
**Air des lieux de travail — Particules
ultrafines, nanoparticules et aérosols
nanostructurés — Caractérisation et
évaluation de l'exposition par inhalation**

*Workplace atmospheres — Ultrafine, nanoparticle and nano-structured
aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 27628:2007](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0871620-b7d2-4e7b-ad66-55b25f513bad/iso-tr-27628-2007)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0871620-b7d2-4e7b-ad66-55b25f513bad/iso-tr-27628-2007>



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 27628:2007](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0871620-b7d2-4e7b-ad66-55b25f513bad/iso-tr-27628-2007)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0871620-b7d2-4e7b-ad66-55b25f513bad/iso-tr-27628-2007>

© ISO 2007

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'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
1 Domaine d'application.....	1
2 Termes et définitions.....	1
3 Symboles (et abréviations).....	4
4 Informations de base.....	5
4.1 Nanoaérosols (notamment aérosols ultra-fins) et risques potentiels pour la santé.....	5
4.2 Dépôt de nanoparticules dans le poumon.....	5
4.3 Transport de nanoparticules dans le corps.....	9
4.4 Comportement physique des nanoaérosols.....	9
4.4.1 Formation.....	9
4.4.2 Coagulation.....	11
4.4.3 Transport.....	12
4.5 Base physiologique à la définition des nanoparticules et des nanoaérosols.....	12
4.5.1 Généralités.....	12
4.5.2 Définitions du diamètre d'une particule satisfaisantes d'un point de vue biologique.....	12
4.5.3 Importance biologique de la taille d'une particule.....	12
4.5.4 Importance de l'agglomération/agrégation de nanoparticules.....	13
4.5.5 Synthèse.....	13
5 Sources de nanoaérosols sur les lieux de travail.....	13
6 Caractérisation de l'exposition aux nanoaérosols sur les lieux de travail.....	16
6.1 Stratégies d'évaluation des expositions.....	16
6.1.1 Introduction.....	16
6.1.2 Considérations concernant les stratégies d'évaluation de l'exposition.....	16
6.1.3 Échantillonnage.....	17
6.1.4 Divers.....	19
6.1.5 Stratégies d'évaluation de l'exposition — Résumé.....	20
6.2 Méthodes de caractérisation intégrale des particules.....	20
6.2.1 Généralités.....	20
6.2.2 Concentration massique.....	20
6.2.3 Concentration de surface.....	21
6.2.4 Concentration en nombre.....	22
6.3 Caractérisation en fonction de la taille.....	24
6.3.1 Mesure de la distribution granulométrique à l'aide d'une analyse de la mobilité des particules.....	24
6.3.2 Mesurage de la distribution granulométrique à l'aide d'un dépôt inertiel.....	24
6.3.3 Mesurages à l'aide d'un impacteur électrique à basse pression (ELPI).....	25
6.3.4 Batteries de diffusion.....	26
6.4 Analyse chimique en ligne.....	26
6.5 Analyse d'une particule seule.....	27
6.5.1 Généralités.....	27
6.5.2 Imagerie de microscopie électronique et méthodes d'analyse.....	27
6.5.3 Analyse d'une particule seule dans un microscope à force atomique.....	28
7 Synthèse.....	29
Annexe A (informative) Prélèvement et préparation d'un échantillon par microscopie électronique	30
Bibliographie.....	34

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 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. 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.

Exceptionnellement, lorsqu'un comité technique a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique par exemple), il peut décider, à la majorité simple de ses membres, de publier un Rapport technique. Les Rapports techniques sont de nature purement informative et ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO/TR 27628 a été élaboré par le comité technique ISO/TC 146, *Qualité de l'air*, sous-comité SC 2, *Atmosphères des lieux de travail*.

Introduction

L'exposition aux aérosols a toujours été définie par la concentration massique de particules en suspension dans l'air, habituellement associée aux gammes de taille spécifiques correspondant à différentes régions de dépôt du système respiratoire. Toutefois, certains signes tendent à prouver que la concentration massique seule ne fournit pas une indication convenable des risques pour la santé que présentent certains aérosols. Plusieurs études toxicologiques, réalisées sur une base masse pour masse, ont démontré que, pour une composition identique, certaines particules insolubles inhalables, de taille très petite, peuvent se révéler plus toxiques que des particules inhalables plus grosses [4 à 11]. Les études épidémiologiques sur les aérosols ambiants, réalisées depuis le début des années 90, indiquent que l'influence des particules inférieures à 2,5 µm sur la santé augmente par rapport aux particules inférieures à 10 µm, sur une base masse pour masse [12 à 22]. Alors que peu de données existent sur les conséquences sur la santé de l'inhalation de particules très fines sur le lieu de travail, certains éléments suggèrent que l'inhalation de ces particules produites par un processus thermique (par exemple le traitement des métaux ou la soudure) a des conséquences plus importantes que ne le laissent croire les expositions basées sur la masse [23][24]. Ces éléments convergent vers un risque pour la santé à la suite d'une exposition par inhalation de certains aérosols au travail, risque qui ne peut être estimé par la concentration massique seule. Prenant en compte l'importance potentielle de la taille des particules, le terme «aérosol ultra-fin» a progressivement été adopté. Il désigne plus généralement les particules «ayant un diamètre inférieur à 100 nm». Ce terme est aujourd'hui fréquemment utilisé pour désigner les aérosols issus des émissions secondaires lorsqu'il existe des risques potentiels pour la santé en fonction de la taille de la particule. La recherche et le développement dans le domaine des nanotechnologies a progressé au cours de ces dernières années, tout comme l'inquiétude concernant les conséquences potentielles sur la santé des particules produites de manière intentionnelle et ayant des dimensions nanométriques ou une structure à l'échelle nanométrique [25 à 28]. Dans ce contexte, les termes «nanoparticules élaborées et nanoaérosols élaborés» ont également été utilisés plus généralement pour décrire les particules et aérosols associés à des matériaux élaborés avec une structure nanométrique. Cependant, un ensemble de définitions qui fasse l'unanimité est toujours à l'étude. Pour plus de clarté, dans ce rapport, le terme «nanoparticule» est utilisé pour décrire toutes les particules d'aérosol ayant des diamètres inférieurs à environ 100 nm et présentant un risque potentiel pour la santé en cas d'inhalation. Les particules plus grosses, qui ont une structure à l'échelle nanométrique et peuvent également présenter un risque potentiel pour la santé (par exemple les agglomérats de nanoparticules et les fibres ayant un diamètre caractéristique à l'échelle nanométrique) sont désignées par les termes particules «nanostructurées», et les aérosols de nanoparticules et de particules nanostructurées sont désignés par le terme «nanoaérosols».

Avec des données de toxicité limitées et des données d'exposition quasi inexistantes, il est actuellement difficile de voir comment il convient de contrôler et de réguler l'exposition aux nanoaérosols. Des preuves solides reposant sur la toxicité indiquent que la surface de l'aérosol est un indicateur d'exposition (métrique) approprié pour les particules à faible solubilité, indépendamment de la taille des particules [5][8][9][29]. Cependant, des indices laissent à penser que dans certaines situations le nombre de particules, dans des gammes de taille de particules spécifiques, peut être aussi un indicateur d'exposition pertinent [23]. Des études récentes sur la translocation des particules dans le corps indiquent que la probabilité de transfert des particules déposées dans le système respiratoire vers d'autres organes est fonction de la taille [30][31]. À l'heure actuelle, il existe trop peu d'informations permettant de déterminer quel indicateur d'exposition ou quelle métrique (concentration en nombre des particules pour une gamme de dimension spécifique, concentration en surface et concentration massique) est le plus approprié, ou quelles sont les techniques de caractérisation de l'exposition les plus adaptées à mettre en œuvre. Pour pouvoir fournir les informations nécessaires, la première étape consiste à définir les moyens métrologiques permettant de mesurer l'exposition par rapport aux différentes métriques possibles. À court terme, ils permettront d'évaluer les expositions pour les situations où les méthodes basées sur la masse semblent remises en question, notamment dans le domaine émergent des nanotechnologies où l'exposition aux nanoparticules élaborées peut être significative. L'utilisation des différentes métriques (nombre, surface et masse) permettra également de mieux comprendre les liens entre l'exposition aux aérosols et les conséquences sur la santé et servira de base à de futures normes de caractérisation.

Ainsi, ce rapport technique a pour objectif de proposer des termes et définitions acceptés de tous à ce jour ainsi que des lignes directrices concernant la mesure de l'exposition professionnelle aux aérosols, en utilisant différentes métriques. En donnant les moyens de réaliser des mesurages d'exposition potentiellement plus appropriés, là où les méthodes et normes actuelles semblent limitées, il répond à un besoin immédiat et permettra d'approfondir les connaissances sur la manière de mesurer l'exposition aux aérosols en milieu professionnel. Le développement et l'adoption d'approches de mesure adéquates est une étape essentielle vers l'élaboration et la mise en place de futures normes de mesure des expositions aux nanoaérosols.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 27628:2007](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0871620-b7d2-4e7b-ad66-55b25f513bad/iso-tr-27628-2007)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0871620-b7d2-4e7b-ad66-55b25f513bad/iso-tr-27628-2007>

Air des lieux de travail — Particules ultrafines, nanoparticules et aérosols nanostructurés — Caractérisation et évaluation de l'exposition par inhalation

1 Domaine d'application

Le présent Rapport technique a été élaboré pour répondre

- aux inquiétudes croissantes concernant les risques potentiels pour la santé liés à une exposition professionnelle aux particules d'aérosols de dimension ou de structure nanométrique (communément désignés par le terme «nanoaérosols», et comprenant le sous-ensemble des particules produites comme un dérivé de processus industriels et généralement désignés par «aérosols ultra-fins»),
- au manque de lignes directrices et de normes applicables permettant de réduire le plus possible les risques pour la santé, et
- au besoin de mettre en place des méthodologies d'échantillonnage valides pour l'élaboration des futures normes qui définiront de manière appropriée l'exposition professionnelle et le contrôle de celle-ci.

Ce Rapport technique a pour principal objectif de fournir les informations de base et instructions d'échantillonnage nécessaires pour permettre aux chercheurs et hygiénistes du travail de caractériser et contrôler efficacement les expositions aux nanoaérosols sur le lieu de travail préalablement au développement et à la mise en place de normes et limites spécifiques de l'exposition. Les nanoaérosols au travail appartiennent à une classe de particules en suspension dans l'air dominée par des particules ayant un diamètre généralement inférieur à 100 nm (soit sous forme de particules discrètes ou groupées sous forme d'agglomérats).

Ce Rapport technique contient des lignes directrices relatives à la caractérisation des expositions aux nanoaérosols au travail. Il constitue l'état de l'art actuel et met l'accent sur les particules de dimension nanométrique. Il comprend des informations de base relatives aux mécanismes de formation et de transport d'un nanoaérosol dans l'air d'un lieu de travail et aux procédés industriels qui sont associés à une exposition aux nanoaérosols. Il sera question des métriques d'exposition pertinentes à utiliser pour l'exposition aux aérosols ainsi que des méthodes spécifiques de caractérisation des expositions par rapport à ces différentes métriques. Des informations spécifiques sont également incluses concernant les méthodes de caractérisation des aérosols basées sur une mesure intégrale ou bien fonction de la taille de la particule.

2 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

2.1

aérosol d'accumulation

aérosol constitué de particules issues de la nucléation qui ont grossi par coalescence, coagulation et/ou condensation

NOTE Les modes des distributions granulométriques varient généralement entre 50 nm et 1 µm mais ils ne se limitent pas à ces valeurs.

2.2

diamètre aérodynamique

diamètre équivalent de la particule sphérique de masse volumique égale à 1 000 kg/m³, ayant la même vitesse limite de sédimentation dans l'air que la particule considérée

NOTE Le diamètre aérodynamique est lié aux propriétés d'inertie des particules dans l'air. Il est généralement utilisé pour décrire les particules supérieures à environ 100 nm.

2.3

aérosol

suspension métastable de particules solides ou liquides dans un gaz

2.4

agglomérat

⟨aérosols⟩ groupe de particules liées ensemble par des forces relativement faibles, notamment les forces de Van der Waals, les forces électrostatiques et les forces de tension superficielle

NOTE Ce terme est fréquemment utilisé de manière interchangeable avec «agrégat».

2.5

agrégat

⟨aérosols⟩ particule hétérogène dans laquelle les différents composants sont liés ensemble par des forces relativement importantes et ne peuvent donc pas être séparés facilement

NOTE Ce terme est fréquemment utilisé de manière interchangeable avec «agglomérat».

2.6

coagulation

formation de particules de taille supérieure par collision puis adhésion de particules de taille inférieure

[ISO/TR 27628:2007](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0871620-b7d2-4e7b-ad66-55b25f513bad/iso-tr-27628-2007)

2.7

coalescence

formation de particules homogènes par collision de particules de taille inférieure puis fusion ou mélange du matériau constitutif

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0871620-b7d2-4e7b-ad66-55b25f513bad/iso-tr-27628-2007>

2.8

nanoparticule élaborée

nanoparticule volontairement élaborée et produite avec des propriétés spécifiques

2.9

mobilité

⟨aérosols⟩ propension d'une particule d'un aérosol à se déplacer sous l'effet d'une influence extérieure telle qu'un champ électrostatique, un champ thermique ou par diffusion

2.10

diamètre de mobilité électrique

diamètre équivalent d'une particule sphérique ayant la même mobilité que la particule considérée

NOTE Le diamètre de mobilité est généralement utilisé pour décrire des particules inférieures à environ 500 nm. Il ne dépend pas de la masse volumique des particules.

2.11

nanoaérosol

aérosol constitué ou composé de nanoparticules et de particules nanostructurées

2.12

nanoparticule

particule ayant un diamètre nominal (qu'il soit géométrique, aérodynamique, de mobilité, de surface projetée ou autre) inférieur à environ 100 nm

2.13**particule nanostructurée**

particule ayant des caractéristiques structurales inférieures à 100 nm, qui peuvent influencer ses propriétés physiques, chimiques et/ou biologiques

NOTE Une particule nanostructurée peut être de dimension sensiblement supérieure à 100 nm.

EXEMPLE Un agglomérat de nanoparticules d'un diamètre de 500 nm pourrait être considéré comme une particule nanostructurée.

2.14**aérosol de nucléation**

aérosol dont les particules sont formées pour l'essentiel à partir de la phase gazeuse, par exemple par nucléation d'une vapeur sursaturée

NOTE Les distributions granulométriques des aérosols de nucléation varient généralement de moins de 1 nm à 50 nm, mais elles ne se limitent pas à ces valeurs.

2.15**particule**

petite masse discrète d'un corps solide ou liquide

NOTE Voir Référence [32].

2.16**particule primaire**

particule qui ne résulte pas d'un regroupement de particules plus petites

NOTE Ce terme désigne par exemple les particules formées par nucléation de la phase vapeur avant coagulation.

2.17**particule secondaire**

particule formée par réactions chimiques dans la phase gazeuse (conversion gaz-particule)

2.18**surface active**

surface d'une particule directement impliquée dans les interactions avec les molécules gazeuses environnantes

NOTE La surface active varie en fonction du carré du diamètre des particules lorsque ces dernières sont plus petites que le libre parcours moyen du gaz porteur. Elle est par ailleurs proportionnelle au diamètre des particules lorsque celles-ci sont nettement plus grandes que le libre parcours moyen du gaz porteur.

2.19**surface spécifique**

surface par unité de masse d'une particule ou d'un matériau

2.20**aérosol ultra-fin**

aérosol composé principalement de particules ultra-fines

NOTE Ce terme est souvent utilisé dans le cas de particules qui sont un sous-produit d'un procédé (particules secondaires); c'est, par exemple, le cas des fumées de soudage et de combustion.

2.21**particule ultra-fine**

particule ayant un diamètre nominal (qu'il soit géométrique, aérodynamique, de mobilité, de surface projetée ou autre) inférieur ou égal à 100 nm

NOTE Ce terme est souvent utilisé dans le cas de particules produites comme dérivé d'un processus (particules secondaires), par exemple des fumées de soudage et de combustion.

3 Symboles (et abréviations)

AFM	Microscopie à force atomique
BET	Méthode de Brunauer, Emmett et Teller permettant de mesurer la surface spécifique ^[33]
CPC	Compteur à noyaux de condensation
DMA	Analyseur différentiel de mobilité
EDX	Analyse en dispersion d'énergie des rayons X
EELS	Spectroscopie de perte d'énergie des électrons
ELPI	Impacteur électrique à basse pression
ESEM	Microscope électronique à balayage environnemental
FEG-SEM	Microscope électronique à balayage avec un canon à émission de champ
GSD	Écart-type géométrique
HEPA	Filtre à particules à très haute efficacité
CIPR	Commission internationale de protection radiologique
MMAD	Diamètre aérodynamique médian en masse
NSOM	Microscopie optique en champ proche
OPC	Compteur optique de particules
SEM	Microscope électronique à balayage
SMPS	Spectromètre de mobilité électrique ISO/TR 27628:2007
SPM	Microscopie en champ proche https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0871620-b7d2-4e7b-ad66-55b25f513bad/iso-tr-27628-2007
STEM	Microscope électronique à balayage par transmission
STM	Microscopie à effet tunnel
TEM	Microscope électronique à transmission
TEOM [®]	Microbalance à élément oscillant ¹⁾
A_d	surface projetée partielle minimale acceptable d'une particule avec un diamètre d dans le champ de vision d'un microscope (voir Annexe A)
A_f	surface du champ de vision d'un microscope, en mètres carrés (m ²) (voir Annexe A)
A_s	surface effective d'un substrat de prélèvement, en mètres carrés (m ²) (voir Annexe A)
C_d	concentration en nombre de particules en fonction du diamètre des particules, en nombre de particules par mètre cube (particules/m ³) (voir Annexe A)
d	diamètres des particules, en mètres (m)
E_d	efficacité de l'échantillonnage en fonction du diamètre des particules (voir Annexe A)
N_d	nombre minimal acceptable de particules de diamètre d par champ de vision d'un microscope (voir Annexe A)

1) TEOM[®] est un exemple de produit approprié disponible sur le marché. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent Rapport technique et ne signifie nullement que l'ISO approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné.

n_s	densité surfacique minimale acceptable de particules sur un échantillon de microscope, en nombre de particules par mètre carré (particules/m ²) (voir Annexe A)
q	débit volumique d'échantillonnage, en mètres cube par seconde (m ³ /s) (voir Annexe A)
t	durée d'échantillonnage, en secondes (s) (voir Annexe A)
λ	longueur d'onde de la lumière, en mètres (m)

4 Informations de base

4.1 Nanoaérosols (notamment aérosols ultra-fins) et risques potentiels pour la santé

Depuis la fin des années 1980, des études toxicologiques laissent à penser que les effets sur la santé résultant de l'inhalation d'aérosols peuvent ne pas être étroitement liés à la masse de la particule. Les premières études conduites avec des particules de polytétrafluoroéthène (PTFE) d'environ 20 nm de diamètre avaient montré que des concentrations dans l'air inférieures à 50 µg/m³, d'une substance insoluble supposée inerte, pourraient être mortelles pour des rats [4][5][34]. Depuis, plusieurs études ont indiqué que la toxicité de substances insolubles est inversement proportionnelle à la taille des particules, sur une base masse pour masse. Les mécanismes précis par lesquels ces substances présentent des niveaux supérieurs de toxicité avec des particules de plus petite taille restent toujours à comprendre, même si de nombreuses hypothèses sont avancées. Certaines études indiquent que la réponse biologique est fonction de la surface des particules qui se déposent dans les poumons [8][9][35 à 37]. Il a également été suggéré qu'en raison de leur petit diamètre, les nanoparticules sont capables de pénétrer les cellules épithéliales, puis dans le sang depuis les poumons [31][38 à 41] et même de se déplacer vers le cerveau via le nerf olfactif [30]. Les effets de l'activité de ces particules sur la santé seraient étroitement liés à la taille des particules et, probablement, à leur nombre. Les particules dont la taille se mesure en nanomètres possèdent un pourcentage élevé d'atomes de surface. Elles ont des propriétés physico-chimiques uniques. Il serait logique que les particules de cette taille présentent un comportement biologique étroitement associé au diamètre, à la surface et à l'activité de surface de la particule.

ISO/TR 27628:2007

Même s'il est nécessaire d'effectuer de nouvelles recherches sur les caractéristiques physiques des nanoaérosols qui sont le plus étroitement associées à un risque pour la santé, il est évident que mesurer les expositions par rapport à la masse seule n'est pas suffisant. Sur les trois indicateurs d'exposition physiques primaires (la masse, la surface et le nombre), tout donne à penser qu'il convient de contrôler les nanoaérosols sur le lieu de travail en fonction de leur surface (aire). Dans ce contexte, la surface de l'aérosol n'est pas clairement définie. La surface est fonction de la méthode de caractérisation choisie. La surface géométrique se rapporte à la surface physique d'un objet; elle est fonction de l'échelle de mesure utilisée. L'échelle de mesure détermine la limite supérieure des caractéristiques qui ne peuvent être détectées par la méthode de mesure. Par exemple, les méthodes basées sur l'adsorption moléculaire ont une échelle de mesure avoisinant le diamètre des molécules adsorbées [33]. De même, une surface biologique sera très vraisemblablement déterminée par la plus petite molécule biologique interagissant avec les particules dans le corps.

Alors qu'il est possible d'argumenter en faveur de la surface d'aérosol comme indicateur d'exposition, il est également nécessaire de caractériser l'exposition professionnelle par rapport à la masse d'aérosol et à la concentration en nombre, jusqu'à ce que de nouvelles informations soient disponibles. En outre, certaines études ont démontré que des tailles de particules critiques peuvent influencer la destinée et la toxicité de particules inhalées dans les poumons [41][42]. Pour chacune de ces métriques d'exposition, et plus particulièrement dans le cas d'une concentration massique, un échantillonnage sélectif en taille devra être utilisé afin de s'assurer que seules les particules comprises dans la gamme de taille voulue sont échantillonnées [43].

4.2 Dépôt de nanoparticules dans le poumon

Le dépôt des particules dans les poumons se rapporte à la probabilité moyenne pour une particule inhalée, d'un diamètre spécifique, de se déposer à l'intérieur du système respiratoire. La probabilité totale de dépôt est composée de la somme des probabilités dans les différentes régions des voies respiratoires. Trois régions anatomiques principales sont généralement prises en compte:

- la région extra-thoracique, qui comprend les dépôts dans les voies nasales, la bouche, le larynx et le pharynx;
- la région trachéo-bronchique, qui se compose de la trachée et des bronches où les particules déposées sont nettoyées par action muco-ciliaire;
- la région alvéolaire, constituée des bronchioles respiratoires, des canaux alvéolaires et des alvéoles.

Ces régions ont été adoptées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR)^[1] et par le Conseil national britannique de radioprotection et de mesures contre les rayonnements (NCRP)^[44] dans les modèles de voies respiratoires humaines utilisés pour calculer les doses délivrées aux poumons chez les travailleurs et issues de l'incorporation des radionucléides.

Le modèle de dépôt de la CIPR^[1] caractérise la répartition des substances particulaires inhalées dans les différentes régions anatomiques en fonction de l'âge et du sexe du sujet ainsi que de différents paramètres physiologiques. Le modèle de dépôt est l'un des six éléments du modèle général respiratoire humain, les cinq autres décrivant la morphométrie, la physiologie respiratoire, la radiobiologie, la clairance et la dosimétrie.

Les sites et l'importance du dépôt de particules dans les voies respiratoires de l'être humain sont régis par des mécanismes physiques et sont fonction des paramètres physiologiques et morphologiques des voies respiratoires du sujet inhalant les particules.

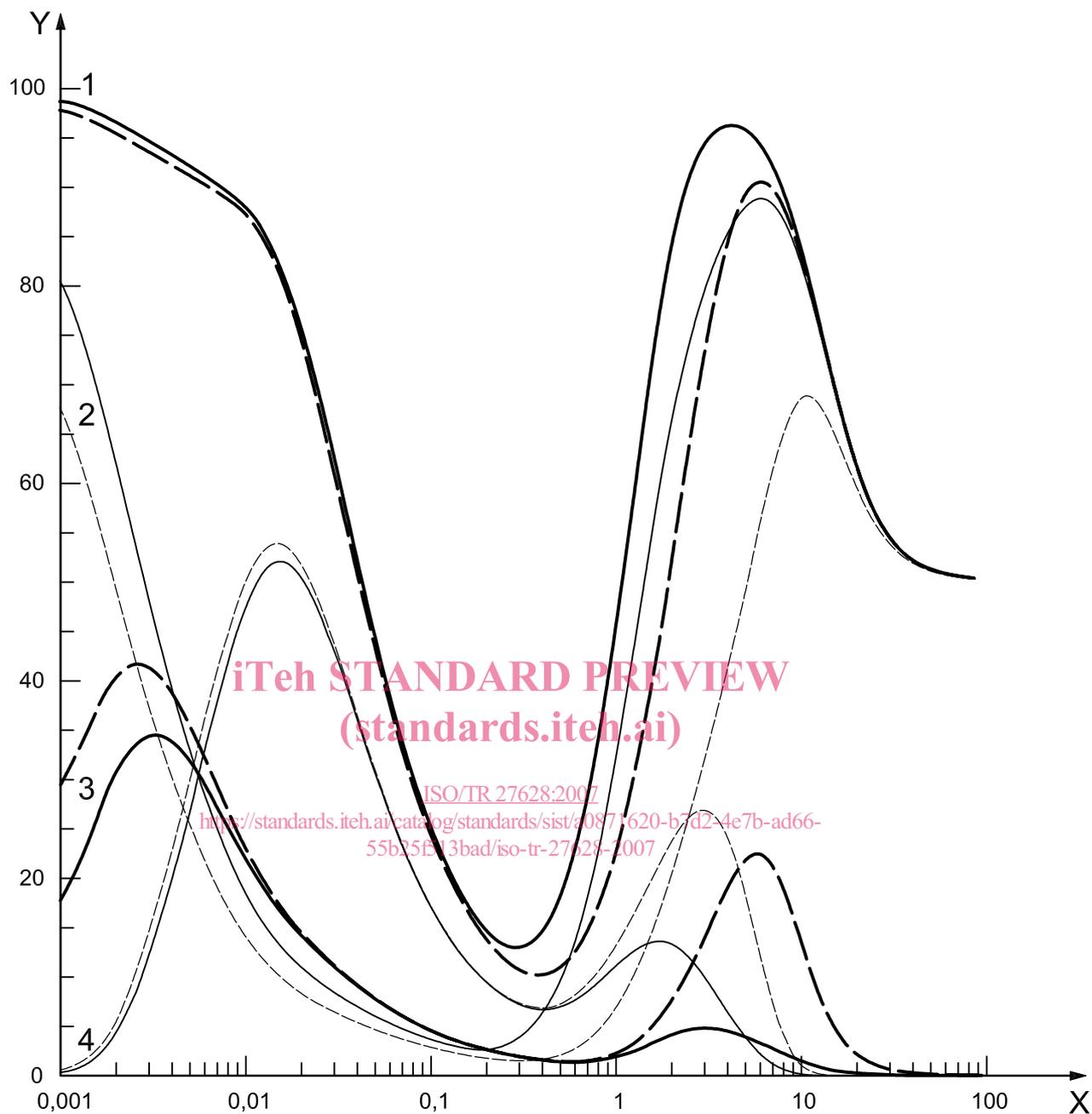
Les cinq principaux mécanismes de dépôt de particules inhalées sont

- a) la sédimentation, due à la force de gravité qui agit sur les particules;
- b) l'impaction inertielle, qui caractérise le comportement dans l'air des particules ayant une certaine masse;
- c) l'interception, qui se produit lorsque les bords d'une particule entrent en contact avec la surface d'une voie respiratoire et conduisent à un dépôt; [ISO/TR 27628:2007](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a0871620-b7d2-4e7b-ad66-11d111111111/iso-tr-27628-2007)
- d) la diffusion, due au mouvement aléatoire (brownien) des petites particules;
- e) l'attraction électrostatique (lorsque les particules portent une charge).

Dans la plupart des études, ce dernier mécanisme n'est pas pris en compte, même s'il peut avoir un impact sur le dépôt dans le cas où le sujet est exposé à des particules portant de fortes charges. L'hygroscopicité des particules peut également avoir une influence sur le dépôt, plus précisément augmenter le dépôt par impaction et sédimentation.

La morphologie des voies respiratoires et d'autres paramètres physiologiques peuvent varier sensiblement en fonction de l'individu et du type d'activité qu'il effectue. Plusieurs facteurs peuvent modifier la structure et le fonctionnement normal des voies respiratoires, notamment l'âge, les maladies respiratoires et le sexe. Les prévisions en matière de probabilité de dépôt dans le poumon reposent en règle générale sur des paramètres moyens et ne peuvent donc pas représenter la plage de doses d'aérosols présentes pour l'ensemble de la population. Toutefois, les modèles de dosimétrie du poumon rendent compte de certains facteurs qui contribuent aux différences entre les groupes en matière de dépôt de particules et de clairance (par exemple les paramètres anatomiques et physiologiques spécifiques à l'âge et au sexe, ou les facteurs modifiant les conditions, s'agissant par exemple de fumeurs ou de personnes présentant des antécédents médicaux, facteurs qui ont un impact sur la clairance de particules dans les voies respiratoires)^[1].

La Figure 1 présente le dépôt total et régional d'aérosol qui varie en fonction de la taille de la particule entre 1 nm et 100 µm, à l'aide du modèle de la CIPR. Les courbes sont données pour une «personne de référence» respirant par le nez ou par la bouche, assise pendant 1/3 de son temps et effectuant des efforts légers pendant les 2/3 restants (soit une charge de travail standard)^[1].



Légende

X diamètre de particule, en micromètres (μm)

Y fraction déposée relative à la concentration d'aérosol ambiant, en pourcentage (%)

- 1 total
- 2 extra-thoracique
- 3 trachéo-bronchique
- 4 alvéolaire

La fraction déposée comprend la probabilité d'inhalation de particules (inhalabilité). Le sujet respire soit par le nez (lignes continues), soit par la bouche (lignes en pointillé) et réalise un travail standard^[1]. Les calculs ont été effectués à l'aide du programme LUDEP^[2].

Figure 1 — Dépôt total et régional prévu de particules dans les voies respiratoires de l'être humain, en fonction de la taille de la particule