
**Chimie de la combustion —
Production et mesurage des aérosols**

Fire chemistry — Generation and measurement of aerosols

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO 29904:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/8d91fa51-ae10-49f-8874-70c8a0bb4a1c/iso-29904-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/8d91fa51-ae10-49f-8874-70c8a0bb4a1c/iso-29904-2013>



iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO 29904:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/8d91fa51-ae10-49f8-8874-70c8a0bb4a1c/iso-29904-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/8d91fa51-ae10-49f8-8874-70c8a0bb4a1c/iso-29904-2013>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2013

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au 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 Références normatives	2
3 Termes, définitions, symboles et abréviations	2
3.1 Termes et définitions.....	2
3.2 Symboles et abréviations.....	3
4 Propriétés des aérosols	3
4.1 Généralités.....	3
4.2 Mouvement et évolution d'un aérosol généré par un feu.....	4
4.3 Propriétés mesurables des aérosols.....	6
5 Méthodes de mesure	11
5.1 Applications.....	11
5.2 Catégories de mesurage des aérosols.....	12
5.3 Considérations initiales relatives au prélèvement et à l'analyse des aérosols.....	20
5.4 Choix des méthodes.....	20
5.5 Méthodes de mesure in situ.....	21
5.6 Méthodes de mesure par extraction.....	29
6 Métrologie des aérosols	46
6.1 Générateurs d'aérosols normalisés pour l'étalonnage des instruments.....	46
6.2 Qualification (vérification) des générateurs.....	48
6.3 Exigences relatives aux méthodes d'étalonnage.....	49
6.4 Validation.....	50
7 Expression des résultats	53
7.1 Calculs.....	53
7.2 Rapport de mesure.....	55
7.3 Incertitudes.....	55
Annexe A (informative) Mesures expérimentales de D_{pp}, N_{pp}, R_g, D_f et k_f	56
Annexe B (informative) Adsorption des gaz de combustion sur les particules	59
Annexe C (informative) Dynamique de l'inhalation et toxicité des particules	62
Annexe D (informative) Effets non toxicologiques des particules	66
Annexe E (informative) Exemple de rapport	68
Bibliographie	70

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 procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/CEI, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2, www.iso.org/directives.

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. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou sur la liste ISO des déclarations de brevets reçues, www.iso.org/patents.

Les éventuelles appellations commerciales utilisées dans le présent document sont données pour information à l'intention des utilisateurs et ne constituent pas une approbation ou une recommandation.

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 92, *Sécurité au feu*, sous-comité SC 3, *Dangers pour les personnes et l'environnement dus au feu*.

Document Preview

[ISO 29904:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/8d91fa51-ae10-49f8874-70c8a0bb4a1c/iso-29904-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/8d91fa51-ae10-49f8874-70c8a0bb4a1c/iso-29904-2013>

Introduction

Les aérosols générés lors des incendies sont des mélanges complexes et non homogènes de gouttelettes liquides de goudron ou d'eau, de suie carbonée agglomérée en phase solide avec des composés organiques adsorbés ou des particules minérales. Après leur formation par des processus chimiques et physiques complexes, les aérosols générés par un incendie subissent des modifications de leurs dimensions physiques, de leur structure et de leur composition chimique car les particules peuvent coalescer, s'agglomérer, absorber des gaz, s'évaporer ou se déposer sur des surfaces. La concentration des aérosols, la taille de particules, la température et la composition de la phase gazeuse jouent également un rôle dans la vitesse de ces modifications.[1][2][3]

Les aérosols générés par les incendies influent par de multiples mécanismes sur les dangers pour les personnes et l'environnement dus au feu. Tout d'abord, les petites particules sont inhalables et peuvent pénétrer profondément dans la structure pulmonaire. Les particules inhalées peuvent elles-mêmes être irritantes et réduire ainsi la capacité des personnes à s'échapper d'un incendie.[4][5] Ensuite, ces particules peuvent adsorber ou absorber des gaz et vapeurs toxiques et irritants, leur offrant ainsi un moyen de franchir les défenses naturelles de l'appareil respiratoire et de s'introduire profondément dans les poumons.[5][6] Troisièmement, les particules moins inhalables ou non inhalables peuvent réduire efficacement la concentration de gaz et vapeurs toxiques dans l'effluent du feu et les déposer sur des surfaces. Quatrièmement, les aérosols peuvent diminuer la visibilité et réduire potentiellement la capacité des personnes à se déplacer efficacement vers un lieu sûr (voir l'ISO 13571). Enfin, la fraction d'aérosol dans les effluents du feu a aussi un potentiel significatif de nuisance pour l'environnement, en particulier lorsque les feux sont importants et de longue durée.[7][4]

Par conséquent, dans le contexte des mécanismes de production et d'évolution des aérosols, il est important de pouvoir mesurer avec précision les concentrations et la distribution granulométrique des aérosols, apprécier le domaine d'application et les limites de l'appareillage et des méthodologies disponibles pour ces mesurages et interpréter efficacement les mesures de façon cohérente avec les dangers et les risques évalués. La présente Norme internationale fournit des informations détaillées sur une gamme de méthodes de prélèvement et de mesure et des lignes directrices concernant leur utilisation pour des applications particulières, ainsi que des règles d'interprétation fondées sur les connaissances actuelles. Le présente Norme internationale contient également des annexes informatives qui résument les aspects physiques de la production d'aérosols lors d'un incendie, du mouvement des aérosols et de leur modification avec et à distance du panache de fumée, de la contribution des aérosols au développement du feu par le rayonnement des flammes et des rôles des matières particulaires dans les dangers pour les personnes et l'environnement.

Chimie de la combustion — Production et mesurage des aérosols

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit un guide relatif à la production de particules d'aérosol dans les incendies, définit l'appareillage et les modes opératoires de prélèvement et de mesurage des aérosols, et fournit des méthodes pour l'interprétation et la communication des données. Elle est destinée aux concepteurs d'essai au feu et aux personnes réalisant des mesurages sur des incendies involontaires afin de les aider à choisir et utiliser des méthodes appropriées pour le mesurage des aérosols correspondants à différents dangers pour les personnes et l'environnement.

La présente Norme internationale identifie le domaine d'application, l'applicabilité et les limites de chaque méthode. L'interprétation des données obtenues lors de ces mesurages dépend fortement de l'utilisation finale des données.

Les aérosols générés par un feu peuvent présenter un risque direct limitant l'évacuation par l'obstruction d'une sortie de secours, ou ils peuvent engendrer des dangers chroniques pour la santé et l'environnement liés aux composés chimiques contenus dans l'aérosol (par exemple, produits chimiques toxiques tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans la suie ou les radionucléides provenant d'incendies dans des centrales nucléaires). Les particules d'aérosol peuvent être inhalées et pénétrer plus ou moins profondément dans les poumons, selon leur taille et leur masse volumique, ou peuvent être libérées dans l'environnement et se déposer sur les sols et dans les cours d'eau.

En particulier, la présente Norme internationale traite des aspects suivants de la production et du mesurage des aérosols dans les incendies :

- Espèces adsorbées/dissoutes dans la phase gazeuse ou vapeur;
- Mécanismes physiques impliqués dans le transport des aérosols, dispersion dans le panache de fumée, coagulation/agglomération entraînant une variation des tailles de particules et des fractions particulières, « thermophorèse » (principale cause de dépôt de suie), « diffusiophorèse » et sédimentation;
- Interactions entre gaz et vapeurs et aérosol : adsorption et élimination d'espèces de la phase gazeuse, transport de gaz adsorbés dans les poumons;
- Méthodes de prélèvement et de mesurage, y compris leurs principes de fonctionnement, une description de la méthode, les données fournies et, dans chaque cas, leurs domaine d'application, champ d'application, avantages et inconvénients;
- Métrologie des méthodes de mesurage, et de la production d'« aérosols normalisés », et incertitudes associées;
- Effets physiologiques et environnementaux des aérosols dans la mesure où ces effets peuvent être utilisés pour définir la méthode de mesurage pour des applications spécifiques; et
- Dangers des particules de carbone présents dans l'effluent du feu sous forme de « fumée visible », en raison de leur taille, de leur morphologie, de leur nature chimique et de la nature de l'effluent dans lequel elles sont (ou étaient) en suspension.

La présente Norme internationale ne concerne pas les aérosols générés par une combustion contrôlée (par exemple incinération). Toutefois, une grande partie de ce document est applicable à de tels aérosols.

2 Références normatives

Les documents suivants, en totalité ou en partie, sont référencés de manière normative dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 13943, *Sécurité au feu — Vocabulaire*

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 13943 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1.1

aérosol

suspension de gouttelettes liquides ou de particules solides dans une matrice en phase gazeuse, qui, générés par un feu, ont une taille de particules allant de moins de 10 nm à plus de 10 µm

3.1.2

particules

produits en phase solide présents dans les aérosols.

Note 1 à l'article: Note à l'entrée: On distingue deux catégories de particules dans les aérosols générés par un feu: les particules non brûlées ou partiellement brûlées contenant une forte proportion de carbone (c'est-à-dire la « suie ») et des particules ayant subi une calcination relativement complète, de petite taille (c'est à dire les « cendres »). Les particules de suie de faible diamètre (c'est-à-dire environ 1 µm) sont généralement constituées de petites sphères élémentaires de 10 nm à 50 nm de diamètre. La formation de particules de suie dépend de plusieurs paramètres, notamment la nucléation, l'agglomération et l'accroissement de surface. Une oxydation des particules de suie (c'est-à-dire une combustion supplémentaire) est également possible

3.1.3

gouttelettes

produits en phase liquide présents dans les aérosols, habituellement générés par pyrolyse (conditions de combustion pauvre en oxygène) dans les feux avec flammes et dans les feux couvants et qui peuvent se condenser en gouttelettes goudronneuses de forme sphérique

Note 1 à l'article: Note à l'entrée : L'eau produite par la combustion peut également se condenser autour des particules en formant des gouttelettes d'aérosol

3.1.4

fraction inhalable

fraction massique des particules totales en suspension dans l'air qui peut être inhalée par le nez et la bouche et dépend du diamètre des particules, de la vitesse et de la direction du gaz contenant les particules et de la fréquence respiratoire

3.1.5

fraction extrathoracique

fraction massique des particules inhalées qui ne peut pas pénétrer au-delà du larynx

3.1.6

fraction thoracique

fraction massique des particules inhalées qui pénètre au-delà du larynx

3.1.7

fraction trachéobronchique

fraction massique des particules inhalées qui pénètre au-delà du larynx, mais ne pénètre pas dans l'appareil respiratoire non cilié

3.1.8**fraction alvéolaire**

fraction massique des particules inhalées qui pénètre dans l'appareil respiratoire non cilié

3.2 Symboles et abréviations

D_p Diamètre physique d'une particule

D_a Diamètre aérodynamique d'une particule

D_m Diamètre équivalent en mobilité électrique d'une particule

D_{ev} Diamètre équivalent en volume d'une particule

D_g Diamètre d'une enveloppe sphérique ayant la même masse et la même composante inertielle que la particule de combustion considérée

D_{50} Diamètre moyen en masse d'un ensemble de particules

D_{pp} Diamètre des particules élémentaires d'un agglomérat

N_{pp} Nombre de particules élémentaires constituant un agglomérat

R_g Rayon de giration d'une particule

D_f Dimension fractale d'une particule

k_f Logarithme du préfacteur pour la dimension fractale d'une particule

χ Facteur dynamique de forme

ρ Masse volumique de la particule

μ Viscosité du gaz environnant

L Trajet optique suivi par la lumière dans l'aérosol (m)

K_{ext} Coefficient d'extinction de la lumière par l'aérosol (m^{-1})

4 Propriétés des aérosols**4.1 Généralités**

Les effluents du feu sont constitués de gaz et vapeurs de combustion, de gouttelettes d'eau et d'aérosols (solides et liquides formés pendant et après la combustion). Le composant aérosol des effluents du feu forme la portion visible de la fumée et est constitué de particules et de gouttelettes de petite taille. Les aérosols sont des particules et gouttelettes organiques et inorganiques produites lors de la combustion incomplète de combustibles.

Les gouttelettes liquides présentes dans les aérosols sont essentiellement sphériques. Les particules solides de carbone ont une morphologie quasi-fractale et peuvent être présentes sur des plages de tailles relativement étendues. Les particules inorganiques minérales peuvent avoir diverses formes selon leur forme initiale dans le combustible et l'« historique » du feu.

La nature des produits de combustion dépend moins du type de combustible à des températures de feu élevées (c'est-à-dire environ 1 000 °C) qu'à des températures plus basses et, aux températures élevées, elle semble dépendre des conditions locales pendant leur formation. Il a été démontré que la combustion de la cellulose, du tabac et de divers polymères peut générer approximativement la même quantité [8] de suie à une haute température imposée de 1 000 °C.

Avec des feux ouverts bien ventilés, la production de suie dépend donc fortement de la température dans la zone des flammes (ou de feu couvant), des conditions d'oxydation (par exemple, degré d'alimentation en air du feu) et de l'étendue de l'agglomération ou de la réoxydation de l'aérosol.

La similitude des types d'aérosol pendant la combustion de différents combustibles peut être expliquée partiellement par le fait que de nombreux combustibles sont à base d'hydrocarbures ou de polymères hydrocarbonés qui ont des schémas de « craquage » relativement similaires pendant la décomposition thermique et génèrent ainsi des produits communs tels que le méthane, l'éthane et l'éthylène, le propane.

Selon l'utilisation finale des données de mesure des différentes propriétés de la portion d'aérosol des effluents du feu, ces propriétés auront une importance variable. Par exemple :

- a) Pour l'étude de l'évacuation en cas d'incendie, l'opacité des aérosols aura une incidence sur la visibilité (voir l'ISO 13571). Dans un grand nombre de scénarios d'incendie, l'impact des aérosols sur la visibilité est l'un des paramètres les plus importants lors de la détermination de la capacité d'évacuation. Les actions préalables au déplacement et la vitesse de déplacement dépendent fortement de la visibilité dans les espaces envahis par la fumée. Il a été suggéré qu'au-delà d'une certaine opacité de la fumée, un grand nombre de personnes considère que l'évacuation serait sérieusement entravée. Voir l'[Annexe D](#) pour plus de détails.
- b) Dans la modélisation des feux, le taux de production de suie est un paramètre d'entrée important. Il a un effet très marqué sur les propriétés de rayonnement thermique des flammes (souvent un sous-modèle du modèle principal) et, par conséquent, sur le transfert général de chaleur par rayonnement, qui peut avoir une incidence sur l'évacuation en cas d'incendie (voir l'ISO 13571) et peut influencer de manière significative sur la croissance du feu et l'apparition d'un « embrasement généralisé ». Voir l'[Annexe D](#) pour plus de détails.
- c) L'effet physiologique direct des aérosols sur les personnes est lié aux fractions de taille de l'aérosol et à la morphologie des particules et des gouttelettes. Il est donc souvent plus important de connaître la distribution granulométrique des particules et de l'aérosol que la masse totale d'aérosol pour la détermination des effets physiologiques. Malheureusement, la distribution granulométrique est un paramètre souvent difficile à mesurer, principalement en raison des processus d'agglomération sur de courts intervalles de temps. L'agglomération peut avoir une forte influence sur la structure des particules et des gouttelettes, tout comme leur masse volumique et leurs propriétés optiques (c'est-à-dire obscurcissement). De plus, les espèces volatiles qui peuvent s'évaporer à un degré variable lors du prélèvement et du mesurage auront une incidence sur les données enregistrées. Par ailleurs, les instruments de mesure fonctionnant selon des principes différents donneront des fractions de taille effectives différentes et les méthodes ne peuvent pas être supposées équivalentes. Le principal paramètre à prendre en compte pour l'effet physiologique des aérosols est leur dépôt dans les voies respiratoires. Différentes classes de taille de particules ont été définies sur la base de leur relation avec les effets physiologiques : « PM10 », « PM2.5 », « inhalable » ($D_p < 100 \mu\text{m}$), « thoracique » ($D_p < 10 \mu\text{m}$), « alvéolaire » ($D_p < 4 \mu\text{m}$), « ultrafine » ($D_p < 0,1 \mu\text{m}$) et « nanoparticulaire » ($D_p < 0,050 \mu\text{m}$). Voir l'[Annexe C](#) pour plus de détails.

La concentration massique et la fraction de taille des particules et des gouttelettes peuvent aussi être des paramètres intéressants pour la modélisation informatique de la dynamique des fluides des processus de combustion. Cela vaut d'autant plus que les modèles permettent maintenant de simuler l'évolution des aérosols et les effets de cette évolution sur le rayonnement des flammes.

4.2 Mouvement et évolution d'un aérosol généré par un feu

Savoir comment et où prélever un échantillon d'effluent du feu est critique pour obtenir une distribution précise et utile de l'aérosol. Il est donc important de tenir compte des processus locaux de transport pouvant être à l'origine de distributions non uniformes des particules.

La production des particules débute dans la zone des flammes ou dans la zone de combustion dans un feu couvant. Lors de leur dégagement dans l'atmosphère de combustion, une agglomération variable peut se produire. Dans le panache de fumée, en raison de la thermophorèse (mouvement des particules dû au gradient de température) et du mouvement ascendant du panache de fumée engendré par la flottabilité, les particules seront entraînées et transportées initialement vers le haut au-dessus du feu.

Les particules de carbone incandescentes contribuent le plus au rayonnement thermique du panache de fumée, en particulier parce que ces particules sont généralement présentes à une concentration relativement élevée, ont une émissivité proche d'un corps noir (c'est-à-dire rayonnent sur une plage spectrale très étendue) et sont présentes à haute température.

La thermophorèse est un paramètre très important déterminant le mouvement des aérosols dans un feu chaud et leur dépôt sur toute surface relativement froide. Le mouvement thermophorétique peut être considéré comme le mécanisme par lequel les aérosols sont repoussés par un corps chaud et attirés vers un corps plus froid, ce qui se traduit par un mouvement des particules et des gouttelettes des zones chaudes vers les zones froides. Il s'ensuit le dépôt observé de particules et de gouttelettes sur les surfaces froides, telles que les fenêtres et les parois dans la structure contenant le feu. Les zones chaudes peuvent être relativement exemptes de particules, mais sont potentiellement capables de les générer si les conditions de température varient. Cela est dû au fait que, lorsque la température chute, les molécules organiques gazeuses peuvent se condenser pour former des aérosols. En réalité, le prélèvement même dans ces zones de quantités de particules apparemment faibles ou nulles peut donner lieu à des particules mesurées dû à l'effet intrusif (en particulier le refroidissement) de l'appareillage de mesure.

Le phénomène de dépôt de particules peut, par exemple, endommager des biens à des distances considérables du feu. La configuration des dépôts de fumée après un incendie, généralement en forme de « V » inversé à partir de la source, peut fournir une preuve intéressante de l'origine du feu en cas de suspicion d'incendie criminel. La même configuration peut aussi être utilisée pour déterminer, dans un scénario d'incendie, les zones susceptibles d'être exemptes de contamination par la fumée — considération économique importante, par exemple en ce qui concerne les exigences de restauration après un incendie.

Trois autres processus de transport peuvent avoir une incidence sur la distribution des aérosols dans le flux d'air produit par un incendie :

- La diffusiphorèse est le processus par lequel des particules en suspension dans un milieu chaud avec un gradient de concentration se déplacent des zones de haute concentration vers les zones de faible concentration ;
- La photophorèse caractérise la réaction de la particule avec la lumière. Dans la photophorèse, une particule absorbe la lumière et est chauffée par cette énergie absorbée dans la direction de l'éclairement. En réaction, la particule s'éloigne alors de la lumière (vers une zone plus froide) ;
- La sédimentation est le mouvement descendant des particules dû à la gravité et aux propriétés de la matrice environnante (notamment sa viscosité). La vitesse de sédimentation dépend des propriétés visqueuses de l'écoulement global, de la température et de la taille et de la masse des aérosols. Les grosses particules lourdes sédimentent rapidement alors que les particules fines de faible masse peuvent rester indéfiniment en suspension.

En présence d'un champ électrique, le mouvement des particules (notamment les particules de carbone) sera modifié. Les effets de ce phénomène sont fortement influencés par la gravité et la thermophorèse. Ce phénomène est le principe de mesurage de certains instruments décrits dans la présente norme.

Les processus d'agglomération et de coagulation, présents pendant la formation de l'aérosol, peuvent se poursuivre à des distances considérables du foyer d'un incendie, bien que les effets diminuent au fur et à mesure que les aérosols se diluent dans des volumes d'air de plus en plus importants. Ainsi, à des distances relativement grandes de l'incendie, des amas de particules de masse importante peuvent se former et sédimenter rapidement. Pour illustrer l'importance du temps dans la diminution de la concentration de particules par des effets de coagulation, le [Tableau 1](#) (voir la Référence [2]) montre la relation entre un aérosol initialement monodispersé sur une gamme de concentrations initiales et les temps correspondants nécessaires pour doubler le diamètre et réduire de moitié la concentration des particules. Il montre que, si de telles particules doivent être échantillonnées pour une mesure utile, une dilution rapide est nécessaire pour préserver autant que possible la distribution granulométrique initiale et la masse totale de l'aérosol.

Tableau 1 — Variation mesurée de la taille et de la concentration massique d'un aérosol initialement monodispersé due à la coagulation, conformément à la Référence [2]

Concentration initiale (particules/ml)	Temps nécessaire pour doubler le diamètre moyen de l'aérosol	Temps nécessaire pour diminuer de moitié la concentration massique
1014	140 µs	20 µs
1012	0,014 s	0,002 s
1010	1,4 s	0,2 s
108	140 s	20 s
106	4 h	33 min
104	16 jours	55 h
102	4 ans	231 jours

Dans des conditions de température fixe, la distribution granulométrique de l'aérosol tend vers un état connu en tant que « auto-conservation », c'est-à-dire qu'un équilibre tend à s'établir entre la vitesse d'agglomération et la vitesse de séparation [2].

4.3 Propriétés mesurables des aérosols

4.3.1 Taille et forme

Les gouttelettes d'aérosol sont sphériques au moment de leur formation et restent généralement sphériques lorsqu'elles grossissent par agrégation ou condensation. Le diamètre des gouttelettes va de moins de 1 nm à plus de 100 µm.

Les particules carbonées formées initialement sont sphériques, avec des diamètres D_p homogènes et d'une taille variant de 10 nm à 50 nm. La distribution statistique de ces particules est normalement gaussienne [2][3]. Toutefois, étant donné que ces petites particules adhèrent les unes aux autres pour former des particules plus grosses, les particules de carbone vieilles et agglomérées des effluents du feu sont rarement sphériques, leur structure fractale étant le résultat du processus de croissance. Par conséquent, elles doivent être caractérisées en utilisant d'autres paramètres que ceux employés pour décrire une sphère. Les principaux paramètres utilisés sont le diamètre aérodynamique et le diamètre en mobilité électrique. Ils sont définis ci-après ainsi que certains paramètres supplémentaires.

4.3.1.1 Diamètre aérodynamique

Ce diamètre, D_a , représente le diamètre d'une sphère de masse volumique 1 g/cm^3 ayant la même vitesse de chute dans l'air calme que la particule d'aérosol considérée. Pour une particule non spécifiée, la relation suivante relie ce diamètre au diamètre moyen en masse de la distribution :

$$D_a = \sqrt{\frac{\rho}{\chi}} \cdot d_{50}$$

4.3.1.2 Diamètre équivalent en mobilité électrique

Ce diamètre, D_m , représente le diamètre d'une sphère ayant la même mobilité électrique, Z_p , que la particule considérée, selon la relation :

$$D_m = \frac{Cc}{3\pi\mu B}$$

où

Cc est le facteur de correction de Cunningham

B est la mobilité dynamique qui caractérise les forces exercées par le gaz environnant sur la particule.

4.3.1.3 Diamètre équivalent en volume

Ce diamètre, D_{ev} , représente le diamètre d'une sphère ayant la même masse que la particule considérée et la même masse volumique.

$$D_{ev} = \left[\frac{m}{(\pi/6)\rho} \right]^{1/3}$$

4.3.1.4 Diamètre de giration

Ce diamètre, D_g , représente le diamètre d'une enveloppe sphérique ayant la même masse et le même moment d'inertie que la particule de combustion considérée. Ce diamètre est particulièrement utile pour décrire la morphologie fractale d'un aérosol de combustion et sera décrit au 5.2.3.

4.3.1.5 Diamètres supplémentaires

D'autres diamètres peuvent être utilisés pour définir les particules ; voir les Références [2] et [3]. Ils comprennent le diamètre des particules élémentaires D_{pp} , le diamètre d'agrégat D_{agr} (diamètre d'une sphère englobant totalement la particule), le diamètre de Martin, le diamètre de Feret ou le diamètre de Stokes. La [Figure 1](#) présente ces différents diamètres pour une particule de carbone.

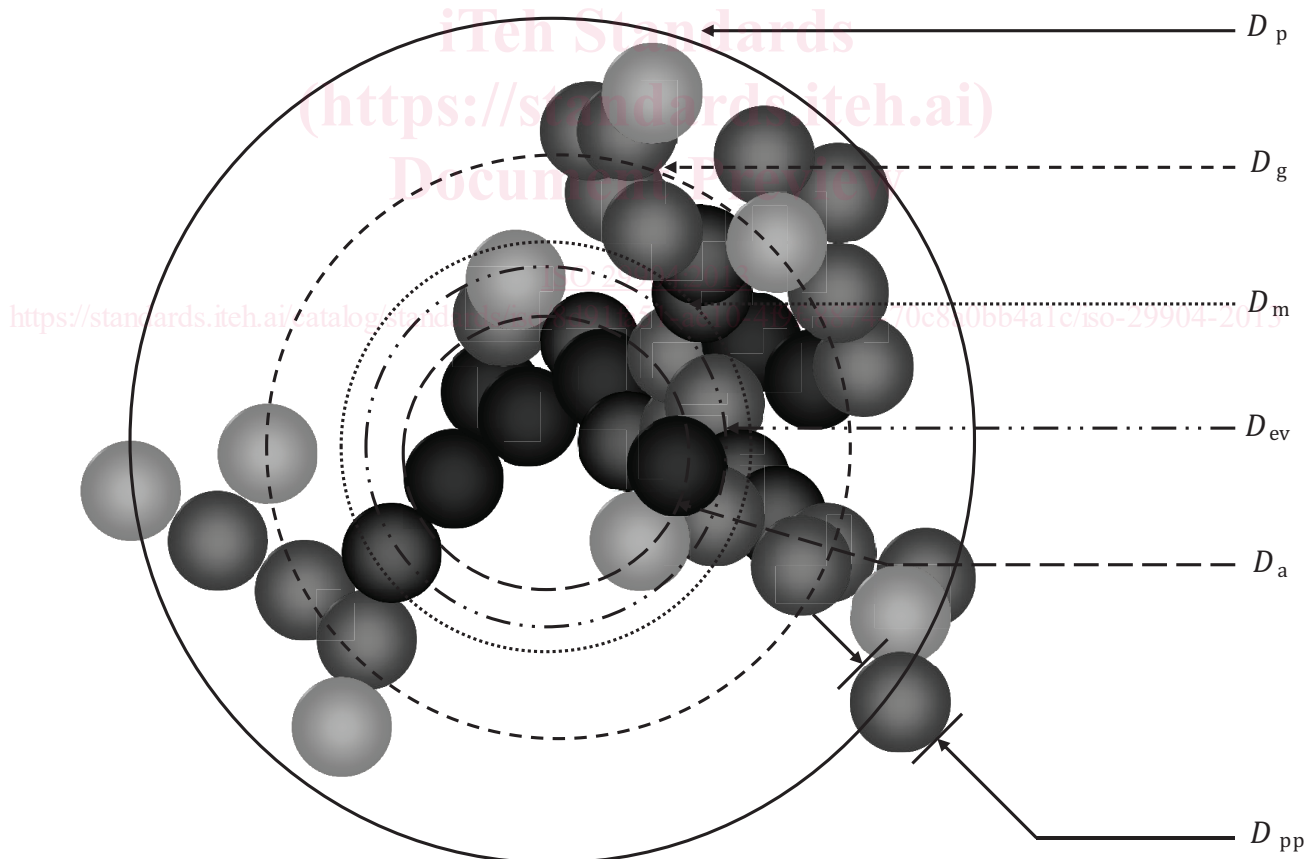


Figure 1 — Différents diamètres caractéristiques d'une particule de carbone

4.3.1.6 Morphologie d'un aérosol

La forme des particules et des gouttelettes d'un aérosol de combustion a fait l'objet d'études approfondies depuis les premiers travaux de Witten et Sander [9] et de Julien et Botet [10]. En raison de leur mode de formation, les particules produites par les flammes ont une forme essentiellement déterminée par le phénomène d'« agrégation par diffusion limitée » (DLA). Une relation quasi-fractale a été introduite afin de décrire entièrement la morphologie d'un aérosol de combustion par le processus d'agrégation d'un petit nombre de particules élémentaires N_p à un grand nombre dans l'agrégat mature :

$$N_{pp} = k_f \cdot \left(\frac{D_g}{D_{pp}} \right)^{D_f}$$

Cette relation est considérée comme *quasi-fractale* car il est uniquement possible de définir la morphologie des plus petites particules élémentaires et de la limite la plus élevée pour les particules agglomérées. Certaines mesures de D_{pp} , N_{pp} , R_g , D_f et k_f sont présentées à l'Annexe A.

4.3.1.7 Distribution granulométrique d'un aérosol

Les paramètres généralement utilisés pour caractériser la distribution granulométrique de l'aérosol sont le diamètre aérodynamique moyen en masse (MMAD), l'écart-type des diamètres et la fonction de répartition. Cette distribution est généralement supposée suivre une distribution log-normale.

4.3.2 Paramètres globaux d'un aérosol

4.3.2.1 Coefficient d'extinction optique

La loi de Bouguer-Beer-Lambert décrit l'atténuation de la lumière dans une suspension de particules, habituellement normalisée pour l'étude des feux pour une unité de longueur de parcours. La loi dépend de la longueur d'onde de la lumière, bien qu'une approximation soit normalement utilisée et ignore cette dépendance spectrale. Le coefficient d'extinction de la lumière dépend de la concentration de suie et de la propension des particules à absorber la lumière, caractérisée par leur surface d'extinction spécifique. L'atténuation moyenne du faisceau lumineux est indiquée par l'expression :

$$\frac{I}{I_0} = e^{-K_{ext} \cdot L}$$

où

L est le trajet optique (trajet suivi par la lumière dans la fumée) (m)

K_{ext} est le coefficient d'extinction de la lumière (m^{-1})

Le coefficient d'extinction d'un aérosol dépend de la section d'extinction des agrégats indiquée par l'expression :

$$K_{ext}(N, m) = N \int f(d) C^{ext}(d, m) dd$$

où

N est la concentration de particules (m^{-3})

m est l'indice de réfraction de la suie (/)

$f(d)$ est la fonction de répartition du diamètre des particules (/)

d est le diamètre des particules (m)

$C^{ext}(d, m)$ est la section d'extinction pour le diamètre de particule d ($m^{-2} \cdot sr^{-1}$)