

RÉVISION DE L'ISO 14644-3

Lecture croisée des versions 2005 et 2019

Par V. BARBIER, Pharmaplan, et S. VANDRIESSCHE, Aspec

La révision de la troisième partie de l'ISO 14644 a fait l'objet de neuf ans de travail, qui n'empêchent pas la nouvelle version de souffrir de quelques écueils. D'ultimes modifications de forme devraient être intégrées prochainement. Revue de détail de l'évolution de la norme depuis sa version précédente de 2005.

La version révisée de la norme ISO 14644-3 a été publiée à l'ISO le 30 août 2019 et devait être homologuée dans la collection des normes Afnor avant la fin décembre 2019. Neuf années d'un travail long et laborieux pour parvenir à un consensus n'évitent ni quelques écueils dans les rouages ni des coquilles dans cette nouvelle version. Des modifications de forme ont ainsi été demandées par plusieurs pays et devraient être prises en compte, ceci en amont de la reprise par les différents organismes nationaux de normalisation, dont l'Afnor. John Hargreaves (expert normalisation ISO 14644 et ISO 14698

pour le compte de l'Aspec) a soutenu très activement le projet sur la scène internationale, en étant relayé sur le sol français par Bernard Thaveau (expert français de la commission miroir Afnor X44B).

Principes maintenus

Dans la démarche, des principes fondamentaux sont maintenus entre les deux textes, notamment :

- la partie 3 de l'ISO 14644 ne s'applique pas aux produits fabriqués ou manipulés ni aux procédés ;
- elle distingue les deux types de flux d'air : flux unidirectionnel (« laminaire ») et flux non unidirectionnel (« turbulent ») ;
- les tests peuvent être conduits



Mesure de débit au moyen d'un balomètre.

dans trois états de l'installation « salle propre » : « Après construction », « Au repos », « En activité » ;

- elle dresse une liste non exhaustive de tests ;
- elle insiste sur la nécessité d'un accord préalable client-fournisseur pour le choix des essais et l'ordre de déroulement de ceux-ci.

D'ailleurs, la structure de la norme est identique à la version de 2005 (NF, 2006). Pour le corps de la norme :

1. Domaine d'application
2. Références normatives
3. Termes et définition
4. Modes opératoires d'essai
5. Rapports d'essai



A Terminologie entre les deux versions

Renvoi sur d'autres parties de la série ISO 14644	Termes apparaissant dans la version 2005 et supprimés dans la version 2019	Termes remaniés	Nouvelles définitions dans la version 2019	Définitions reprises de la partie 1 (ISO 14644)
Macroparticule → ISO 14644-1 (3.2.5)	Pénétration de fuite standard (3.3.10)	Flux d'air uniforme (3.4.8) remplacée par une définition portant sur l'uniformité des vitesses (3.4.7)	Sensibilité	Erreur maximale de mesurage tolérée ¹ (3.4.2)
Descripteur M → ISO 14644-1 (3.2.6)	Débit d'air moyen (3.4.2)	Différence de tension (3.5.2) remplacée par tension induite (3.5.2)		Résolution (3.4.1)
Particule ultrafine → ISO 14644-12 (Nanoparticule, 3.3.1)	Échantillonnage anisocinétique (3.6.2)	Niveau de tension superficielle (3.5.4) remplacé par niveau de tension de surface (3.5.4)		
Descripteur U → terme non repris	Impacteur en cascade (3.6.3)	Hotte de mesure avec débitmètre/balomètre (3.6.10) remplacée par hotte de captage de flux d'air (3.6.3)		
Compteur discret de particules (DPC) (3.6.8) → LSAPC (3.5.1), ISO 14644-1	Analyseur de mobilité différentielle (3.6.6)			
Compteur de noyau de condensation (3.6.4) → ISO 14644-12 (CNC, 3.5.1)	Élément de batterie de diffusion (3.6.7)			
Efficacité de comptage (3.6.5) → ISO 21501-4 (3.2)	Échantillonnage iso-axial (3.6.11)			
Bruit de fond de comptage (3.6.9) → ISO 21501-4 (3.3, False count)	Dispositif de séparation de particules en fonction de leur taille (3.6.13)			
Mesurage de la taille des particules par temps de vol (3.6.15) → compteur de particules à temps de vol (3.5.3)	Échantillonnage isocinétique (3.6.12)			
	Taille limite inférieure de classe (3.6.14)			
	Impacteur virtuel (3.6.16)			

1. Valeur maximale de l'erreur de mesurage, par rapport à une grandeur de référence connue, tolérée par les spécifications ou les réglementations pour un mesurage, un instrument de mesure ou un système de mesure donné.

B Typologie des essais dans les deux versions

ISO 14644-3:2005	ISO 14644-3:2019
<ul style="list-style-type: none"> Essais exigés (comptage particulaire) Essais facultatifs 	<ul style="list-style-type: none"> Essais de classification particulaire Essais portant sur les attributs de propreté (parties 8, 9 et 10) Essais complémentaires (à choisir dans une liste en annexe A et non rangés par ordre d'importance ou chronologique - accord à formaliser entre les acteurs (client-fournisseur)
12 essais listés (tableau C)	11 essais listés Suppression des essais « Comptage des particules ultrafines », « Comptage des macroparticules en suspension dans l'air » Ajout d'un essai : « Essai de séparation » (Segregation Test)

Les tests liés à la classification particulaire, aux particules ultrafines et aux macroparticules disparaissent de la partie 3.

→ Et pour ses annexes :

- annexe A : Sélection et liste des essais complémentaires recommandés ;
- annexe B : Méthodes d'essais complémentaires ;
- annexe C : Appareil d'essai.

Principaux changements 2005/2019

Les principaux changements entre la version ISO de 2005 et la nouvelle publication de 2019 sont les suivants.

La terminologie

La série ISO 14644 élargie rappelle, dans chaque partie, les termes (débit, comptage...) du sujet couvert : les vingt-cinq termes définis dans la version 2005 sont, pour la plupart, explicités dans d'autres référentiels normatifs. Leur répartition est détaillée dans le **tableau A**.

La typologie

La typologie des essais est décrite dans le **tableau B**.

Les tests liés à la classification particulaire, aux particules ultrafines et aux macroparticules disparaissent de la partie 3, version 2019. Ils sont uniquement abordés dans les parties 1 et 12 de l'ISO 14644.

La méthode de référence pour la classification particulaire de l'air figure en annexe A normative de l'ISO 14644-1. De fait, toutes les informations relatives à la mesure de la concentration des particules en suspension dans l'air, dont celles des macroparticules (voir l'annexe C informative) ont été reprises dans la partie 1 de l'ISO 14644.

Les recommandations concernant les caractéristiques des compteurs de particules ont été déplacées vers la partie 1 de l'ISO 14644 également et font référence à la norme ISO 21501-4.

Les informations relatives à la mesure de la concentration

en particules ultrafines ont été déplacées vers la norme ISO 14644-12 traitant de ces particules de diamètre inférieur à 100 nm (pour information, non reprise dans la collection des normes françaises).

Prescriptions métrologiques

On note des prescriptions métrologiques plus draconiennes sur les appareils de mesure (**tableaux C et D**).

À noter que la norme donne une notion de sensibilité pour chaque appareil spécifiée à 1, mais cette information est trop vague et ne permet pas de statuer clairement sur ce terme.

Quand réaliser ces essais ?

Au moins au stade de la classification, après toute défaillance, après toute modification, à intervalles réguliers, suivant l'analyse de risques pour optimiser les intervalles (et en lien avec la partie 2 de l'ISO 14644). Aucune notion de fréquence.

Détail sur les essais et méthodologies associées (annexe B)

Un nouvel essai dans la version révisée (test de ségrégation) est introduit pour vérifier l'effet de protection d'un flux d'air séparant deux zones de classe particulaire différente. →

POUR EN SAVOIR PLUS

Autres références normatives citées dans l'ISO 14644-3 :

Afnor, ISO 14644-3:2019 août 2019

NF EN 12599 (E 51 724) : Ventilation des bâtiments - Procédures d'essai et méthodes de mesure pour la réception des installations de conditionnement d'air et de ventilation (décembre 2012).

NF EN ISO 5167-1 (X 10-102-1) : Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduits en charge de section circulaire. Principes généraux (juin 2003).

NF EN ISO 5167-2 (X 10-102-2) : Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire. Partie 2 : Diaphragmes (juin 2003).

NF EN ISO 5167-3 (X 10-102-3) : Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire. Partie 3 : Tuyères et Venturi-tuyères (juin 2003).

NF EN ISO 5167-4 (X 10-102-4) : Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire. Partie 4 : tubes de Venturi (juin 2003).

NF EN ISO 5167-5 (X10-102-5) : Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire. Partie 5 : cônes de mesure (mai 2016).

C Liste des essais et appareils

Essais	Appareils selon ISO 14644-3:2005	Appareils selon ISO 14644-3:2019
Pression différentielle	Micromanomètre électronique ; manomètre à tube incliné ; manomètre mécanique de pression différentielle	Manomètre électronique, à tube incliné, mécanique de pression différentielle
Flux d'air	En conduit, tubes de Pitot et manomètre ; débitmètre à orifice déprimogène ; tubes Venturi Anémomètre thermique ; anémomètre tridimensionnel à ultrasons ; anémomètre à hélice ; balomètre	Pour le relevé de vitesses en conduit : ajout de l'anémomètre thermique Débit sous flux unidirectionnel : anémomètres thermiques, à hélice, à ultrasons, à différence de pressions Uniformité du flux : ajout des anémomètres thermiques, à hélice, à ultrasons, à différence de pressions
Direction et visualisation de l'écoulement d'air	Anémomètre thermique ; anémomètre tridimensionnel à ultrasons ; nébuliseur à ultrasons ; générateur à brouillard (eau désionisée/glycols/alcools)	Idem 2005 (sauf nébuliseur à ultrasons)
Essai de récupération	Compteur discret de particules avec générateur d'aérosol ; dispositif de dilution	Compteur discret de particules avec générateur d'aérosol ; dispositif de dilution et fluide aérosolisable
Température	Thermomètre en verre ; thermomètre ; dispositif mesurant la température par résistivité ; thermistance	Thermomètre à dilatation ; thermomètre électrique ; thermistance
Humidité	Hygromètre capacitif ; hygromètre à cheveux ; hygromètre à point de rosée ; psychromètre	Hygromètre capacitif ; hygromètre à point de rosée ; psychromètre
Recherches de fuite sur l'élément de filtration installé	Compteur à noyau de condensation (CNC) Ensemble générateur d'aérosol + photomètre ou générateur + compteur optique de particules	Idem mais suppression du CNC
Recherche de fuite de confinement	Générateur d'aérosols, + diluteur et compteur de particules ou photomètre d'aérosol	Générateur d'aérosols, fluides aérosolisables + diluteur et compteur de particules ou photomètre d'aérosol
Essais électrostatiques et essais de générateur d'ions	Voltmètre électrostatique ; ohmmètre à grande résistance ; moniteur à plaque chargée	Voltmètre électrostatique ; ohmmètre à grande résistance ; moniteur à plaque chargée
Sédimentation de particules	Plaque témoin ; microscope à loupe binoculaire (= microscope optique ou loupe binoculaire) ; photomètre / compteur de sédimentation ; compteur de particules superficielles	Plaque témoin ; dispositif d'examen de surface en couche ; photomètre/compteur ; compteur de particules superficielles ; dispositif de mesure de sédimentation de particules ; moniteur optique de sédimentation des particules
Séparation	/	Compteur de particules (LSAPC) ; générateur d'aérosol ; fluide aérosolisable ; système de dilution

Les prescriptions métrologiques sur les appareils de mesure sont devenues plus draconiennes.

→ L'objectif de ce test est d'évaluer l'efficacité de la protection d'un flux d'air (entre deux zones de propreté différente : par exemple, entre un flux dirigé ou flux unidirectionnel vertical et un atelier d'ambiance moins propre que sous le flux). Le prérequis au déroulement du test est la classification particulière effectuée dans les deux zones.

La méthode consiste à générer un aérosol, tel que DOS (diocetyl sébaçate), DEHS (di-2-éthylhexyl sébaçate), PAO (poly-alpha-oléfine), billes de polystyrène, de latex... de diamètre $\geq 0,5 \mu\text{m}$, dans la zone la moins propre (au moins 10 fois la concentration de référence) et de mesurer la concentration d'aérosols simultanément dans les deux zones. Les autres essais sont évoqués dans le [tableau E](#).

Valeurs spécifiées

Aucune valeur n'est spécifiée dans la norme 14644-3 pour les tests, sauf pour le critère d'intégrité des filtres installés.

D Synthèse des spécifications minimales sur les principaux appareils

Appareil	Plage de mesures	Résolution	Erreur maximale tolérée (EMT)
Micromanomètre (ΔP)	/	0,5 Pa (0 à 49,9 Pa) 1 Pa (≥ 50 Pa)	Max (2 Pa, 5 % de la valeur mesurée)
Anémomètre (tout type)	/	0,01 m/s (0,2 à 0,99 m/s) 0,1 m/s (≥ 1 m/s)	0,1 m/s (0,2 à 1 m/s) 10 % de la valeur mesurée (> 1 m/s)
Balomètre	/	3,6 m ³ /h (0,001 m ³ /s)	36 m ³ /h (0-360 m ³ /h) 10 % de la valeur mesurée (> 360 m ³ /h)
Photomètre d'aérosol	0,001 à 100 mg/m ³	0,000 1 mg/m ³	10 % de la plage sélectionnée
Température	/	20 % de la plage admissible de température entre le point de consigne et la plage de variation maximale admissible par rapport à celui-ci	/
Humidité relative	/	20 % de la plage admissible d'humidité relative entre le point de consigne et la plage de variation maximale admissible par rapport à celui-ci	/
Voltmètre électrostatique	$\pm 1-20$ kV	10 V (1 kV-20 kV)	10 % de la valeur lue
Ohmmètre à grande résistance	1 000 Ω à 20 G Ω	0,01 M Ω	5 % de chaque pleine échelle
Moniteur à plaque chargée	± 5 kV	0,1 V (< 100 V) 1,0 V (> 99 V)	5 % de la pleine échelle

À partir de l'annexe C, tableau C1 à C9, ISO 14644-3:2019.

E Comparatif 2005/2019 sur les méthodologies

Essai	Détails de la méthodologie	
	Selon version 2005	Selon version 2019
Vitesse de l'air soufflé sous flux unidirectionnel	<ul style="list-style-type: none"> Distance du filtre : 150 à 300 m Nombre minimum : $\sqrt{10 \times \text{aire du plan de mesurage}}$ et nombre ≥ 4 Au moins 1 point pour chaque sortie de filtre ou unité motorisée de filtration Il est recommandé d'enregistrer les valeurs temporelles moyennes des vitesses pour de multiples emplacements 	<ul style="list-style-type: none"> Distance du filtre : 150 à 300 m Nombre minimum : $\sqrt{10 \times \text{aire du plan de mesurage}}$ Au moins 1 point pour chaque sortie de filtre ou unité motorisée de filtration Il est recommandé d'enregistrer les valeurs temporelles moyennes des vitesses pour de multiples emplacements
Uniformité de la vitesse		$U (\%) = (1 - \sigma/M) \times 100 \%$ σ = écart type des mesures M = moyenne des mesures individuelles Écart max (%) = $100 \times [(Vd - M)/M]$ Vd = valeur extrême/moyenne
Débit d'air pour les installations à flux d'air non unidirectionnel	À partir d'un balomètre : protocole similaire entre les deux versions	
		Ajout d'un facteur de correction à appliquer sur le débit en fonction de la comparaison avec des essais en conduite
Débit de l'air soufflé dans les conduits de ventilation	À partir d'un anémomètre : protocole similaire entre les deux versions (cf. nombre de points sous un flux unidirectionnel)	
		Commentaire de la norme : le résultat de débit, à partir d'un calcul, est impacté par le choix d'appareil, la distance au filtre...
Débit de l'air soufflé dans les conduits de ventilation	À partir d'un anémomètre ou d'un tube de Pitot, partager la section du conduit en une grille de cellules d'aires égales puis 1 mesure au centre de chacune d'elle. Le nombre de cellules doit faire l'objet d'un accord client-fournisseur	
	Renvoi aux normes ISO 5167-1 à 4 et à la norme EN 12599	Renvoi uniquement à l'ISO 5167-5 N.-B. : sans doute une erreur d'intégration des commentaires sur la version finale
Pression différentielle de l'air		Ajout d'une précision : si les mesures sont inférieures à la valeur attendue, il convient de confirmer le sens d'écoulement de l'air (visualisation des flux)
Recherche de fuite d'un élément de filtration installé (Méthode au photomètre)	applicable pour les filtres dont la pénétration intégrale est $\geq 0,003 \%$.	
		Non repris
	<ul style="list-style-type: none"> aérosol polydispersé généré artificiellement ou aérosol atmosphérique diamètre médian en masse : 0,5 à 0,7 μm écart-type : 1,7 	<ul style="list-style-type: none"> aérosol d'essai généré artificiellement diamètre médian en masse : 0,3 à 0,7 μm écart type : 1,7
	<ul style="list-style-type: none"> Concentration de l'aérosol d'essai : 10 à 100 mg/m^3 (en pratique, 20 à 80 mg/m^3) Variation acceptée de concentration de l'aérosol amont : $\pm 15 \%$ 	Concentration de l'aérosol d'essai : 1 à 100 mg/m^3 Variation acceptée de concentration de l'aérosol amont : $\pm 15 \%$
	Dimensions de la sonde du photomètre : suivant formule, $D_p = Q_{va} / (U \times W_p)$ <ul style="list-style-type: none"> D_p (cm) : dimension de la sonde parallèle à la direction de balayage Q_{va} (cm^3/s) : débit réel d'échantillonnage du photomètre (en général, 28,3 L/min) U (cm/s) : vitesse de l'air en sortie de filtre W_p (cm) : dimension de la sonde perpendiculaire à la direction de balayage 	Dimensions de la sonde du photomètre : <ul style="list-style-type: none"> si rectangulaire : 8 cm \times 1 cm si circulaire : 3,6 cm (associé à un débit du photomètre de 28,3 L/min ou 472 cm^3/s)
	Vitesse de déplacement latéral de la sonde : 15 / W_p ; pour une sonde carrée (3 cm \times 3 cm), vitesse de déplacement latéral de la sonde : 5 cm/s	Vitesse de déplacement latéral de la sonde : 5 cm/s
	Distance du filtre : 3 cm	Distance du filtre : 3 cm
Recherche de fuite d'un élément de filtration installé (méthode au compteur optique de particules)	<ul style="list-style-type: none"> aérosol polydispersé généré artificiellement ou aérosol atmosphérique diamètre médian en nombre : 0,1 à 0,5 μm 	<ul style="list-style-type: none"> aérosol polydispersé généré artificiellement (ou aérosol atmosphérique ou microsphères de latex) diamètre médian en nombre : 0,1 à 0,5 μm avec un écart type géométrique inférieur ou égal à 1,7
	Mêmes formules de calcul pour la méthode par balayage et la méthode stationnaire, avec un facteur K dépendant de la pénétration du filtre (formule B.3 et tableau B.1)	Mêmes formules de calcul pour la méthode par balayage et la méthode statique, avec suppression du facteur K
	Vitesse de déplacement de la sonde, par calcul, à partir de la formule B.5 ($C_c \times P_L \times 472 \times D_p / N_p$) <ul style="list-style-type: none"> C_c : concentration de l'aérosol d'essai en amont du filtre (part/m^3) P_L : pénétration maximale admissible du filtre soumis à essai D_p : dimension de la sonde parallèle à la direction de balayage N_p : comptage particulaire médian qui caractérise la fuite admissible (en particules) 	Vitesse de déplacement de la sonde : Sonde rectangulaire ($D_p = 1$ cm et $W_p = 8$ cm) : 5 cm/s (ou vitesse inférieure) Sonde circulaire (3,6 cm), 12 cm/s (correspond à une valeur maximale citée dans la norme) ou inférieure

E Comparatif 2005/2019 sur les méthodologies (suite)

Essai	Détails de la méthodologie	
	Selon version 2005	Selon version 2019
Recherche de fuite globale sur des filtres montés dans des conduits ou des centrales de traitement d'air	Au moins un point par cellule filtrante après obtention d'un mélange uniforme en aval du filtre	
	Effectuer le mesurage à plusieurs emplacements équidistants d'un même plan, distance comprise entre 30 cm et 100 cm, en aval du filtre, à l'intérieur du conduit et à 3 cm de sa paroi	Distance comprise entre 30 cm et 100 cm du filtre
	Critère d'acceptation : aucune des pénétrations ne doit être supérieure à plus de 5 fois la pénétration nominale spécifiée du filtre à la MPPS Critère d'acceptation au photomètre : la pénétration ne doit pas être supérieure à 0,01 % Tout autre critère d'acceptation pour l'essai d'efficacité peut être établi entre le client et le fournisseur	
		Essai non conçu pour tester les filtres HEPA à l'extraction
Température	Deux types d'essai : • essai de température générale en un point (essai général) • cartographie de température (essai complet)	
	Mesurage pendant au moins 5 min et une valeur enregistrée toutes les minutes	Période de temps convenue entre le client et le fournisseur pour la zone particulière soumise à essai
Humidité	Au moins un point de mesurage pour chaque zone de maîtrise de l'humidité	
	Durée d'au moins 5 min ; mesurage en même temps que celui de la température	Période de temps convenue entre le client et le fournisseur pour la zone particulière soumise à essai
Essais électrostatique et de générateur d'ions	Identique entre les deux versions	
Essai de sédimentation de particules	Exposer les plaques d'essai jusqu'à 48 h en fonction du type de salle propre, de son mode de fonctionnement et du type d'appareillage de comptage de particules	Durée d'exposition : de 1 h à la durée nécessaire pour avoir une contamination statistiquement valable
	$D = Nt - Nb/Aw$ • D : concentration des particules déposées sur la surface • Nt : concentration totale des particules sur la surface • Nb : nombre de particules de taille égale ou supérieure à la taille minimale définie présentes en surface, après nettoyage et avant exposition • Aw : aire de la plaque témoin en cm ²	
		Durée et surface d'échantillonnage : formule B.15, $A \times T \geq 20$
Essai du temps de récupération	Évalué de 100 à 1	Évalué de 10 à 1 ou de 100 à 1
	Ne pas positionner les sondes de prélèvement à l'aval direct d'une bouche de soufflage	Ajout d'une précision sur la sélection des points de mesure : emplacements critiques, emplacements appropriés
	Il convient que le délai entre la mise en route du prélèvement et l'affichage des valeurs obtenues soit réglé pour ne pas dépasser 10 s	
	Commencer les mesurages à des intervalles de 1 min	Les intervalles de temps ne doivent pas dépasser 1 min Temps d'échantillonnage et intervalle de temps : aussi court que possible

Le test de ségrégation (non indiqué dans ce tableau) a également été introduit pour vérifier l'effet de protection d'un flux d'air séparant deux zones de classe particulière différente.

→ Le critère de fuite pour les filtres H13, testés à la méthode générateur d'aérosol et photomètre, ou à la méthode au générateur d'aérosol et compteur optique, est modifié : 0,1 % et non 0,01 % comme mentionné dans la version ISO 2005. Au-delà de 99,995 % (filtre de catégorie H14 et plus performant), le

critère de fuite est resté identique entre les deux versions 2005 et 2019 : 0,01 %.

Conclusion

La version révisée de la partie 3 introduit un nouvel essai (essai de séparation) lié à l'implantation de dispositifs de protection rapprochée (ou

dispositifs séparatifs) dans des ateliers d'ambiances moins propres. Sur les méthodologies des autres essais, on retiendra beaucoup d'ajustements plutôt que des modifications profondes. En revanche, pour les appareils utilisés, les spécifications mentionnées sont plus draconiennes dans la version 2019

que la version 2005 de l'ISO, ce qui va entraîner deux types de conséquences : des révisions des fiches techniques des matériels pour que les spécifications de la norme révisée, en termes de résolution, EMT, limites de mesurage apparaissent ; mais aussi, dans certains cas, le renouvellement de matériels. ■