en considération les exigences de B.6.1 avant de faire les calculs de la limite supérieure de confiance à 95 %.

B.5.1.2 Si un seul point de prélèvement a été utilisé, calculer et noter la moyenne des résultats obtenus (voir B.4.3.4) pour chaque taille de particule considérée.

B.5.1.3 Lorsque deux ou plus de volumes élémentaires sont prélevés en un point de prélèvement, calculer la concentration particulaire moyenne pour chaque taille de particule considérée à partir des concentrations de chaque prélèvement individuel (B.5.1.1), en suivant la procédure décrite en C.2 et noter les résultats.

B.5.2 Exigence pour le calcul de la limite supérieure de confiance à 95 % (LSC)

B.5.2.1 Lorsque le nombre de points de prélèvement est supérieur à 1 et inférieur à 10, calculer la moyenne générale, l'écart-type et la limite supérieure de confiance à 95 % des moyennes de concentrations particulières (voir B.5.1) en suivant la procédure donnée en C.3.

B.5.2.2 Quand il y a seulement un point de prélèvement ou plus de neuf, le calcul de la limite supérieure de confiance à 95 % n'est pas à faire.

B.6 Interprétation des résultats

B.6.1 Exigences de la classification

La salle propre ou la zone propre est estimée conforme à la classification de propreté de l'air spécifié si les moyennes de concentration particulières en chaque point de prélèvement et, lorsque cela est applicable, la limite supérieure de confiance à 95 % calculée suivant B.5.2, ne sont pas supérieures aux limites de concentration déterminées par la formule (1) de 3.2.

Si les résultats d'essais ne satisfont pas la classification de propreté de l'air spécifiée, des essais peuvent être effectués en des points de prélèvement supplémentaires, uniformément répartis. Les résultats du nouveau calcul, qui prend en compte les données des points de prélèvement supplémentaires, doivent être considérés comme définitifs.

B.6.2 Traitement des valeurs aberrantes

Il arrive que le résultat de calcul de la limite supérieure de confiance à 95 % ne satisfait pas la classe ISO spécifiée. Si cette non-conformité est due à une seule valeur, dont le caractère aberrant vient d'une erreur de mesurage (due à une erreur de mise en œuvre de la procédure ou à une panne de l'équipement) ou d'une concentration particulaire exceptionnellement faible (due à un air exceptionnellement propre), cette valeur aberrante peut ne pas être prise en compte dans les calculs, à condition

- a) que le calcul soit recommencé en prenant en compte les points d'échantillonnage restant;
- b) qu'il reste au moins trois résultats de mesurage dans le calcul;
- c) qu'il n'a pas été éliminé plus d'un résultat de mesurage;
- d) que la cause supposée de l'erreur de mesurage ou de la faible concentration particulaire soit documentée et acceptée à la fois par le fournisseur et le client.

NOTE Des valeurs de concentration particulaire largement divergentes d'un point de prélèvement à l'autre peuvent être acceptables et même recherchées, en fonction de la finalité de l'installation propre soumise aux essais.

.....

Annexe C (normative)

Traitement statistique des données de concentration particulaire

C.1 Raisonnement

Cette analyse statistique prend seulement en compte les erreurs aléatoires (manque de fidélité), mais pas les erreurs de nature non aléatoire (par exemple l'erreur systématique due à un étalonnage erroné).

C.2 Algorithme de calcul de la concentration particulaire moyenne en un point de prélèvement (\bar{x}_i)

Lorsque des échantillons multiples sont prélevés en un point, l'équation (C.1) doit être appliquée pour déterminer la concentration particulaire moyenne à ce point. Le calcul de la concentration particulaire moyenne doit être effectué en chaque point de prélèvement où deux échantillons ou plus ont été prélevés.

$$\bar{x}_i = \frac{x_{i,1} + x_{i,2} + \dots + x_{i,n}}{n} \quad (\text{C.1})$$

où

\bar{x}_i est la concentration particulaire moyenne au point i , représentant chaque point;

$\bar{x}_{i,1}$ à $\bar{x}_{i,n}$ sont les concentrations particulières des prélèvements individuels;

n est le nombre de prélèvements effectués au point i .

C.3 Algorithme de calcul de la limite supérieure de confiance à 95 %

C.3.1 Principe

Cette procédure ne s'applique que si le nombre des points de prélèvement est supérieur à 1 et inférieur à 10. Dans ce cas, la présente procédure vient en complément de l'algorithme de la formule (C.1).

C.3.2 Moyenne générale des concentrations particulières moyennes \bar{x}

En appliquant l'équation (C.2), déterminer la moyenne générale.

$$\bar{x} = \frac{(\bar{x}_{i,1} + \bar{x}_{i,2} + \dots + \bar{x}_{i,m})}{m} \quad (\text{C.2})$$

où

\bar{x} est la moyenne générale des moyennes des points de prélèvement;

$\bar{x}_{i,1}$ à $\bar{x}_{i,m}$ sont les moyennes des points de prélèvements individuels, déterminées à l'aide de la formule (C.1);

m est le nombre de points de prélèvements individuels.

Toutes les concentrations particulières moyennes sont affectées de la même pondération, indépendamment du nombre de prélèvements effectués en chacun des points de prélèvement.

C.3.3 Écart-type des moyennes aux points de prélèvements (s)

En appliquant l'équation (C.3), déterminer l'écart-type des moyennes aux points de prélèvement.

$$s = \sqrt{\frac{(\bar{x}_{i,1} - \bar{x})^2 + (\bar{x}_{i,2} - \bar{x})^2 + \dots + (\bar{x}_{i,m} - \bar{x})^2}{(m-1)}} \quad (\text{C.3})$$

où s est l'écart-type des moyennes aux points de prélèvement.

C.3.4 Limite de confiance supérieure à 95 % (LSC) pour la moyenne générale

En appliquant l'équation (C.4), déterminer la limite supérieure de confiance pour la moyenne générale.

$$95\% \text{ LSC} = \bar{x} + t_{0,95} \left(\frac{s}{\sqrt{m}} \right) \quad (\text{C.4})$$

où $t_{0,95}$ représente le 95^{ème} percentile (quantile) de la distribution t , avec $m-1$ degrés de liberté.

Les valeurs de la distribution t de Student ($t_{0,95}$) pour les 95 % LSC sont données dans le Tableau C.1. Comme alternative, les distributions t de Student fournies par les programmes informatiques statistiques sont également admises.

Tableau C.1 — La variable de Student au niveau de confiance à 95 %

Nombre de moyennes individuelles (m)	2	3	4	5	6	7 à 9
t	6,3	2,9	2,4	2,1	2,0	1,9

Annexe D (informative)

Exemples élaborés de calcul de la classification

D.1 Exemple 1

D.1.1 La salle propre considérée a une aire (A) de 80 m². La conformité avec la classification de propreté de l'air spécifiée doit être déterminée dans l'état «en activité».

La classification de propreté de l'air spécifié est la classe ISO 5.

D.1.2 Les deux tailles particulières prises en compte sont 0,3 µm (D_1) et 0,5 µm (D_2).

- a) Les deux tailles sont bien dans l'étendue granulométrique de la classe ISO 5 [voir 3.3 c)] et du Tableau 1: 0,1 µm ≤ 0,3 µm, et 0,5 µm ≤ 5 µm.
- b) L'exigence portant sur le rapport des tailles successives $D_2 \geq 1,5 \times D_1$ [voir 3.3 c)] est démontrée puisque 0,5 µm ≥ (1,5 × 0,3 µm = 0,45 µm).

D.1.3 Calculer les concentrations maximales des particules en suspension à l'aide de l'équation (1) (voir 3.2):

Pour des particules ≥ 0,3 µm (D_1):

$$C_n = \left(\frac{0,1}{0,3} \right)^{2,08} \times 10^5 = 10\,176 \text{ (arrondi à } 10\,200 \text{ particules/m}^3\text{)} \quad (\text{D.1})$$

Pour des particules ≥ 0,5 µm (D_2):

$$C_n = \left(\frac{0,1}{0,5} \right)^{2,08} \times 10^5 = 3\,517 \text{ (arrondi à } 3\,520 \text{ particules/m}^3\text{)} \quad (\text{D.2})$$

D.1.4 Le nombre des points de prélèvement est déterminé selon l'équation (B.1) (voir B.4.1.1):

$$N_L = \sqrt{A} = \sqrt{80} = 8,94 \text{ (arrondi à } 9\text{)} \quad (\text{D.3})$$

Le nombre de points de prélèvement étant de 9, donc inférieur à 10, le calcul de la limite supérieure de confiance à 95 % (LSC 95 %) se fait suivant l'annexe C.

D.1.5 Calculer le volume élémentaire de l'échantillon selon l'équation B.2 (voir B.4.2.1):

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{20}{C_{n,m}} \times 1000 \\ &= \frac{20}{3\,517} \times 1000 \\ &= 5,69 \text{ l} \end{aligned} \quad (\text{D.4})$$

Le résultat est supérieur à 2 l et le volume élémentaire choisi est de 28 l prélevés sur 1 min. (Ce débit est habituellement disponible pour un compteur de particules utilisant la diffusion de la lumière.)

Ce choix repose sur:

- a) $V_s > 2 \text{ l}$ (B.4.2.2);
- b) $C_{n,m} > 20 \text{ particules/m}^3$ (B.4.2.1);
- c) temps de prélèvement $\geq 1 \text{ min}$ (B.4.2.2).

D.1.6 En chaque point de prélèvement, prélever un seul volume élémentaire (28 l) selon B.4.2.1. Noter les résultats de mesurage selon B.5.1.1, comme suit :

Point de prélèvement	Nombre de particules ($\geq 0,3 \mu\text{m}$)	Nombre de particules ($\geq 0,5 \mu\text{m}$)
1	245	21
2	185	24
3	59	0
4	106	7
5	164	22
6	196	25
7	226	23
8	224	37
9	195	19

D.1.7 À partir des résultats bruts (D.1.6), calculer le nombre de particules par mètre cube, x_i .

Point de prélèvement	$x_i \geq 0,3 \mu\text{m}$	$x_i \geq 0,5 \mu\text{m}$
1	8 750	750
2	6 607	857
3	2 107	0
4	3 786	250
5	5 857	786
6	7 000	893
7	8 071	821
8	8 000	1 321
9	6 964	679

Chacune de ces concentrations pour $0,3 \mu\text{m}$ et $0,5 \mu\text{m}$ est inférieure à la limite correspondante donnée en D.1.3. La première condition de la classification (B.6.1) étant satisfaite, LSC 95 % peut être calculé suivant l'annexe C.

D.1.8 Le calcul de la concentration moyenne selon l'équation (C.1) (voir C.2) est sans objet puisque les volumes prélevés sont uniques en chaque point et reflètent donc une concentration particulaire moyenne à chaque point de prélèvement.

Les moyennes générales sont calculées selon l'équation (C.2) (voir C.3.2):

Pour les particules $\geq 0,3 \mu\text{m}$:

$$\bar{x} = \frac{1}{9} \left(\begin{array}{l} 8\,750 + 6\,607 + 2\,107 + 3\,786 \\ + 5\,857 + 7\,000 + 8\,071 + 8\,000 \\ + 6\,964 \end{array} \right) \quad (\text{D.5})$$

$$= \frac{1}{9} \times 57\,142$$

$$= 6\,349,1 \text{ arrondi à } 6\,349 \text{ particules / m}^3$$

Pour les particules $\geq 0,5 \mu\text{m}$:

$$\bar{x} = \frac{1}{9} \left(\begin{array}{l} 750 + 857 + 0 + 250 + 786 \\ + 893 + 821 + 1321 + 679 \end{array} \right) \quad (\text{D.6})$$

$$= \frac{1}{9} \times 6\,357$$

$$= 706,3 \text{ arrondi à } 706 \text{ particules / m}^3$$

D.1.9 Les écarts-types des moyennes aux points de prélèvement sont calculés selon l'équation (C.3) (voir C.3.3):

Pour les particules $\geq 0,3 \mu\text{m}$:

$$s^2 = \frac{1}{8} \left[\begin{array}{l} (8\,750 - 6\,349)^2 + (6\,607 - 6\,349)^2 \\ + (2\,107 - 6\,349)^2 + (3\,786 - 6\,349)^2 \\ + (5\,857 - 6\,349)^2 + (7\,000 - 6\,349)^2 \\ + (8\,071 - 6\,349)^2 + (8\,000 - 6\,349)^2 \\ + (6\,964 - 6\,349)^2 \end{array} \right] \quad (\text{D.7})$$

$$= \frac{1}{8} \times 37\,130\,073$$

$$= 4\,641\,259,1 \text{ arrondi à } 4\,641\,259$$

$$s = \sqrt{4\,641\,259} \quad (\text{D.8})$$

$$= 2\,154,4 \text{ arrondi à } 2\,154 \text{ particules / m}^3$$

Pour les particules $\geq 0,5 \mu\text{m}$:

$$s^2 = \frac{1}{8} \left[\begin{array}{l} (750 - 706)^2 + (857 - 706)^2 \\ + (0 - 706)^2 + (250 - 706)^2 \\ + (786 - 706)^2 + (893 - 706)^2 \\ + (821 - 706)^2 + (1321 - 706)^2 \\ + (679 - 706)^2 \end{array} \right] \quad (\text{D.9})$$

$$= \frac{1}{8} \times 1\,164\,657$$

145 582,13 arrondi à 145 582

$$s = \sqrt{145\,582} \quad (\text{D.10})$$

381,6 arrondi à 382 particules / m³

D.1.10 La limite supérieure de confiance (LSC) 95 % est calculée selon l'équation (C.4) (voir C.3.4). Comme le nombre de moyennes individuelles est $m = 9$, la variable t , donnée dans le tableau C.1, est $t = 1,9$.

$$\text{LSC 95 \% } (\geq 0,3 \mu\text{m}) = 6\,349 + 1,9 \left(\frac{2\,154}{\sqrt{9}} \right) \quad (\text{D.11})$$

$$= 7\,713,2 \text{ arrondi à } 7\,713 \text{ particules/m}^3$$

$$\text{LSC 95 \% } (\geq 0,5 \mu\text{m}) = 706 + 1,9 \left(\frac{382}{\sqrt{9}} \right) \quad (\text{D.12})$$

$$= 947,9 \text{ arrondi à } 948 \text{ particules/m}^3$$

D.1.11 Interpréter les résultats en suivant B.6.1. En D.1.7, on a montré que les concentrations particulières de chaque volume échantillonné sont inférieures aux limites de classe spécifiées (D.1.3). En D.1.10, on a montré que les valeurs calculées de LSC 95 % sont également inférieures aux limites de classe (D.1.3).

En conséquence, la propreté particulière de l'air de la salle propre satisfait la classification spécifiée.

D.2 Exemple 2

D.2.1 Cet exemple a été imaginé pour montrer l'influence des calculs de LSC 95 % sur les résultats.

Une salle propre en état d'activité est spécifiée pour une propreté particulière de classe ISO 3. Le nombre des points de prélèvement a été fixé à cinq. Puisque le nombre des points de prélèvement est supérieur à 1 mais inférieur à 10, calculer LSC 95 % suivant l'annexe C.

Une seule taille ($D > 0,1 \mu\text{m}$) est prise en compte.

D.2.2 La concentration particulière limite pour une classe ISO 3 à $0,1 \mu\text{m}$ est donnée dans le Tableau 1:

$$C_n (\geq 0,1 \mu\text{m}) = 1\,000 \text{ particules/m}^3$$

D.2.3 En chaque point de prélèvement, prélever un seul volume (B.5.1.1). Le nombre de particules par mètre cube, x_i , est calculé en chaque point et noté comme suit:

Point de prélèvement	$x_i \geq 0,1 \mu\text{m}$
1	926
2	958
3	937
4	963
5	214

Toutes ces concentrations pour $D = 0,1 \mu\text{m}$ sont inférieures à la limite donnée en D.2.2. La première condition d'application de la classification (B.6.1) étant satisfaite, calculer LSC 95 % suivant l'annexe C.

D.2.4 La moyenne générale des concentrations particulaires moyennes est calculée selon l'équation (C.2) (voir C.3.2):

$$\bar{x} = \frac{1}{5} (926 + 958 + 937 + 963 + 214) \quad (\text{D.13})$$

$$= \frac{1}{5} \times 3\,998$$

$$= 799,6 \text{ arrondi à } 800 \text{ particules / m}^3$$

D.2.5 L'écart-type des concentrations particulaires moyennes est calculé selon l'équation (C.3) (voir C.3.3):

$$s^2 = \frac{1}{4} \left[\begin{array}{l} (926 - 800)^2 + (958 - 800)^2 \\ + (937 - 800)^2 + (963 - 800)^2 \\ + (214 - 800)^2 \end{array} \right] \quad (\text{D.14})$$

$$= \frac{1}{4} \times 429\,574$$

$$= 107\,393,5 \text{ arrondi à } 107\,394$$

$$s = \sqrt{107\,394} = 327,7 \text{ arrondi à } 328 \text{ particules / m}^3 \quad (\text{D.15})$$

D.2.6 Calculer LSC 95 % selon l'équation C.4 (voir C.3.4). Comme le nombre de points de prélèvement est $m = 5$, la variable t , donnée dans le tableau C.1, est $t = 2,1$.

$$\text{LSC 95 \%} = 800 + 2,1 \left(\frac{328}{\sqrt{5}} \right) \quad (\text{D.16})$$

$$= 1\,108$$

D.2.7 Les concentrations particulaires en chaque point sont inférieures à la limite de la classification ISO spécifiée (D.2.2).

Le calcul de la limite supérieure de confiance à 95 % montre, toutefois, que la propreté particulaire de l'air de la salle ne rejoint pas la classification spécifiée.

Cet exemple met en évidence l'effet d'une seule valeur aberrante (ici la faible concentration au point de prélèvement n° 5) sur le résultat de la condition imposée à LSC 95 %.

Puisque la non-conformité vient du calcul de la LSC à 95 % et a pour cause une seule faible concentration particulière, le mode opératoire décrit en B.6.2 peut être suivi afin de déterminer si la non-conformité peut être abandonnée.

Annexe E (informative)

Indications sur le comptage et le mesurage des tailles particulières situées à l'extérieur de l'étendue granulométrique fixée par la classification

E.1 Principe

Dans certains cas, le plus souvent par la suite de contraintes spécifiques du processus, des niveaux de propreté de l'air peuvent être définis pour des populations de particules qui sortent de l'étendue granulométrique fixée par la classification. La concentration maximale des particules en question, ainsi que le choix d'une méthode d'essai pour établir la conformité, sont à définir par un accord entre client et fournisseur. Des indications sur les méthodes d'essai et les formats à retenir pour les spécifications sont données en E.2 (pour les descripteurs U) et en E.3 (pour les descripteurs M).

E.2 Cas des particules de taille inférieure à 0,1 µm (particules ultrafines) — Descripteur U

E.2.1 Application

Si les risques de contamination dus à des particules de taille inférieure à 0,1 µm sont à évaluer, il convient de mettre en œuvre des appareils de prélèvement et des procédures de mesurage adaptés aux caractéristiques particulières de telles particules.

Il convient que le nombre de points de prélèvement soit déterminé conformément à B.4.1 avec un volume de prélèvement minimal V_s de 2 l (B.4.2.2).

E.2.2 Format descripteur U

La concentration de particules ultrafines du descripteur U peut être définie indépendamment ou comme un supplément à la classe de propreté de l'air. Le descripteur U est exprimé dans le format suivant:

«U (x; y)»

où

- x est la concentration maximale admissible des particules ultrafines (exprimée en particules ultrafines par mètre cube d'air);
- y est la taille en micromètres que le compteur de particules choisi est capable de compter avec un rendement de 50 %.

EXEMPLE Pour exprimer une concentration maximale admissible en particules ultrafines de 140 000/m³ de taille supérieure ou égale à 0,01 µm, la désignation sera:

«U (140 000; 0,01 µm)»

NOTE 1 Des méthodes d'essai appropriées des concentrations de particules inférieures à 0,1 µm sont données dans IEST-G-CC1002 [1].

NOTE 2 Si le descripteur U est utilisé en supplément d'une classe ISO, la concentration (x) en particules ultrafines ne pourra être inférieure à la concentration limite (en particules par mètre cube) prévue pour la taille 0,1 µm par la classe en question.

E.3 Cas des particules de taille supérieure à 5 µm (macroparticules) — Descripteur M

E.3.1 Application

Si les risques de contamination dus à des particules de taille supérieure à 5 µm sont à évaluer, il convient de mettre en œuvre des appareils de prélèvement et des procédures de mesurage adaptés aux caractéristiques particulières de telles particules.

Comme l'émission de particules dans l'environnement des procédés domine habituellement la fraction des macroparticules en suspension dans l'air, le choix de l'appareil de prélèvement et de la procédure de mesurage doit être abordé à partir de l'application spécifique. Des paramètres tels que la densité, la forme, le volume et le comportement aérodynamique des particules doivent être pris en compte. Il peut également être nécessaire de mettre l'accent sur des constituants particuliers de la population en suspension dans l'air, tels que les fibres.

E.3.2 Format descripteur M

Le descripteur M peut être défini indépendamment ou comme un supplément à la classe de propreté de l'air. Le descripteur M est exprimé dans le format suivant:

«M (a; b); c»

où

- a est la concentration maximale admissible des macroparticules (exprimée en macroparticules par mètre cube d'air);
- b est le diamètre équivalent (ou les diamètres) auquel accède la méthode spécifiée de mesurage des macroparticules;
- c est la méthode de mesurage spécifiée.

NOTE 1 Lorsque la population particulaire prélevée contient des fibres, on peut en tenir compte en ajoutant au descripteur M, un descripteur de fibres qui a le format:

$M_{\text{fibre}}(a; b); c$

EXEMPLE 1 Pour exprimer une concentration de 10 000 particules/m³ en particules de taille supérieure à 5 µm que l'on a mesurée avec un compteur à temps de vol qui accède au diamètre aérodynamique, la désignation serait:

«M (10 000; > 5 µm); compteur d'aérosols à temps de vol»

EXEMPLE 2 Pour exprimer une concentration de 1 000 particules/m³ dans l'étendue granulométrique 10 µm à 20 µm que l'on a mesurée avec un impacteur à cascade suivi d'un mesurage et d'un comptage au microscope, la désignation serait:

«M (1 000; 10 µm à 20 µm); impacteur à cascade suivi d'un mesurage et d'un comptage au microscope optique»

NOTE 2 Des méthodes d'essai appropriées pour le mesurage des concentrations de particules en suspension de tailles supérieures à 5 µm sont données dans IEST-G-CC1003 [2].

NOTE 3 Si le descripteur M est utilisé en supplément d'une classe ISO, il convient que la concentration en macroparticules (a) soit inférieure à la concentration limite (en particules par mètre cube) prévue pour la taille 5 µm par la classe en question.

Annexe F (informative)

Procédure d'échantillonnage séquentiel

F.1 Principes et limites d'application

F.1.1 Principe

Si la contamination particulaire de l'air à prélever diffère significativement, en plus ou en moins, de la concentration limite de la classe, l'utilisation de l'échantillonnage progressif peut réduire le volume à prélever et le temps correspondant de façon substantielle. Quelques économies peuvent aussi être réalisées lorsque la concentration particulaire est voisine de la limite de classe. L'échantillonnage séquentiel est particulièrement intéressant lorsque la propreté attendue de l'air se situe dans la classe ISO 4 ou les classes plus propres que cette dernière.

NOTE Pour des informations complémentaires sur l'échantillonnage séquentiel, voir IEST-G-CC 1004 [3].

F.1.2 Limites d'application

Les principales limites de l'échantillonnage séquentiel sont:

- a) La procédure n'est applicable qu'à un échantillonnage dont on prévoit que chaque prélèvement contienne un total de 20 particules de la taille considérée, à la limite de la classe ou de la concentration spécifiée.
- b) Chaque mesurage d'un prélèvement demande des moyens supplémentaires de suivi et d'exploitation des résultats qui peuvent être facilités par des moyens informatiques automatisés.
- c) La concentration particulaire de l'air n'est pas obtenue avec la même précision que donne une procédure traditionnelle d'échantillonnage à cause du volume réduit de l'échantillon.

F.2 Principes de la procédure

La procédure repose sur la comparaison, en temps réel, des comptages cumulés obtenus par rapport à des comptages de référence. Les comptages de référence sont calculés à partir d'équations qui fixent des limites supérieure et inférieure:

$$\text{Limite supérieure:} \quad C = 3,96 + 1,03 E \quad (\text{F.1})$$

$$\text{Limite inférieure:} \quad C = - 3,96 + 1,03 E \quad (\text{F.2})$$

où

C est le comptage cumulé observé;

E est le comptage attendu.

Pour faciliter les comparaisons, des renvois utiles sont donnés sous forme d'un graphique (Figure F.1) et d'un tableau (Tableau F.1). L'une ou l'autre de ces présentations peut être utilisée.

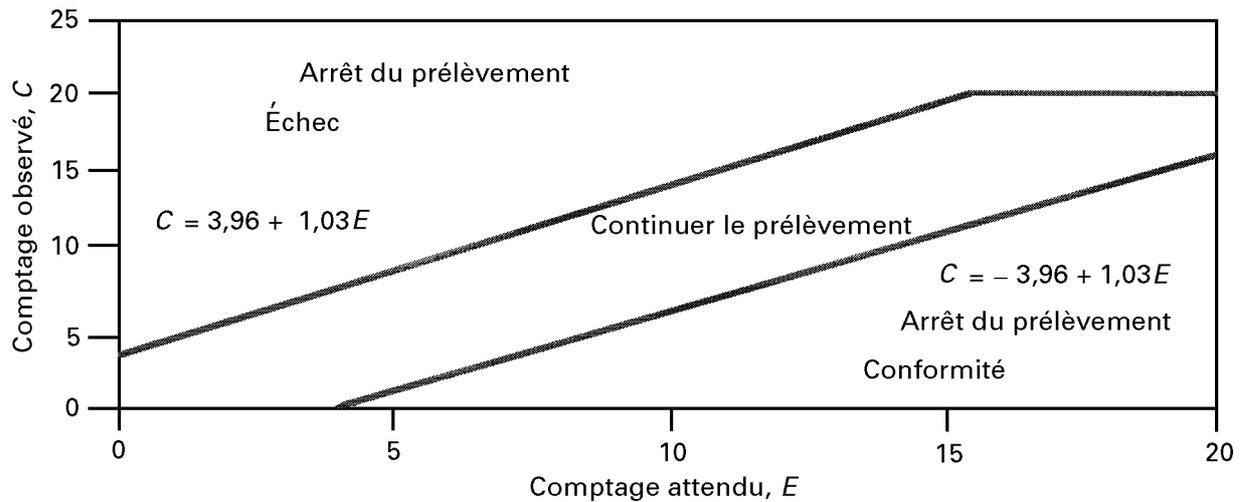


Figure F.1 — Frontières de conformité ou d'échec de la procédure de prélèvement séquentiel

Tableau F.1 — Limites supérieures et inférieures de l'instant auquel le comptage C observé devrait arriver

Échec si le comptage C arrive plus tôt qu'attendu		Conformité si le comptage C arrive plus tard qu'attendu	
Fraction du temps t	Comptage observé	Fraction du temps t	Comptage observé
0,001 9	4	0,192 2	0
0,050 5	5	0,240 7	1
0,099 2	6	0,289 3	2
0,147 6	7	0,337 8	3
0,196 1	8	0,386 4	4
0,244 7	9	0,434 9	5
0,293 2	10	0,483 4	6
0,341 7	11	0,532 0	7
0,390 2	12	0,580 5	8
0,438 8	13	0,629 1	9
0,487 3	14	0,667 6	10
0,535 9	15	0,726 2	11
0,584 4	16	0,774 7	12
0,633 0	17	0,823 3	13
0,681 5	18	0,871 8	14
0,730 0	19	0,920 3	15
0,778 6	20	0,968 9	16
1,000 0	21	1,000 0	17

NOTE Les fractions de temps sont données en fonction d'un temps total t ($t = 1,000 0$ à la limite de classe).

En chaque point de prélèvement, pendant le prélèvement, le comptage total en cours est comparé à des comptages limites de référence qui sont fonction de la proportion du volume total du prélèvement qui a déjà été prélevé. Si le comptage en cours est inférieur au comptage limite inférieur attendu, compte tenu du volume prélevé, l'air est déclaré satisfaire la classe spécifiée ou la concentration limite fixée; le prélèvement est arrêté.

Si le comptage en cours dépasse le comptage limite supérieur qui correspond au volume déjà prélevé, l'air prélevé est déclaré ne pas satisfaire la classe spécifiée ou la concentration limite fixée; le prélèvement est arrêté. Tant que le comptage en cours se maintient entre les limites inférieures et supérieures, le prélèvement continue jusqu'à ce que le volume total ait été prélevé.

Sur le graphique de la Figure F.1, le nombre de comptages observés, C , est porté en fonction du nombre de comptages attendus, E , pour un débit d'air de prélèvement qui donnerait 20 comptages pendant le temps nécessaire pour prélever le volume total, en supposant que la concentration particulaire est égale à la limite que l'on s'est fixée pour la taille particulaire en cause.

Le Tableau F.1 donne une méthode équivalente où le temps au bout duquel on observe un comptage, C , est comparé à une proportion du temps nécessaire pour prélever le volume total. Si le comptage arrive plus tôt que prévu par le tableau, l'air prélevé n'est pas conforme à la limite fixée. Si le comptage arrive plus tard que prévu, l'air prélevé est conforme à la limite fixée. Au plus, 21 comparaisons de temps d'arrivée des particules avec les temps limites correspondants devraient être effectués.

F.3 Procédure de prélèvement

F.3.1 Références du prélèvement séquentiel

Deux techniques de comparaison sont proposées au choix pour décider du résultat, au fur et à mesure que les données expérimentales arrivent. L'analyse informatique progressive des données est avantageuse et recommandée.

F.3.2 Comparaison avec le prélèvement graphique

La Figure F.1 traduit les frontières calculées à partir des équations (F.1) et (F.2); elle est limitée par $E = 20$ qui correspond au temps nécessaire pour prélever le volume total et par $C = 20$ qui est la valeur maximale admise lors du comptage.

Les comptages observés sont reportés en fonction des comptages attendus pour de l'air dont la concentration particulaire est exactement celle de la limite de classe spécifiée. Le passage à une échelle des temps tient compte de ce que les comptages attendus augmentent régulièrement avec le temps jusqu'à $E = 20$ qui correspond au temps nécessaire pour prélever le volume total défini à partir de l'hypothèse où sa concentration particulaire est celle de la limite de classe.

La procédure de prélèvement séquentiel utilisant la Figure F.1 est la suivante:

- Pendant le prélèvement, noter le nombre de particules comptées en fonction du temps et comparer le comptage avec les limites supérieures ou inférieures de la Figure F.1.
- Si le comptage cumulé passe au-dessus de la limite supérieure, le prélèvement est arrêté et l'air est déclaré non conforme à la limite de classe spécifiée.
- Si le comptage cumulé descend au-dessous de la limite supérieure, le prélèvement est arrêté et l'air est considéré satisfaire la limite de classe spécifiée.
- Si le comptage se maintient entre les limites supérieure et inférieure, le prélèvement est poursuivi.
- Si le comptage total est inférieur ou égal à 20 à la fin du temps de prélèvement et la limite supérieure n'a pas été dépassée, l'air est conforme à la limite de classe.

F.3.3 Comparaison avec le prélèvement tabulaire

Le Tableau F.1 propose une méthode équivalente d'utilisation de l'échantillonnage progressif qui repose également sur les équations (F.1) et (F.2). Le temps t de ce tableau correspond à la durée du prélèvement du volume total; la valeur «1,000 0» lui est assignée. Ce volume total est celui qui doit être prélevé pour récolter 20 particules dans l'hypothèse où la concentration particulaire de l'air est exactement celle de la limite de classe calculée pour des particules de la taille considérée. Les valeurs temporelles données dans le Tableau F.1 sont exprimées en fraction de temps t nécessaire pour prélever le volume total.

La procédure de prélèvement séquentiel suivant le Tableau F.1 est la suivante:

- Pendant le prélèvement, noter le nombre de particules comptées en fonction du temps et comparer le temps d'arrivée de chaque comptage avec les temps donnés dans les deux colonnes du Tableau F.1.
- Si une valeur donnée de comptage cumulé arrive plus tôt qu'attendu d'après les indications de la colonne de gauche, le prélèvement est arrêté et l'air est déclaré non conforme à la limite de classe spécifiée.
- Si un comptage cumulé arrive plus tard qu'attendu d'après la valeur donnée dans la colonne de droite, le prélèvement est arrêté et l'air est considéré satisfaire la limite de classe spécifiée.
- Si les comptages cumulés arrivent régulièrement entre les temps donnés par les deux colonnes, l'échantillonnage est poursuivi.
- Si le comptage continue jusqu'à faire 21 comparaisons avec les temps de la colonne de gauche, et qu'aucun comptage n'est arrivé plus tôt qu'attendu, l'air est déclaré conforme à la limite de classe spécifiée.

Bibliographie

- [1] IEST-G-CC1002, *Determination of the Concentration of Airborne Ultrafine Particles*. Mount Prospect, Illinois: Institute of Environmental Sciences and Technology (1997).
- [2] IEST-G-CC1003, *Measurement of Airborne Macroparticles*. Mount Prospect, Illinois: Institute of Environmental Sciences and Technology (1997).
- [3] IEST-G-CC1004, *Sequential Sampling Plan for Use in Classification of the Particulate Cleanliness of Air in Cleanrooms and Clean Zones*. Mount Prospect, Illinois: Institute of Environmental Sciences and Technology (1997).

ICS 13.040.30

Prix basé sur 18 pages
