

Prélèvement des aérosols par impacteur en cascade

Contexte

Les impacteurs en cascade permettent de collecter des particules en fonction de leur diamètre aérodynamique et donc de déterminer, par analyse gravimétrique, la distribution granulométrique en masse d'aérosols sur de larges gammes de taille (submicroniques à micrométriques). Ces outils sont une aide précieuse puisque, au-delà de la détermination de la distribution en taille d'un aérosol, ils permettent de collecter des échantillons pouvant être ensuite caractérisés par le biais d'analyses complémentaires (analyses chimiques notamment).

Cette caractérisation granulométrique et chimique des aérosols est un réel apport en matière de compréhension des effets des particules inhalées sur la santé. Ceci est essentiellement lié au fait que la taille des particules gouverne l'inhalation et le dépôt dans l'appareil respiratoire et, ensuite par transfert, dans l'ensemble du corps.

Bien qu'aujourd'hui cette mesure n'entre pas en compte dans une démarche réglementaire d'évaluation des expositions, la détermination de la granulométrie des aérosols, que ce soit par des techniques de mesures en temps réel ou par le biais de prélèvements par impacteur, permet de documenter davantage les expositions en fonction des polluants et des situations professionnelles rencontrées, et ainsi :

- ◆ D'orienter et de conforter le choix des dispositifs de prélèvement (selon les fractions conventionnelles visées),
- ◆ De préciser les solutions techniques de prévention (ventilation, filtration),
- ◆ D'apporter de la connaissance en termes de compréhension des effets sanitaires.

Les généralités ainsi que les freins associés aux prélèvements par impacteur en cascade sont décrits dans ce document. Cette fiche est dédiée aux prélèvements individuels et est principalement orientée sur les prélèvements des particules métalliques. Les paramètres clefs liés à ce type de prélèvement sont précisés afin de choisir l'impacteur le plus adapté aux besoins ainsi que les modalités de préparation des supports d'impaction associés. Les possibilités d'analyses gravimétriques et chimiques des supports sont évoquées. Enfin des modalités de traitement des données sont proposées.

Généralités sur les impacteurs	3
Freins associés au déploiement des prélèvements par impacteur en cascade et intérêt du graissage des supports	4
Les impacteurs en cascade utilisés en hygiène industrielle	5
Comment choisir un impacteur en cascade ?	8
<i>En fonction de la résolution de l'impacteur</i>	<i>8</i>
Aérosol de fumées de diesel	9
Aérosol de fumées de soudage	10
Aérosol de quartz	11
Aérosol issu de la manipulation de poudre	12
<i>En fonction de la concentration supposée dans l'atmosphère de travail</i>	<i>13</i>
<i>En fonction des analyses ultérieures des supports</i>	<i>15</i>
<i>Synthèse et outil d'aide à la décision</i>	<i>15</i>
Comment prélever avec un impacteur en cascade ?	15
<i>Préparation des supports d'impaction</i>	<i>15</i>
Préparation des membranes PVC	16
Préparation de la suspension de graisse et stabilité	16
Procédure de dépôt de la graisse sur les supports	16
<i>Conditionnement des supports dans le dispositif</i>	<i>18</i>
<i>Prélèvement sur le terrain</i>	<i>18</i>
<i>Déconditionnement des supports</i>	<i>19</i>
<i>Protocole de récupération des dépôts sur les parois par essuyage</i>	<i>19</i>
<i>Protocole de nettoyage des dispositifs</i>	<i>20</i>
<i>Transport</i>	<i>20</i>
Analyses des supports	21
Analyse gravimétrique	21
Analyses chimiques	21
Traitement, exploitation des données	21
Bibliographie	22
Auteurs	22
Historique	22
Annexe 1 : Procédure de graissage	23
Annexe 2 : Aide au traitement et exploitation des données	26

Informations générales.....26
 Conditions du prélèvement27
 Expression des résultats en masse & Représentations graphiques27
 Expression des résultats 27
 Représentations graphiques..... 28
 Résultats en concentration massique29

GENERALITES SUR LES IMPACTEURS

Les impacteurs en cascade sont des dispositifs de prélèvement constitués de plusieurs étages d'impaction, chacun d'entre eux étant caractérisé par une courbe d'efficacité de collecte définie expérimentalement en laboratoire. Le nombre d'étages est variable en fonction des impacteurs et la gamme de taille de particules collectées varie également de quelques nanomètres jusqu'à quelques dizaines de micromètres.

Le principe de fonctionnement est le suivant : le flux d'air est accéléré tout au long de la colonne d'impaction en traversant un ensemble de buses, ou ajutages, de plus en plus petites (appelées « jet plate »). Des plateaux perpendiculaires au flux d'air permettent de maintenir le support d'impaction. L'inertie des particules (fonction de leur vitesse, de leur masse et donc de leur taille pour des particules de densité équivalente) est telle que, pour une vitesse d'air donnée, elles ne pourront plus suivre les lignes de courant qui contournent le plateau d'impaction et viendront s'impacter sur ce plateau également appelé étage d'impaction (Figure 1). Les particules dont les diamètres sont les plus élevés sont ainsi collectées en premier, puis les particules de plus en plus fines sur les étages suivants, la vitesse de l'air augmentant. La surface de collecte, également appelée « impaction plate » ou « plaque d'impaction », comporte un support de collecte (filtre ou membrane) habituellement enduit d'un revêtement cohésif afin de limiter les phénomènes de rebond des particules. Généralement, la colonne d'impaction contient un filtre terminal avant la sortie d'air vers la pompe.

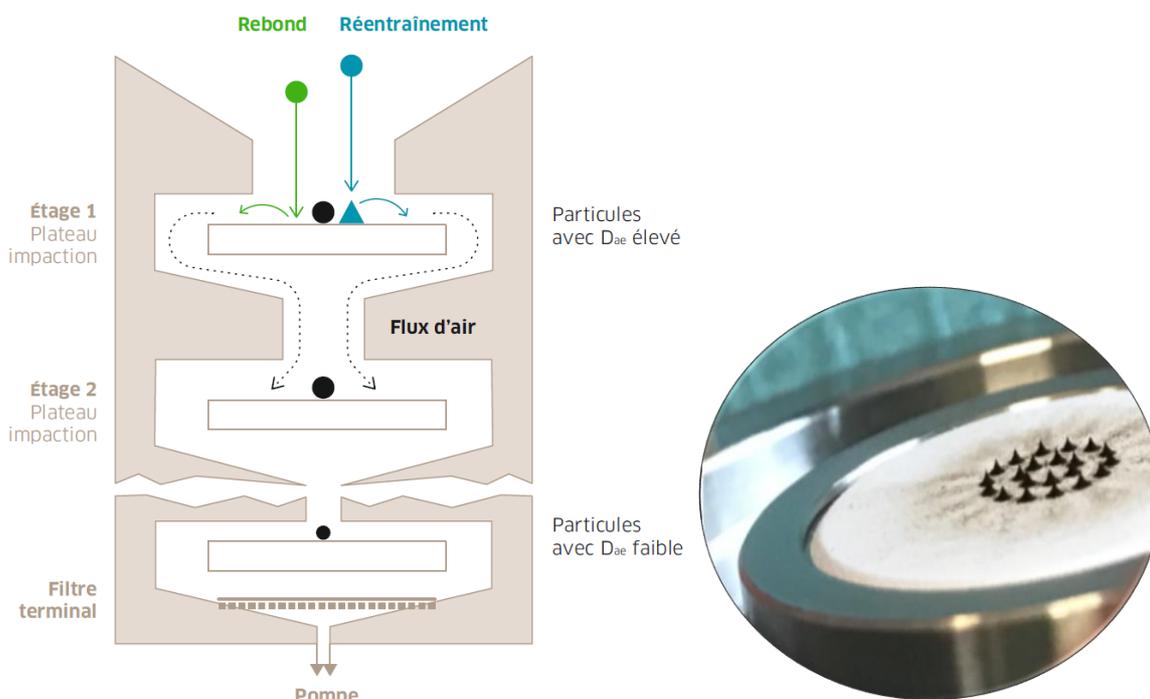


Figure 1 : A gauche, principe de fonctionnement d'un impacteur en cascade et artéfacts associés (D_{ae} : diamètre aérodynamique), extrait de [1], et à droite, photographie d'un aérosol issu d'un procédé de projection thermique collecté par impaction

Le diamètre aérodynamique (D_{ae}) est défini dans la fiche « [Prélèvements d'aérosols. Généralités](#) ». Par définition, le D_{ae} d'une particule est le diamètre de la sphère équivalente de masse volumique égale à 1 g/cm³ et ayant la même vitesse limite de chute dans l'air que la particule considérée. Le diamètre de coupure d'un étage d'impaction est défini comme le diamètre aérodynamique correspondant à une efficacité de collecte de 50 % (D₅₀).

En plus de la mesure de la masse en fonction de la taille des particules (gravimétrie), d'autres analyses peuvent être effectuées à partir des supports de collecte, telles que la diffraction des rayons X (information sur la structure cristalline), l'analyse morphologique par microscopie électronique (MEB, MET), l'analyse par spectrophotométrie (endotoxines) ou encore l'analyse par spectrométrie atomique ou par chromatographie liquide (composition chimique élémentaire), par exemple. Des analyses plus spécifiques peuvent également être menées ; dans ce cas, il convient de s'assurer de l'adéquation entre le support et la préparation (imprégnation) si besoin (ex. : chrome hexavalent, isocyanates, microorganismes cultivables, etc.).

FREINS ASSOCIES AU DEPLOIEMENT DES PRELEVEMENTS PAR IMPACTEUR EN CASCADE ET INTERET DU GRAISSAGE DES SUPPORTS

Il existe deux artefacts, connus et bien documentés, lors du prélèvement de particules solides avec de tels dispositifs. Ils sont illustrés sur la Figure 1 et concernent l'ensemble des impacteurs.

Le premier est le phénomène de **réentraînement des particules**, qui est favorisé lorsque la charge en particules sur la surface d'impaction est importante. Les particules sont alors éjectées, reprises dans les lignes de courant, et entraînées vers les étages d'impaction suivants qui correspondent à des diamètres de particules plus petits. Pour éviter ce phénomène, il est important d'adapter le temps d'échantillonnage en fonction de l'empoussièrement, pour s'affranchir d'un chargement des supports trop important (idéalement inférieur à 1 mg). Il est donc nécessaire de déterminer la durée optimale de prélèvement permettant la collecte d'une quantité de matière qui soit à la fois suffisante pour les analyses ultérieures tout en limitant la surcharge et la possibilité de réentraînement. Une métrologie complémentaire (en temps réel) lors du prélèvement permet, par exemple, de contrôler la concentration au cours du temps et d'évaluer le taux de chargement des supports de collecte.

Le second artefact est dû aux phénomènes de **rebond des particules** : les particules peuvent rebondir sur l'étage d'impaction, être reprises par les lignes de courant, pour être finalement impactées, comme dans le cas du réentraînement, sur les étages suivants, voire sur le filtre terminal.

Le principal effet de ces deux phénomènes est une distribution de taille mesurée déplacée vers des étages d'impaction correspondant à de plus petits diamètres de particules, ainsi qu'un dépôt de particules sur les parois du dispositif non négligeable, notamment sous les orifices des « jet plates ».

Le graissage des supports de collecte est alors préconisé pour limiter ces phénomènes, notamment lorsque les supports de prélèvement sont des membranes lisses (PVC, esters de cellulose, téflon). La graisse absorbe l'énergie cinétique des particules lors de leur impaction afin de limiter leur rebond et va créer, par capillarité, une cohésion entre les particules collectées afin de limiter leur réentraînement. La Figure 2 illustre que, pour une même quantité de particules générées et donc collectées par le dispositif de prélèvement, les supports PVC graissés (à droite) captent davantage de particules que les supports non graissés (à gauche).

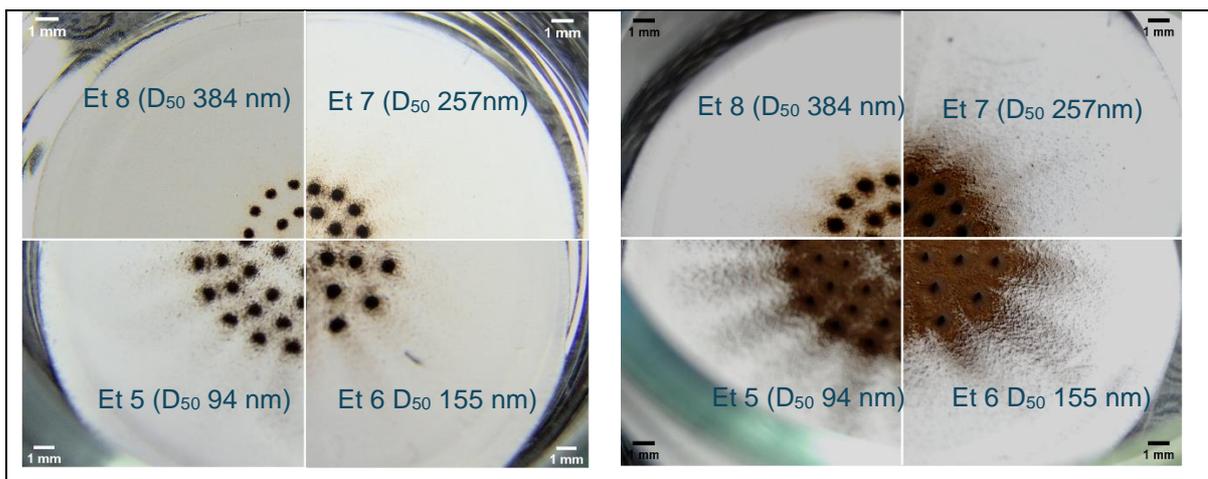


Figure 2 : Photographies de 4 supports (avec des Dae allant de 94 nm à 384 nm) issus d'un prélèvement avec un impacteur basse pression (DLPI⁺) dans le cas de supports non graissés (à gauche) et graissés (à droite) et pour une émission en particules ultrafines équivalente

Les prélèvements d'aérosols particulaires liquides par impacteur en cascade ne nécessitent pas de graissage. En effet, du fait de leurs caractéristiques physiques intrinsèques, ces aérosols ne sont pas sensibles au phénomène de rebond. Il est important de noter que le rebond est également fortement limité dans le cas par exemple, de prélèvements de Cr^{VI} (cf. méthodes MétroPol [M-43](#) et [M-430](#)) ou d'isocyanates (cf. méthodes MétroPol [M-324](#) et [M-330](#)) du fait à la fois de l'utilisation de filtres en profondeur mais également de l'imprégnation de ce dernier.

Le graissage est également d'intérêt lors du déconditionnement des supports, notamment pour les impacteurs qui disposent de bagues de serrage pour maintenir les supports en place. À titre d'illustration, la Figure 3 présente deux supports prélevés dans des conditions identiques (à charge en particules équivalente soit environ 2 mg de masse collectée sur le support) et pour un même étage de l'impacteur Sioutas (étage n°1, correspondant aux particules entre 2,5 et 10 µm) avec un support PVC non graissé à gauche et graissé à droite.



Figure 3 : Photographies des supports de l'étage supérieur (D₅₀ le plus important) pour des prélèvements par impacteur Sioutas avec supports non graissés (à gauche) et graissés (à droite)

LES IMPACTEURS EN CASCADE UTILISES EN HYGIENE INDUSTRIELLE

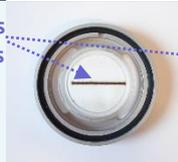
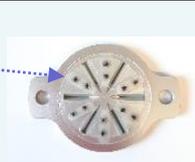
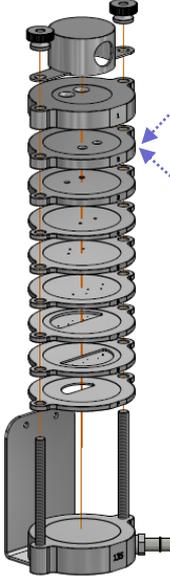
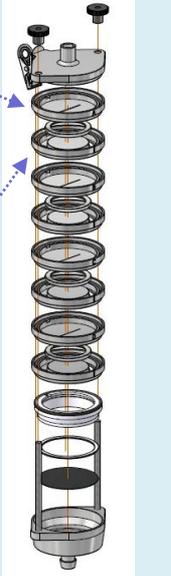
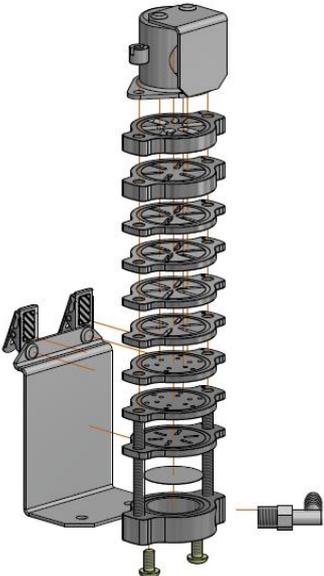
Il existe sur le marché un certain nombre de dispositifs de prélèvement par impaction. Ils se distinguent selon leur utilisation (prélèvement individuel ou d'ambiance), la gamme de taille de particules couverte ou encore la nature et la géométrie des supports de collecte.

Les recommandations dans ce guide sont orientées sur trois dispositifs conçus pour des prélèvements

individuels. Deux d'entre eux, l'impacteur Marple (noté « MA ») et l'impacteur Sioutas (noté « S »), sont déjà déployés dans le domaine de l'hygiène industrielle contrairement au Mini-MOUDI 135-8 dans sa version 8 étages (noté « MMI »).

Le Tableau 1 synthétise les principales caractéristiques ainsi que les avantages et les freins identifiés associés à chaque dispositif. Ces trois dispositifs fonctionnent à pression atmosphérique, le débit est assuré par une pompe individuelle.

Tableau 1 : Principales caractéristiques des impacteurs en cascade couramment utilisés pour des prélèvements individuels

Désignation	Mini-MOUDI 135-8 (« MMI »)	Sioutas (« S »)	Marple (« MA »)
Vue générale			
Plateau d'impaction avec support prélevé			
Vue éclatée			
Débit nominal (L/min)	2	9	2
Nombre d'étages (+ filtre terminal)	8 (+1)	4 (+1)	8 (+1)
Gamme D ₅₀ (µm)*	De 0,18 à 20	De 0,25 à 10	De 0,52 à 50
Taille des supports d'impaction (filtre terminal)	37 mm demi disque (FT 37 mm)	25 mm (FT 37 mm)	34 mm (FT 34 mm)

* les bornes supérieures indiquées dans ce tableau sont issues de « données constructeurs »

Ces dispositifs ont quelques points communs à savoir :

- ◆ Ils sont destinés aux prélèvements individuels,
- ◆ Ils sont tous constitués d'étages d'impaction et d'un support terminal de filtration appelé « filtre terminal » par abus de langage car une membrane PVC est souvent préconisée. Seul le filtre terminal génère des pertes de charge. Ce n'est pas le cas des étages d'impaction puisqu'ils ne sont pas traversés par le flux d'air. Le filtre terminal permet de collecter, par filtration, les particules les plus fines (i.e. celles dont le diamètre aérodynamique est inférieur au diamètre de coupure du dernier étage d'impaction). Dans ce cas, seul le diamètre du support importe : membrane ou filtre en profondeur peuvent être utilisés si tant est qu'ils soient adaptés aux analyses ultérieures, gravimétriques ou chimiques, et qu'ils n'engendrent pas de perte de charge ne pouvant être gérées par la pompe de prélèvement.

Les dispositifs diffèrent selon :

- ◆ Le nombre d'étages d'impaction et donc leur résolution en taille (cf. Figure 4).

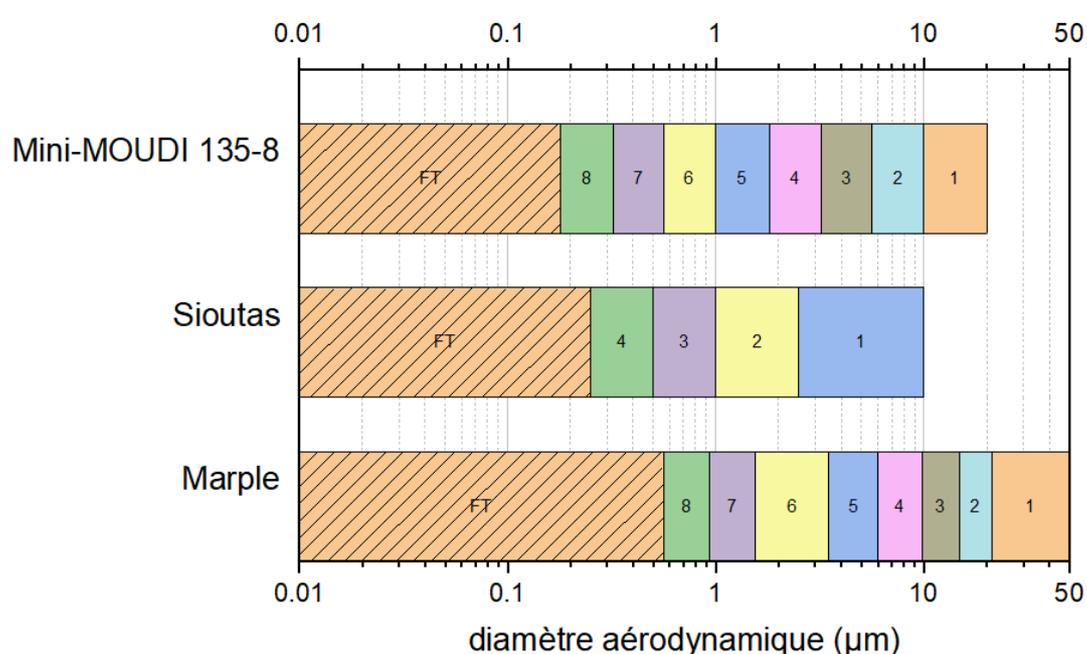


Figure 4 : Représentation comparative des diamètres aérodynamiques des particules collectées par chaque étage d'impaction, en échelle logarithmique, pour les trois impacteurs considérés (FT : filtre terminal)

- ◆ Le débit d'utilisation couplé au nombre d'étages, ce qui va avoir une incidence sur la charge des supports de prélèvements.
- ◆ Les supports d'impaction qui sont fonction de :
 - ▶ La taille : 25 mm, 34 mm ou 37 mm selon le dispositif et les étages. À noter que les membranes PVC 34 mm sont difficilement accessibles sur le marché.
 - ▶ La composition : certains étant spécifiques (Mylar pour le MA bien qu'il existe également sur le marché des supports en esters de cellulose et fibres de quartz). Pour le S et le MMI, les membranes en PVC sont disponibles (ce qui n'est pas le cas du MA) et recommandées du fait des limites de quantification optimales obtenues lors de l'analyse gravimétrique et de la possibilité de mettre ces membranes en solution par digestion acide pour l'analyse des métaux.
 - Si seule l'analyse chimique est envisagée, il est alors possible d'utiliser des membranes en esters de cellulose graissées ou des filtres en fibre de quartz.
 - Si seule l'analyse gravimétrique est envisagée, il est alors possible d'utiliser des membranes en téflon (PTFE) graissées.

- ▶ La forme (cf. Tableau 1 et Figure 17) : les supports utilisés pour les plateaux d'impaction sont pleins (S), avec des fentes (MA) ou évidés à façon (cf. MétroPol [M-439](#) pour MMI).
- ◆ La constitution de l'étage (cf. les vues éclatées du Tableau 1) :
 - ▶ Pour le S chaque étage d'impaction est constitué de deux parties à savoir un « jet plate » (plateau avec les buses/orifices d'accélération) et un plateau d'impaction (où est positionné le support maintenu par une bague de serrage).
 - ▶ Dans les cas du MA et MMI, l'étage est constitué d'une seule partie où le support est positionné sur le plateau qui est également le « jet plate » de l'étage de collecte inférieur (présence d'orifices).

Chaque dispositif présente des intérêts et des limitations, il revient donc à l'utilisateur de déterminer l'impacteur en cascade qui répond au mieux aux objectifs de mesurage.

COMMENT CHOISIR UN IMPACTEUR EN CASCADE ?

Le choix de l'impacteur sera essentiellement lié :

- ◆ A la résolution souhaitée en fonction de la granulométrie attendue,
- ◆ A la concentration supposée dans l'atmosphère de travail qui sera, elle-même, à mettre en relation avec le débit de prélèvement et le nombre d'étages,
- ◆ Aux analyses ultérieures.

Ces trois principaux paramètres et critères de choix sont illustrés ci-après.

EN FONCTION DE LA RESOLUTION DE L'IMPACTEUR

Le choix d'un impacteur peut être réalisé en fonction de la plage de taille (supposée) couverte par les aérosols à prélever, ce qui revient à réfléchir quant à la présence ou la proportion de particules ultrafines, submicroniques, micrométriques dans l'aérosol.

A titre d'illustrations, les distributions granulométriques obtenues pour les trois impacteurs, et pour quatre aérosols de nature et de distributions différentes sont présentées sur les Figure 6, Figure 8, Figure 10 et Figure 12. Dans ces exemples, la distribution peut être résumée à la détermination du diamètre aérodynamique médian en masse (MMAD). Le MMAD désigne le diamètre pour lequel 50 % de la masse est constituée de particules inférieures à ce diamètre, et 50 % de particules supérieures.

Les quatre aérosols proposés ici sont, par ordre de MMAD croissant (MMAD déterminé, pour chaque aérosol, lors de travaux et études mentionnés en référence) :

- ◆ Un aérosol de fumées de diesel dont le MMAD est de 0,25 μm d'après la synthèse de Burtcher [1],
- ◆ Un aérosol émis sur un banc de génération de fumées de soudage. Dans ce cas le MMAD de référence a été obtenu après détermination de la distribution en masse avec un impacteur en cascade stationnaire à basse pression (DLPI*) ayant une résolution importante (14 canaux de 0,016 à 10 μm). Le MMAD est de 0,4 μm selon Matera et al [2],
- ◆ Un aérosol de quartz dont le MMAD est de 1,2 μm selon Rousset et al. [3],
- ◆ Un aérosol issu de la manipulation de poudre (BaSO_4) dont le MMAD est de 3,5 μm selon Dazon et al. [4].

Aérosol de fumées de diesel

La distribution de référence (MMAD = 0,25 μm et GSD = 1,85) est illustrée Figure 5 et les distributions théoriques associées déterminées sur les trois impacteurs sont représentées dans la Figure 6.

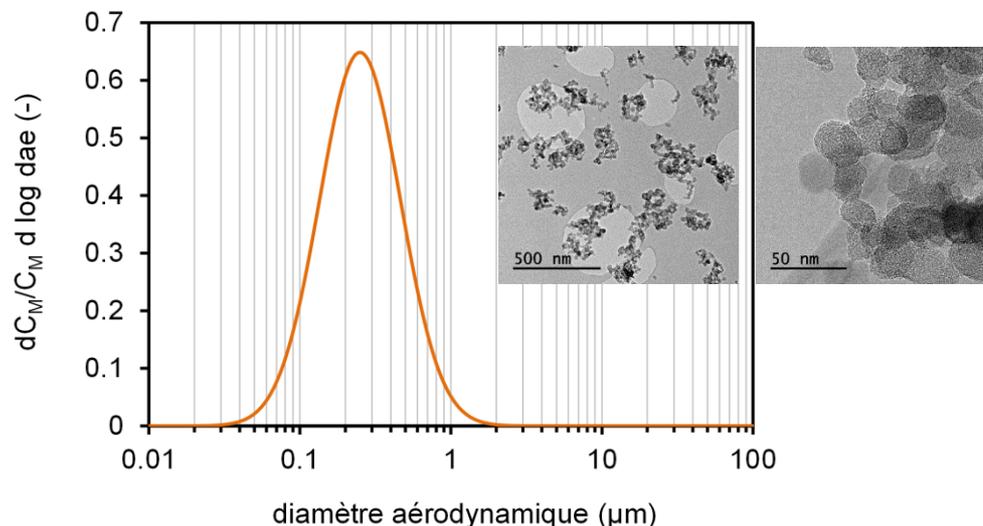


Figure 5 : Distribution granulométrique de référence et observation au microscope de l'aérosol émis par un moteur diesel [1]

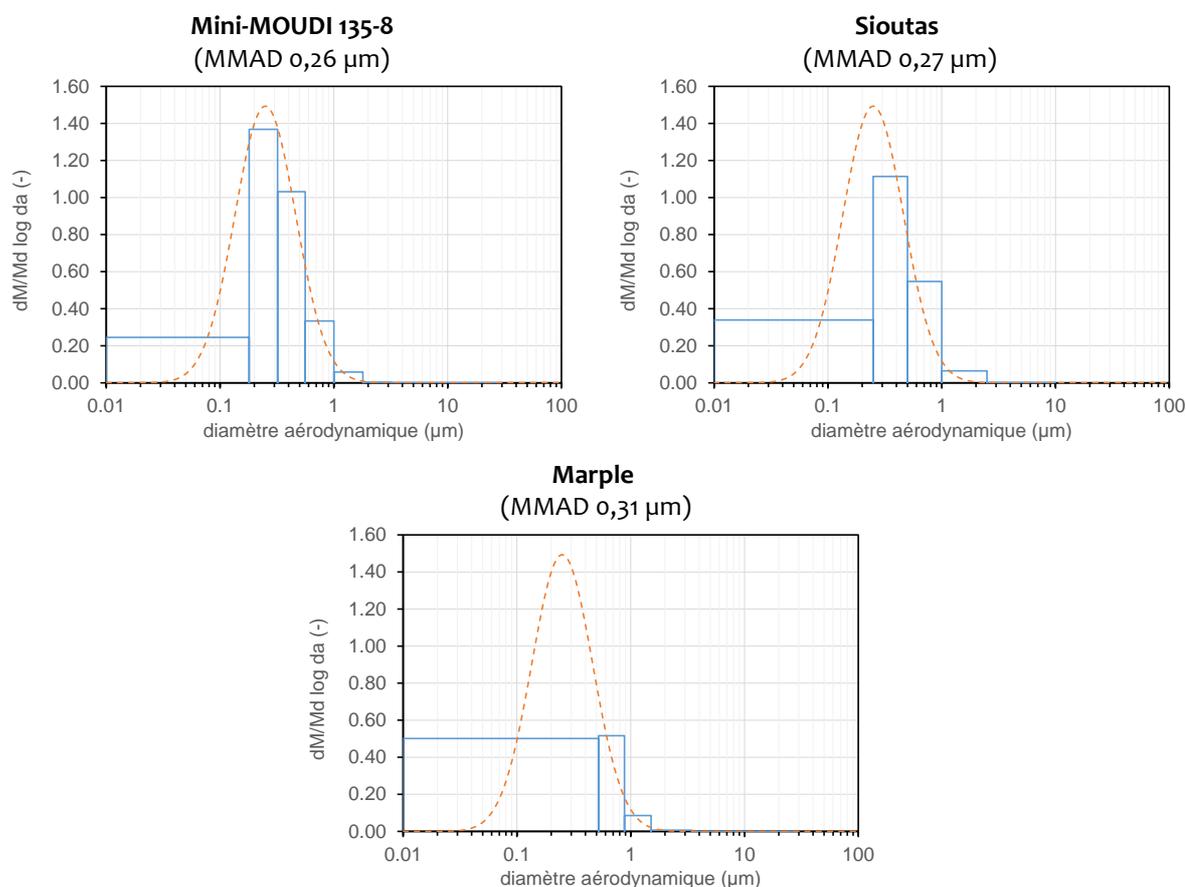


Figure 6 : Distributions granulométriques simulées pour les trois impacteurs individuels lors du prélèvement d'un aérosol de fumées de diesel

Aérosol de fumées de soudage

La distribution de référence (MMAD = 0,4 µm et GSD = 2) est illustrée sur la Figure 7 et les distributions théoriques associées déterminées sur les trois impacteurs sont représentées dans la Figure 8.

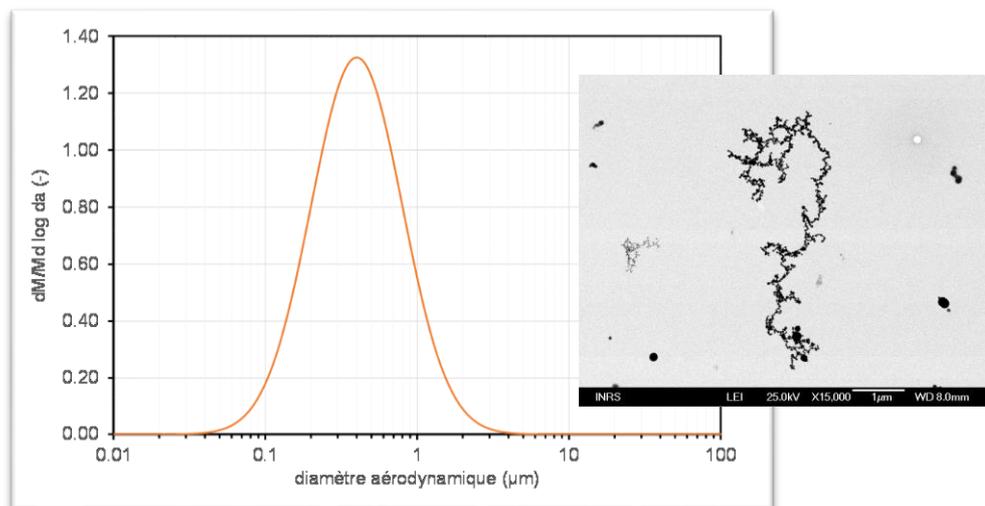


Figure 7 : Distribution granulométrique de référence et observation au microscope de l'aérosol émis sur un banc de fumées de soudage [2]

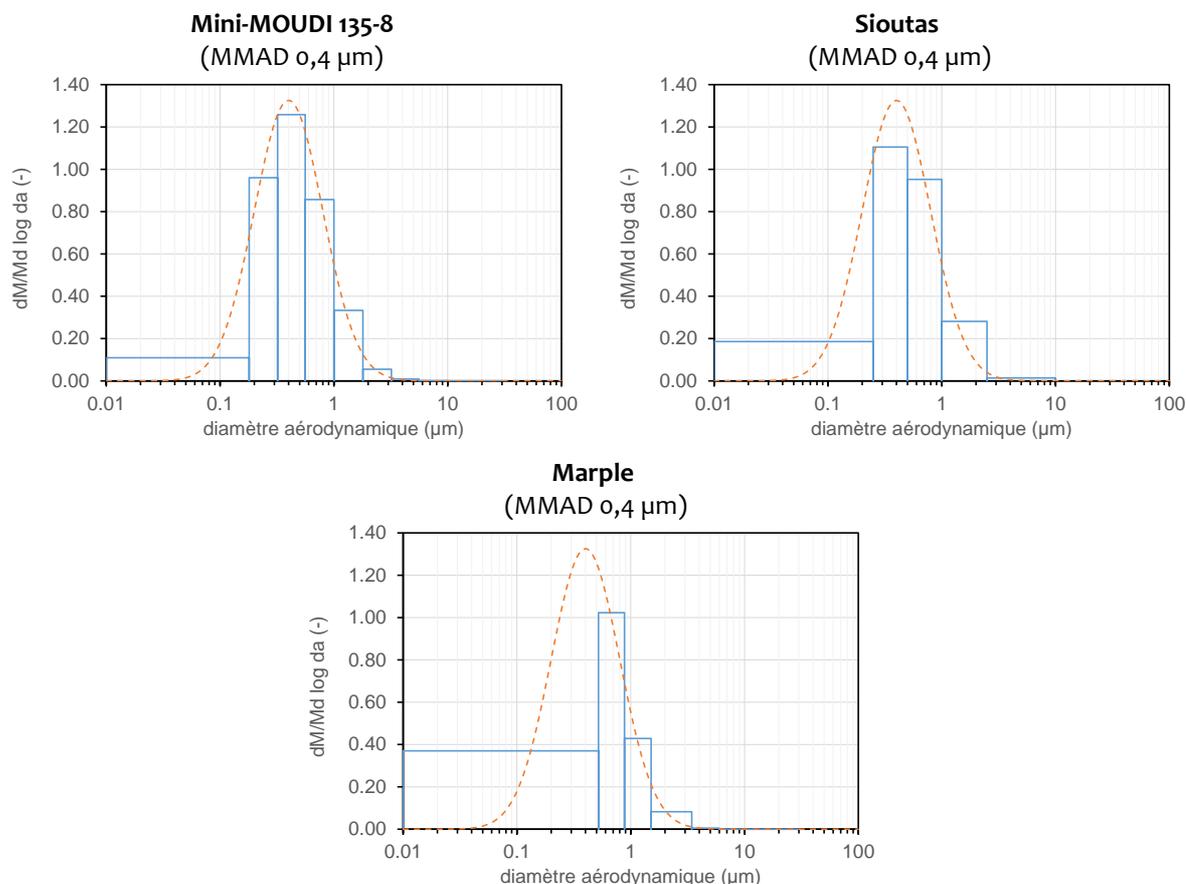


Figure 8 : Distributions granulométriques simulées pour les trois impacteurs individuels lors du prélèvement de l'aérosol émis sur un banc de fumées de soudage

Aérosol de quartz

La distribution de référence (MMAD = 1,2 μm et GSD = 2,5) est illustrée Figure 9 et les distributions théoriques associées déterminées sur les trois impacteurs sont représentées dans la Figure 10.

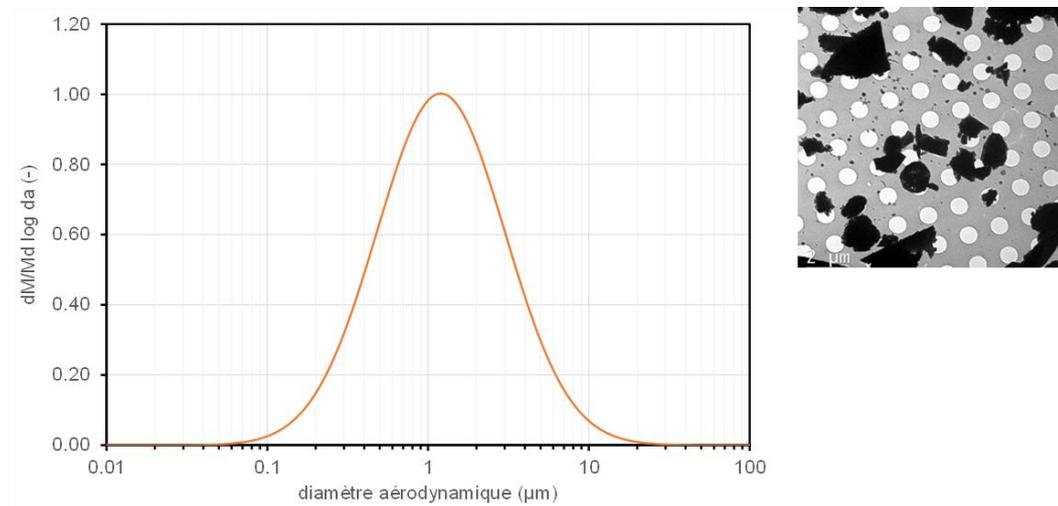


Figure 9 : Distribution granulométrique de référence et observation au microscope de l'aérosol de quartz [3]

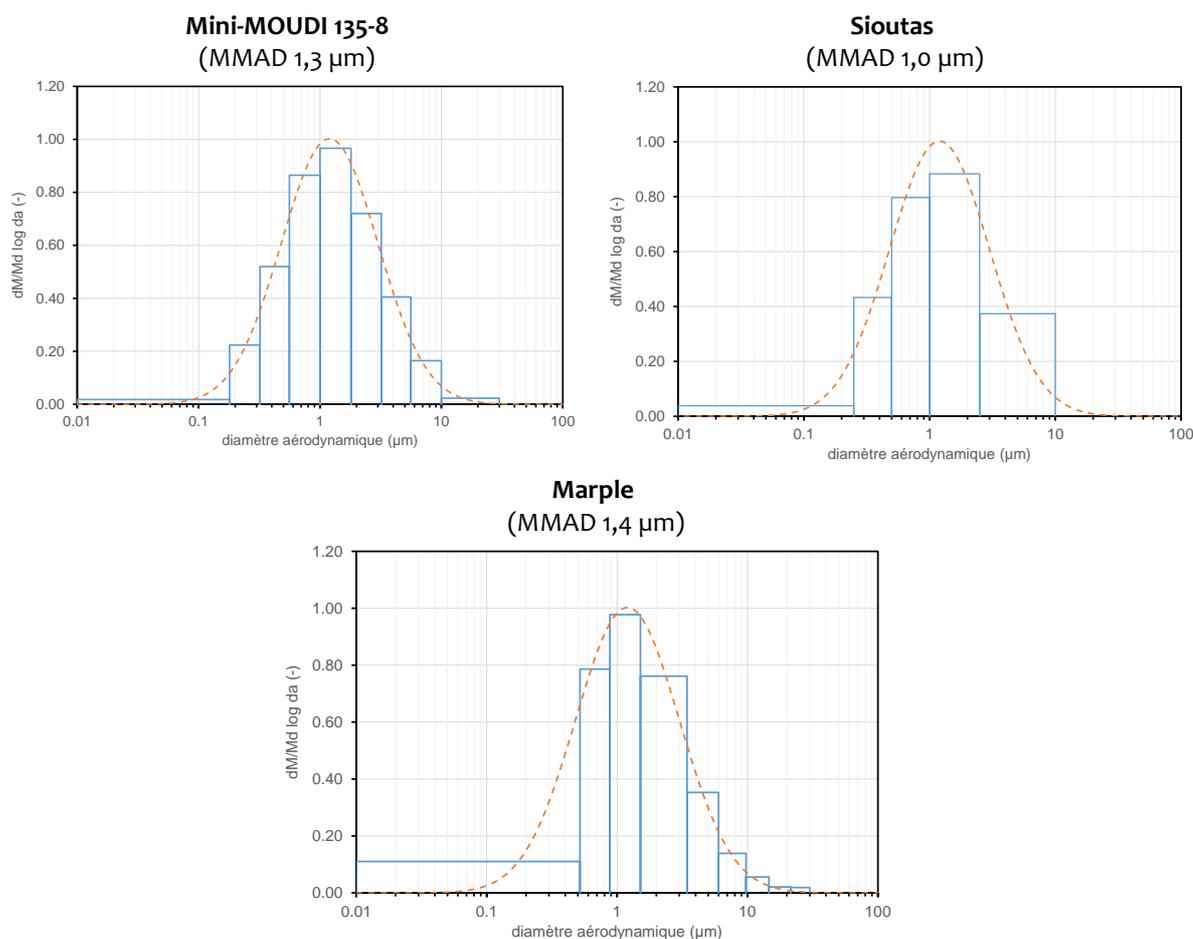


Figure 10 : Distributions granulométriques simulées pour les trois impacteurs individuels lors du prélèvement d'un aérosol de quartz

Aérosol issu de la manipulation de poudre

La distribution de référence (MMAD = 3,5 µm et GSD = 1,5) est illustrée Figure 11 et les distributions théoriques associées déterminées sur les trois impacteurs sont représentées dans la Figure 12 Figure 12.

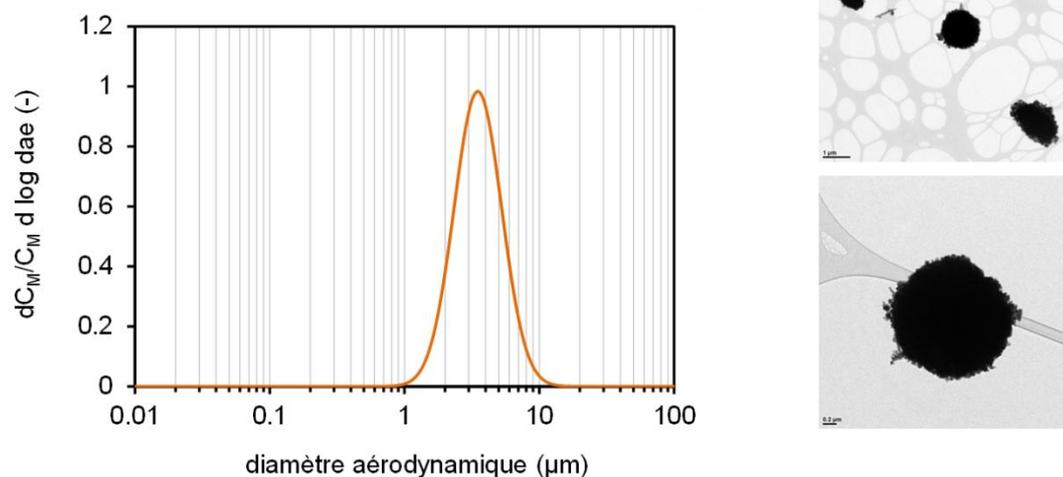


Figure 11 : Distribution granulométrique de référence et observation au microscope de l'aérosol émis lors de la manipulation de poudre [4]

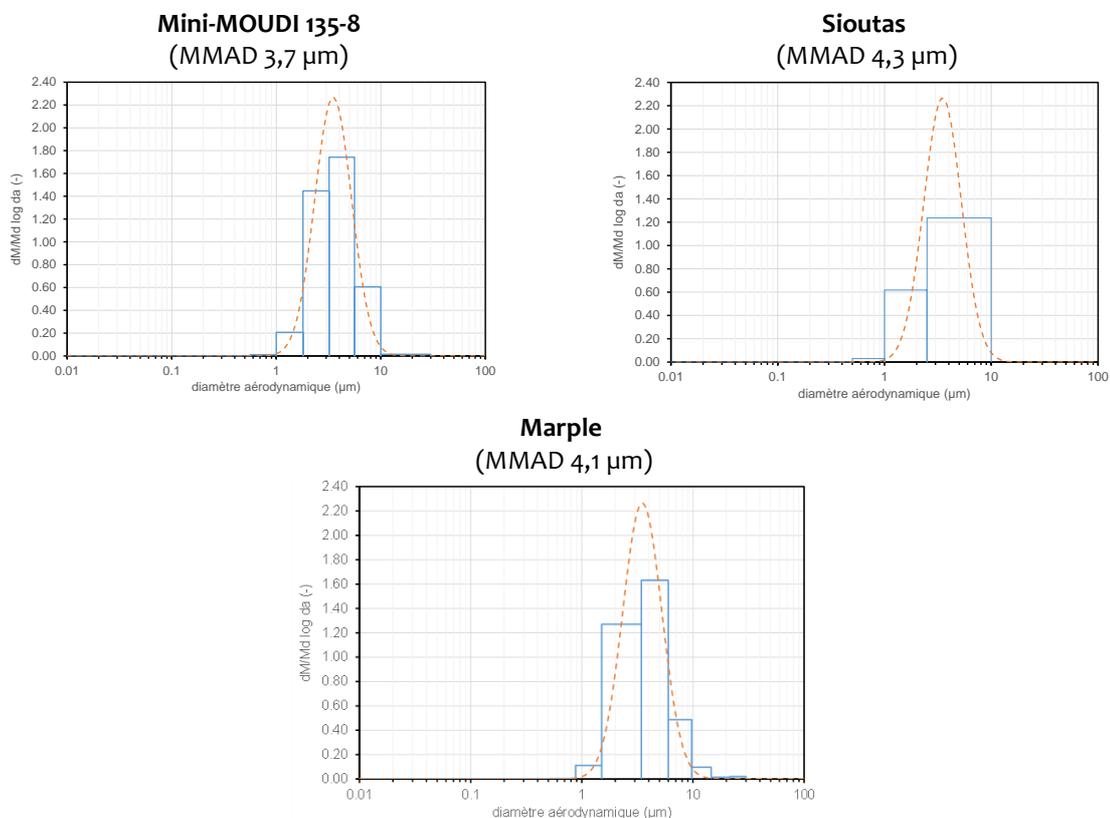


Figure 12 : Distributions granulométriques simulées pour les trois impacteurs individuels lors du prélèvement d'un aérosol issu de manipulation de poudre

Ces projections permettent d'illustrer le fait que, selon le MMAD de l'aérosol à échantillonner et du fait de la résolution de chaque impacteur, le MMAD déterminé sur la base de l'analyse gravimétrique peut être équivalent pour les trois dispositifs (fumées de soudage) ou différent (pour les trois autres aérosols présentés).

EN FONCTION DE LA CONCENTRATION SUPPOSEE DANS L'ATMOSPHERE DE TRAVAIL

A partir des distributions granulométriques théoriques déterminées sur les trois impacteurs pour l'aérosol du banc de fumées de soudage (Figure 8), la Figure 13 présente, à titre d'exemple, les masses collectées (en μg) sur les différents étages d'impaction après 1 h de prélèvement et pour une concentration totale à l'émission de 4 mg/m^3 .

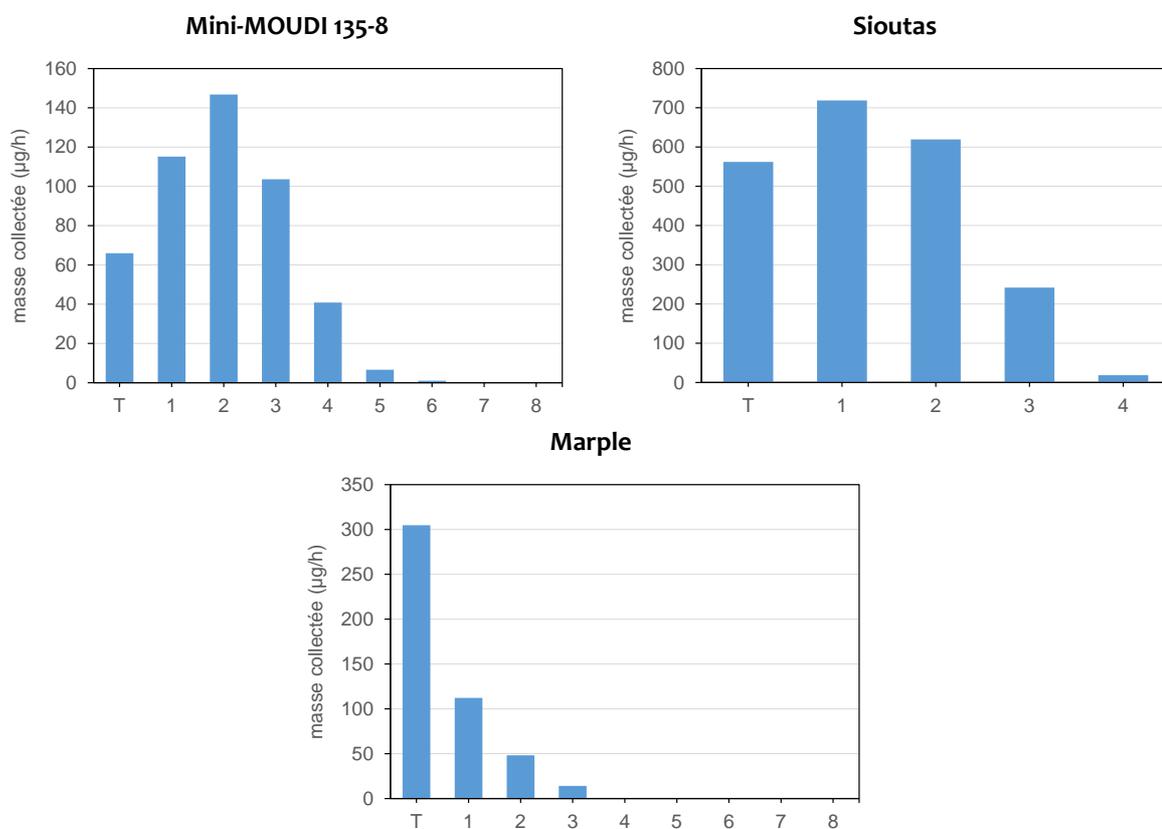


Figure 13 : Répartition des masses théoriques obtenues sur les différents plateaux d'impaction (allant du filtre terminal « T » à l'étage supérieur correspondant au Dae le plus élevé) lors du prélèvement avec les trois impacteurs individuels

Une autre représentation, Figure 14, permet d'étendre ces répartitions (en % de masse pour chaque étage) à d'autres aérosols en fonction, cette fois, de leur MMAD. Dans ces calculs, La concentration des aérosols a été fixée à 4 mg/m^3 , puisque c'est la concentration réglementaire moyenne à ne pas dépasser sur 8 h pour les poussières de l'atmosphère inhalée par un travailleur, pour les poussières totales (locaux à pollution spécifique). Le débit massique total de particules collectées est rapporté en $\mu\text{g.h}^{-1}$ et déterminé en fonction du débit de prélèvement de l'impacteur considéré.

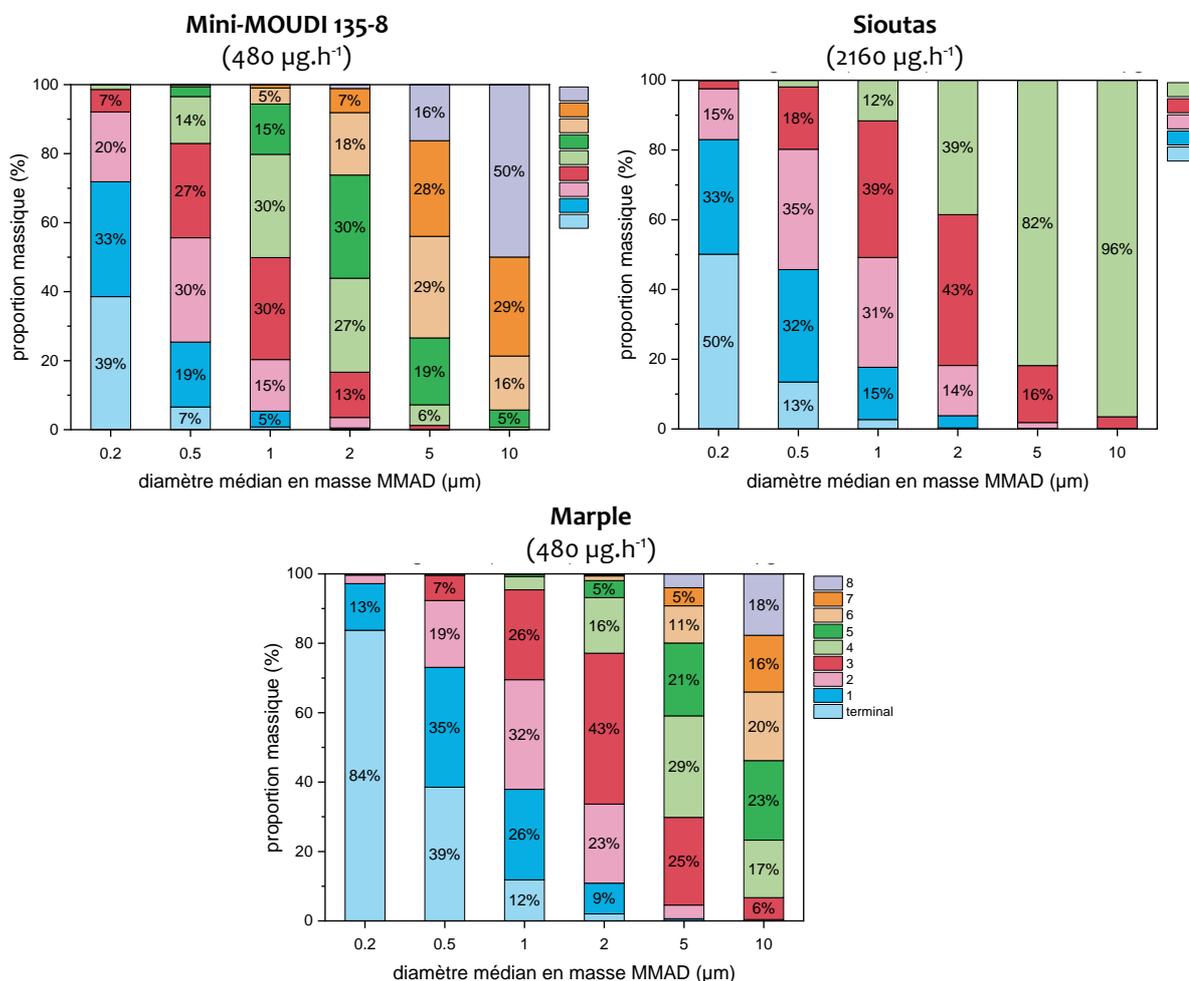


Figure 14 : Répartition de la masse d'un aérosol, pour une concentration de 4 mg/m^3 , sur chaque plateau d'impaction en fonction de son MMAD et pour chaque impacteur (calcul basé sur un écart-type géométrique de la distribution log normale $GSD = 2$)

Le choix de l'impacteur sera par conséquent fonction du diamètre médian en masse estimé de l'aérosol (MMAD) et donc fonction du procédé et du secteur.

Considérons ainsi, de manière arbitraire, trois classes granulométriques de l'aérosol sur la base des MMAD proposés en Figure 14 : $\leq 0,5 \mu\text{m}$; entre $0,5 \mu\text{m}$ et $5 \mu\text{m}$ et $\geq 5 \mu\text{m}$. Les deux impacteurs devant être privilégiés afin de décrire au mieux la distribution granulométrique de l'aérosol considéré, c'est-à-dire afin d'avoir une répartition homogène sur l'ensemble des supports, sont les suivants (avec ordre de préférence en termes de performance) :

- ◆ $\leq 0,5 \mu\text{m}$ (ex fumées de soudage, fumées de diesel) \Rightarrow MMI, S
- ◆ $0,5/5 \mu\text{m}$ (ex procédures cliniques dentaires, quartz, manipulation de poudres type BaSO_4) \Rightarrow MMI, MA
- ◆ $\geq 5 \mu\text{m}$ (ex manipulation de poudres type farine ou ciment, poussières de bois) \Rightarrow MA, MMI

EN FONCTION DES ANALYSES ULTERIEURES DES SUPPORTS

La plupart des supports d'impaction ne permettent pas d'imprégnation (les supports PVC/MEC et le Mylar). Seuls les filtres en profondeur, en fibres de quartz ou de verre peuvent être utilisés à cette fin. Dans ce cas, une attention particulière doit être portée aux distributions granulométriques déterminées étant donné que l'épaisseur des supports influence de manière significative l'écoulement au sein de l'impacteur, et donc la trajectoire des particules. La distribution granulométrique peut ainsi se trouver décalée vers des diamètres aérodynamiques plus importants.

SYNTHESE ET OUTIL D'AIDE A LA DECISION

Il n'existe donc pas d'impacteur qui puisse répondre à toutes les situations rencontrées et/ou les besoins (métrologiques notamment).

Le Tableau 2 est une proposition de synthèse afin de déterminer l'impacteur en cascade le plus adapté en fonction de différents critères d'intérêt.

Tableau 2 : Outil d'aide à la décision « Choix d'un impacteur en cascade »

		Mini-MOUDI 135-8	Sioutas	Marple
Nature de l'aérosol	Distribution dispersée (Plusieurs modes de l'aérosol)	+	-	+
	Aérosol avec MMAD $\leq 0,5 \mu\text{m}$	++	+	-
	Aérosol avec MMAD entre $0,5 \mu\text{m}/5 \mu\text{m}$	++	-	+
	Aérosol avec MMAD $\geq 5 \mu\text{m}$	++	-	++
	Aérosol concentré	+	-	+
	Aérosol peu concentré	-	++	-
Analyse	Nombre d'échantillons à traiter (Charge analytique)	-	++	-
	Graissage des supports aisé	+	+	-
	Supports adaptés aux analyses gravimétriques (sensibilité)	+	+	-

COMMENT PRELEVER AVEC UN IMPACTEUR EN CASCADE ?

PREPARATION DES SUPPORTS D'IMPACTION

Des travaux menés à l'INRS ont permis d'optimiser le protocole de graissage des supports d'impaction (nature de la graisse, quantité déposée et mode de dépôt) afin de proposer une méthode de prélèvement reproductible, efficace et facile à mettre en œuvre. Les résultats de ces travaux sont synthétisés dans [2].

Rappel : les filtres terminaux ne sont pas graissés (étage de filtration).

Les préconisations qui suivent ont été déterminées lors d'essais menés principalement avec des supports PVC (avec les impacteurs S et MMI) du fait de leurs performances intéressantes en matière d'analyse gravimétrique. La procédure peut être adaptée aux autres membranes ou supports.

NB : Les filtres en profondeur (fibres de quartz ou fibres de verre par exemple) ne sont pas concernés par le graissage car ces supports restent peu sensibles au phénomène de rebond. Une attention particulière sera

cependant portée sur l'épaisseur de ces supports. Des essais ont effectivement montré qu'une épaisseur critique, de 80 μm par exemple dans le cas du MMI, ne doit pas être dépassée au risque de fausser les distributions granulométriques de plus de 10 % (les particules devant être entraînées sont en effet susceptibles de s'impacter sur un support trop épais).

Préparation des membranes PVC

- ◆ Les membranes sont soumises à un traitement préalable au triton afin d'éliminer les charges électrostatiques développées en surface qui peuvent être responsables d'une sous-estimation de la masse des particules collectées. Cette opération préalable est décrite dans la fiche du guide MétroPol intitulée « [Analyse gravimétrique](#) ».
- ◆ L'étude de l'influence de la face de la membrane en PVC (lisse ou mate) sur l'efficacité du graissage lors du prélèvement ne montre pas de différence significative. Le repérage de la face des supports PVC n'est donc pas nécessaire.

NB : La méthode MétroPol M-439 dédiée à l'analyse chimique des prélèvements réalisés avec un MMI décrit la procédure de préparation des supports. Cette méthode comporte notamment des informations relatives à un système de découpe des supports, développé par l'INRS, permettant d'évider de manière reproductible plusieurs supports en même temps. Ce système est adapté à des supports de différentes nature (PVC, esters de cellulose, filtres en fibres de quartz, etc.).

Préparation de la suspension de graisse et stabilité

- ◆ La graisse de silicone pour vide utilisée dans le cadre de nos essais (« Dow Corning® high vacuum grease ») donne des résultats concluants en termes de reproductibilité des prélèvements et de stabilité sous flux d'air propre.
- ◆ Faire une solution graisse/heptane à 7,5 % en masse dans un flacon en verre. Lors de la mise en place de la procédure, des essais peuvent être menés en ajoutant quelques gouttes d'un colorant miscible dans l'heptane (bleu de méthylène dilué par exemple). Cela permet de mettre en évidence l'homogénéité du dépôt et d'évaluer visuellement la conformité de la surface devant être graissée.
- ◆ Fermer le flacon et homogénéiser l'ensemble avec un agitateur magnétique jusqu'à dispersion totale de la graisse (compter environ 1 à 2 heures selon le mode d'agitation). L'agitation doit être maintenue jusqu'au dépôt de la suspension graisse/heptane car l'arrêt de l'agitation peut entraîner l'apparition de particules qui dégradent les conditions de dépôt de la graisse et donc le prélèvement ultérieur.

Un essai de vieillissement de la graisse après dépôt sur les membranes a été mené. Un prélèvement de fumées de soudage par impaction en cascade 2,5 mois après avoir effectué le dépôt de graisse ne montre pas de différence significative entre les deux distributions obtenues (membranes avec graisse déposée à J+2 et à J+75). Les supports PVC graissés sont donc stables au moins pendant 2,5 mois dans des conditions de stockage standard (dans des boîtes fermées et à une température moyenne de 20°C).

Procédure de dépôt de la graisse sur les supports

Il convient de déposer une épaisseur minimale de graisse (hors solvant) de 9 μm , selon Pak et al. [5], sur la surface du support destiné à collecter les particules. Deux modes de dépôt peuvent être utilisés en fonction des impacteurs : trempage (immersion) dans la suspension (adapté aux supports MMI et S), ou dépôt par spray (adapté aux supports des trois impacteurs considérés).

La quantité de graisse déposée peut être estimée par pesée (avant/après graissage) en tenant compte de la densité de la graisse utilisée. La masse de graisse déposée sera donc fonction du mode de dépôt.

NB : Dans les deux cas, il est fortement conseillé d'effectuer un contrôle de la masse déposée par analyse gravimétrique (avant/après graissage). L'heptane étant très volatil (tension de vapeur de 5,33 kPa à 22 °C) ces pesées de contrôle de la masse déposée peuvent être effectuées quelques minutes après le dépôt. //

convient ensuite de conditionner les supports avant analyse gravimétrique selon la procédure décrite dans la fiche MétroPol intitulée « [Analyse gravimétrique](#) ». Les blancs de laboratoire et de terrain seront constitués de supports graissés.

Par trempage (immersion) dans la suspension (pour les supports du MMI et S)

L'[annexe 1](#) illustre l'ensemble de la procédure de graissage préconisée pour la préparation des supports MMI. Cette procédure est transposable aux supports de l'impacteur Sioutas, mais non adaptée aux supports Mylar (en PET) de l'impacteur Marple. Il s'agit d'immerger rapidement (moins d'une seconde) uniquement le demi disque plein dans la suspension. Les deux demi-faces pleines (recto/verso) sont ainsi graissées. La masse déposée doit donc être au moins deux fois plus importante que celle calculée pour une épaisseur de 9 µm sur une seule face.

La quantité de graisse déposée sera ajustée en fonction du temps de contact avec la suspension. Des prélèvements effectués avec les impacteurs MMI et S (tests sous flux d'air propre pendant 8 heures) ne montrent pas de perte de graisse significative ce qui signifie que la graisse de la face du support en contact avec le plateau n'est pas transférée sur ce dernier.

A titre d'information, voici les masses de graisse (basée sur la densité de la graisse Dow Corning) devant, a minima, être déposées sur les surfaces pour les supports des impacteurs MMI et S (avec une tolérance de 10 % tout en privilégiant une masse plus importante que la consigne) :

- ▶ Sioutas ≈ 9,7 mg
- ▶ Mini-MOUDI 135-8 ≈ 10,7 mg

Dépôt par spray (pour les supports des trois impacteurs)

Dans ce cas, la suspension de graisse sera transférée, post agitation, dans un flacon (idéalement en verre) muni d'une pompe spray (pulvérisateur/vaporisateur, cf. Figure 15). L'homogénéité du dépôt pourra être optimisée en adaptant le ratio graisse/heptane selon les caractéristiques de la pompe/buse du spray. Des masques de graissage (cf. exemples Figure 16) sont utilisés afin de pulvériser uniquement les zones identifiées. Certains masques sont commercialisés. Ils peuvent être également réalisés à l'aide d'une simple plastifieuse (ex support MMI Figure 16) ou d'une imprimante 3D (ex support MA Figure 16).



Figure 15 : Exemples de flacons avec pompe spray (pulvérisateur)



Figure 16 : Exemples de masques de graissage pour, de gauche à droite, les supports MMI, MA et S (photo DEKATI®)

La Figure 17 illustre les zones devant, a minima, être graissées pour l'ensemble des supports d'impaction des trois dispositifs.

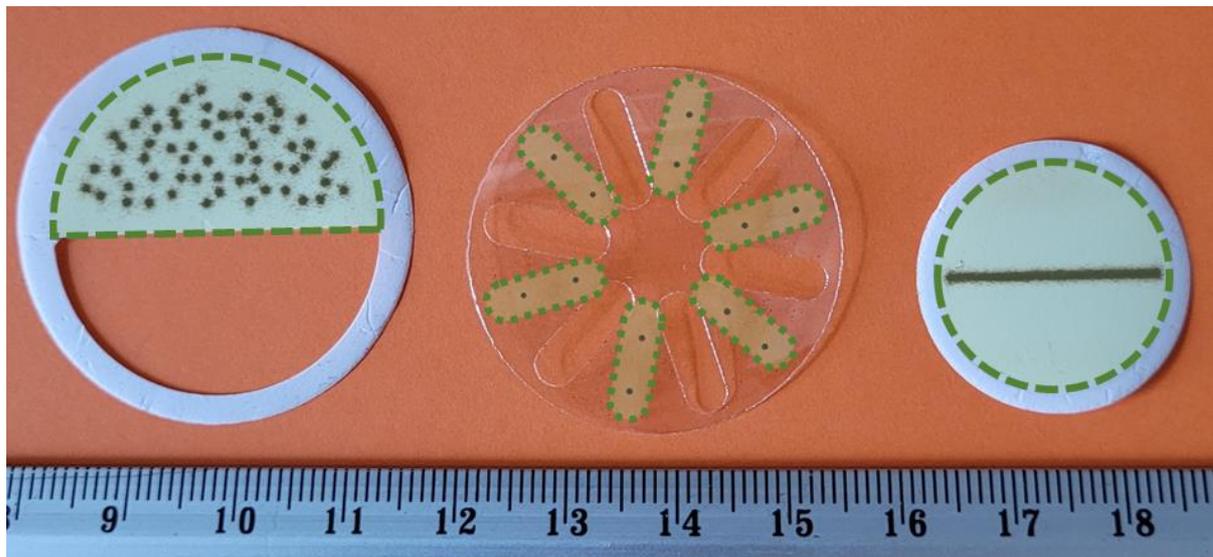


Figure 17 : La zone en vert et délimitée par des pointillés représente la surface devant être graissée pour, de gauche à droite, les supports d'impaction des impacteurs MMI, MA et S

À titre d'information, voici les masses de graisse (basée sur la densité de la graisse Dow Corning) devant, a minima, être déposées pour les surfaces dites « effectives » (cf. Figure 17) pour les supports des trois impacteurs (avec une tolérance de 10 % tout en privilégiant une masse plus importante que la consigne) :

- ▶ Sioutas $\approx 2,8$ mg
- ▶ Marple $\approx 2,2$ mg
- ▶ Mini-MOUDI 135-8 ≈ 3 mg

Si possible, maintenir l'agitation dans le pulvérisateur durant l'opération de graissage entre les pulvérisations. Après utilisation, le pulvérisateur et les masques de graissage pourront être dégraissés et nettoyés avec de l'isopropanol ou tout autre solvant adapté.

CONDITIONNEMENT DES SUPPORTS DANS LE DISPOSITIF

Les supports (supports graissés + filtre terminal) seront positionnés dans le dispositif idéalement en laboratoire. Il est recommandé, notamment dans le cas de l'impacteur MA, d'effectuer un test de quelques minutes sous flux d'air propre avant prélèvement afin de s'affranchir d'éventuels problèmes de positionnement des supports. En effet un léger décalage peut générer des pertes de charge que la pompe ne pourra pas compenser.

PRELEVEMENT SUR LE TERRAIN

Rappelons que l'impaction, et donc les différents étages constitués par les plateaux d'impaction avec le support et les jet plates, ne présente pas ou peu de pertes de charge. Les pompes de prélèvement devront donc être en capacité de gérer les pertes de charge essentiellement générées par le filtre terminal (notamment dans le cas d'atmosphères avec des concentrations importantes de particules submicroniques). Certaines pompes de prélèvement renseignent le volume de prélèvement effectif ; cela peut être d'intérêt en cas d'arrêt de la pompe dans une atmosphère trop chargée.

La vérification du débit du dispositif de prélèvement nécessite, pour les impacteurs MA et MMI, un adaptateur conique spécifique (voir un exemple sur la Figure 18).



Figure 18 : Exemple d'un adaptateur conique pour la prise de débit sur MMI et MA

Le temps de prélèvement sera fonction de l'empoussièrement. En effet, il s'agit de prélever suffisamment de particules pour que la masse soit supérieure à la limite de quantification (LQ) de l'analyse gravimétrique tout en respectant une charge maximale inférieure à 1 mg sur un étage d'impaction, afin d'éviter le réentraînement des particules voire un dépôt excessif sur les parois du dispositif.

En parallèle des prélèvements par impacteur en cascade, en fonction des objectifs de mesurage, il peut être intéressant d'utiliser :

- ◆ Un appareillage de mesure en temps réel (photomètre) afin d'estimer la charge des supports lors du prélèvement,
- ◆ Un prélèvement avec analyse en différé de la fraction inhalable et/ou alvéolaire (cf. méthodes MétroPol associées) qui permette de compléter l'information sur l'exposition du travailleur.

Notons qu'il est possible de réaliser plusieurs prélèvements avec le même dispositif sur le terrain moyennant :

- ◆ Un environnement/local dédié propre,
- ◆ L'utilisation de boîtes de transport appropriées pour les supports graissés (cf. section Transport),
- ◆ Un nettoyage minutieux du dispositif entre deux prélèvements.

DECONDITIONNEMENT DES SUPPORTS

- ◆ Ouvrir avec précaution les dispositifs puis retirer les supports de prélèvement avec une pince, en prenant soin de ne pas perdre de particules (notamment lorsque l'on retire la bague de serrage des plateaux d'impaction de l'impacteur Sioutas).
- ◆ Déposer les supports prélevés dans les boîtes de transport ou boîtes de pétri (cela peut être les mêmes boîtes que celles utilisées lors de la pesée initiale) en prenant bien soin de repérer les étages correspondants aux différents supports.
- ◆ Procéder à l'analyse des supports.

PROTOCOLE DE RECUPERATION DES DEPOTS SUR LES PAROIS PAR ESSUYAGE

Les dépôts sont essentiellement observés sous les orifices des jets plates.

Dans certains cas, notamment lorsqu'une analyse chimique des supports d'impaction est envisagée, il peut être intéressant d'évaluer la contribution de ces dépôts.

La méthode MétroPol M- 439 propose un protocole de prélèvement et d'analyse des dépôts de particules métalliques.

PROTOCOLE DE NETTOYAGE DES DISPOSITIFS

Les préconisations pour la décontamination et le nettoyage d'un impacteur en cascade sont les suivantes :

- ◆ Sur le terrain : avec de l'isopropanol et un essuyage. Attention cependant à ne pas appliquer de l'isopropanol sur les joints.
- ◆ En laboratoire : mélange eau/isopropanol (10 % d'isopropanol en volume) associé à des ultrasons (30 min) pour les parties métallique/plastique (bague de serrage). S'il y a des joints, il convient de les laisser en place (afin d'éviter des pertes d'étanchéité du système liées à leurs manipulations fréquentes) et de nettoyer l'ensemble du dispositif avec de l'eau associée à des ultrasons (30 min) avant de réaliser des rinçages successifs avec de l'eau. Dans les deux cas, le séchage se fait à l'étuve (au moins 4h à 40°C).

TRANSPORT

Les dispositifs, une fois le prélèvement réalisé, peuvent être transportés en l'état (pas de précautions particulières hormis un positionnement vertical). Des essais en laboratoire ont démontré, en effet, que les particules prélevées sur des supports graissés sont stables. Des supports graissés, selon la procédure décrite ici, et avec une masse de particules prélevées de l'ordre de 0,5 mg ont été positionnés dans des boîtes de transport en matière plastique, avec ergots de maintien, (« porte filtre » Tecora). Les supports ont été soumis à deux types d'agitations/vibrations durant 8h afin de simuler les effets du transport (Figure 19) : le Rotator Genie Scientific Industries avec rotation à 360° (35 rpm) et le Vibramax 100 Heidolph (750 rpm) à vibrations dans un mode elliptique. Les supports ont été pesés avant et après agitation en respectant la durée de conditionnement nécessaire en salle de pesée.



Figure 19 : Photographies des appareillages utilisés pour les tests de stabilité : Rotator (à gauche) et Vibramax (à droite)

L'agitation n'influence pas la stabilité des supports prélevés quel que soit le mode d'agitation. Au vu de ces résultats, les supports sont donc considérés comme stables dans le conditionnement tel que décrit ici.

ANALYSES DES SUPPORTS

L'analyse gravimétrique, non destructive, sera effectuée en premier lieu. Elle permettra ainsi d'établir la distribution granulométrique en masse.

ANALYSE GRAVIMETRIQUE

Cette analyse est effectuée selon la procédure définie dans le guide méthodologique MétroPol « [Analyse gravimétrique](#) » avec :

- ▶ Pesées avant et après prélèvement,
- ▶ Conditionnement au moins 12h en salle de pesée,
- ▶ Élimination des charges électrostatiques des supports,
- ▶ Détermination des LQ.

Les masses déterminées doivent être corrigées de la variation des témoins graissés dans les mêmes conditions.

Les LQ obtenues lors d'analyses gravimétriques sont bien évidemment fonction de la précision analytique de la balance utilisée, des conditions environnementales dans lesquelles les pesées ont été effectuées mais aussi des supports utilisés (nature, fournisseur, lots...), elles devront donc être déterminées selon le guide MétroPol « [Analyse gravimétrique](#) ». Les essais ont confirmé l'intérêt du lavage au triton pour les supports PVC graissés (utilisés pour les prélèvements MMI et S).

NB : À titre indicatif, les LQ obtenues lors de travaux INRS sur les supports graissés cités dans cette fiche sont de l'ordre de 100 µg.

ANALYSES CHIMIQUES

Des analyses complémentaires peuvent être effectuées. Elles visent à identifier et, selon la sensibilité de la méthode, à quantifier les composés en présence sur chaque étage d'impaction. Elles sont donc postérieures aux analyses gravimétriques.

Pour effectuer la détermination des métaux et métalloïdes sur supports PVC graissés (pour prélèvements sur impacteurs MMI et Sioutas), il faut se référer à la méthode MétroPol [M-439](#).

D'autres analyses peuvent être envisagées en adaptant le protocole d'analyse qui sera fonction du/des composé(s) d'intérêt ainsi que de la nature du support d'impaction. Rappelons que des supports d'impaction types membranes en ester de cellulose, téflon ou filtres en fibre de quartz peuvent être utilisés.

TRAITEMENT, EXPLOITATION DES DONNEES

Un outil de traitement des données issues de ces prélèvements est proposé conjointement à ce guide sous format Excel « [Traitement données impacteurs.xlsx](#) ».

Une notice explicative de ce fichier est détaillée dans [l'annexe 2](#).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Burtscher H. (2005). "Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review." *Journal of Aerosol Science* 36(7): 896-932
- [2] Matera V., Gaudel N. et Bau S. (2022) Intérêts et optimisation des prélèvements d'aérosols par impacteurs en cascade, *Hygiène & Sécurité du travail*, n°269, p34-41.
- [3] Rousset et al. (2016). Métrologie des Particules Fines et Ultrafines en Environnement de Travail. 35^{èmes} journées nationales de santé au travail dans le BTP, Metz, France
- [4] Dazon et al. (2016). Dustiness of nanomaterial powders: comparison between the small rotating drum and the vortex shaker methods. *European Aerosol Conference*, Tours, France
- [5] Pak S. S., Liu B. Y. H., Rubow K. L. (1992) Effect of Coating Thickness on Particle Bounce in Inertial Impactors. *Aerosol Science and Technology*, 16, 141-150,
- [6] Norme EN 481 (1993) Atmosphères des lieux de travail - Définition des fractions de taille pour le mesurage des particules en suspension dans l'air. AFNOR, 13p.

AUTEURS

V. Matera, N. Gaudel, S. Bau, E. Pardieu

INRS, Métrologie des polluants (metropol@inrs.fr)

HISTORIQUE

Version	Date	Modification(s) faisant l'objet de la nouvelle version 102-102-204
V01	Mars 2024	Création

ANNEXE 1 : PROCEDURE DE GRAISSAGE

Le graissage des supports doit être réalisé sous sorbonne avec port de gants adaptés.

Lors de la mise en place de cette procédure, il est recommandé de peser le support avant et après immersions afin d'effectuer un contrôle approximatif de la masse. L'heptane étant très volatil (tension de vapeur de 5,33 kPa à 22 °C), ces pesées de contrôle de la masse déposée peuvent être effectuées quelques minutes après le dépôt.

Les étapes ci-dessous sont décrites pour les supports PVC du Mini-MOUDI 135-8 à titre d'exemple. La méthode est applicable aux autres types de supports à graisser.

- ◆ Utiliser une graisse silicone solide, faiblement volatile type « Dow Corning high vacuum grease® ».



Figure 20

- ◆ Diluer la graisse à 7,5 % en masse dans l'heptane et conditionner dans un flacon en verre hermétiquement fermé (veiller à garder la suspension sous agitation si elle doit être utilisée ultérieurement).



Figure 21

- ◆ Préparer les supports selon la procédure décrite dans cette fiche MétroPol (découpe éventuelle, lavage au triton des supports, ...). La découpe des disques Mini-MOUDI 135-8 avec l'emporte-pièce illustrée ci-dessous est détaillée dans la méthode M-439.



Figure 22

- ◆ Verser environ 5 mL de la suspension dans un récipient en verre, afin d'éviter l'évaporation du solvant.
- ◆ Effectuer le graissage par immersion du support (uniquement la moitié pleine du support) en laissant au contact de la suspension environ une seconde.

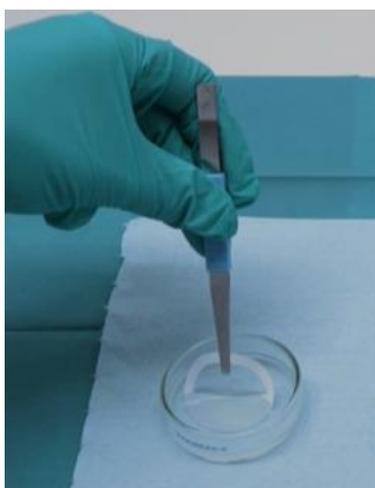


Figure 23

- ◆ Eviter tout contact du support pendant environ 30 secondes. Une fois ce temps écoulé, déposer le support sur un papier absorbant.

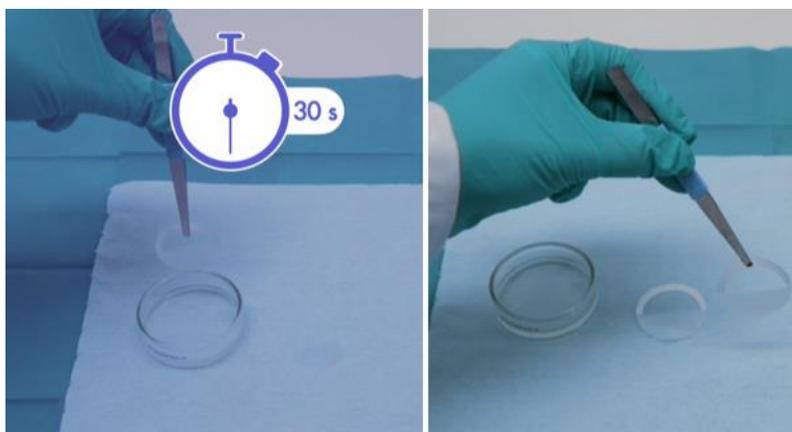


Figure 24

- ◆ Répéter, si besoin, cette opération autant de fois que nécessaire afin d'atteindre la masse cible de graisse, généralement 2 à 3 immersions suffisent.
- ◆ Refermer le récipient en verre pour limiter l'évaporation du solvant.
- ◆ Une fois que le support est redevenu opaque (solvant évaporé), le conditionner dans une boîte de transport identifiée.



Figure 25

- ◆ Effectuer la pesée initiale du support, selon la procédure d'analyse gravimétrique du laboratoire, ou en suivant la fiche du guide méthodologique « Analyse gravimétrique ».
- ◆ Positionner les supports sur chaque plateau d'impaction, du dispositif dédié (dans le cas du MMI la partie pleine du support doit être positionnée sur la partie pleine du plateau d'impaction, l'aérosol pourra ainsi circuler librement à travers les orifices).

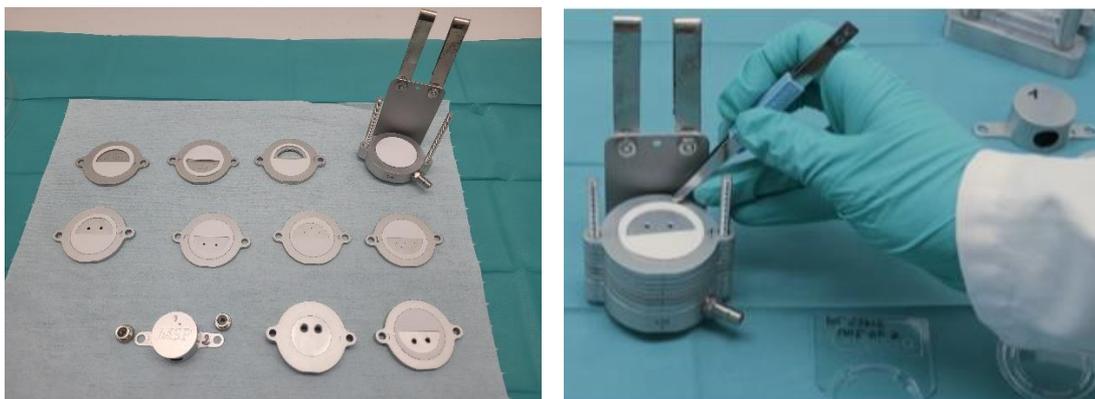


Figure 26

ANNEXE 2 : AIDE AU TRAITEMENT ET EXPLOITATION DES DONNEES

Ce qui suit a pour objectif d'apporter une aide à l'utilisation du fichier Excel de traitement des données issues des prélèvements par impacteur en cascade afin de représenter graphiquement les résultats et de déterminer un indicateur d'intérêt de la granulométrie obtenue.

Ce fichier est utilisable pour les trois types d'impacteurs en cascade présentés dans ce guide. Ainsi, les informations relatives aux étages de collecte de chacun des impacteurs en cascade, c'est à dire les diamètres de coupure des étages, sont d'ores et déjà complétées. Un rappel sur le débit nominal de prélèvement est également fait.

Chaque impacteur en cascade est associé à un onglet qui fonctionne de manière identique avec, de gauche à droite :

- ▶ Une première partie dédiée aux commentaires et aux conditions de prélèvement,
- ▶ Une seconde partie à la consignation des résultats en masse provenant d'une analyse gravimétrique ou chimique avec leurs représentations graphiques (histogramme en masse, histogramme normalisé et courbe de fréquences cumulées),
- ▶ Une troisième partie avec les mêmes résultats exprimés en concentration massique avec leur représentation graphique sous forme d'histogramme.

Dans la suite, chaque partie sera explicitée séparément. Dans ce fichier, seules les cases **surlignées en orange** sont à compléter obligatoirement.

Remarque : les résultats ne peuvent pas être associés à des fractions conventionnelles sans post-traitement.

INFORMATIONS GENERALES

Un onglet « Informations » permet de rappeler à quoi ce fichier fait référence. Une partie sur les informations relatives au prélèvement est proposée, et facultative, et permet à l'utilisateur de compléter ces dernières si besoin (Figure 27).

Informations générales

Ce fichier d'aide pour le traitement des données issues de prélèvement par impacteur en cascade est accompagné d'une notice explicative.

Les informations relatives à ce type de prélèvement peuvent être retrouvées dans le guide MétroPol "Prélèvement des aérosols par impacteur en cascade" : <https://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-aerosols-impacteurs/metropol-prelevement-aerosols-impacteurs.pdf>

Informations sur le prélèvement

Cette partie est facultative et l'utilisateur a la possibilité de compléter les informations.

Date	xx/xx/xxxx
Lieu	

Figure 27 : Premier onglet « Informations » disponible, si besoin, afin de renseigner les informations relatives au prélèvement

CONDITIONS DU PRELEVEMENT

Cette partie explicite les informations relatives au prélèvement réalisé (Figure 28). Il est indispensable de compléter les cases surlignées en orange : le temps de prélèvement en minutes, le débit de prélèvement initial et celui final en litre par minute.

Des indications générales sur l'outil sont proposées.

Fichier de traitement du Mini-MOUDI 135-8

Commentaires :

Tps de prél (min)	240
Tps de prél (s)	14400
Débit de prél initial (L/min)	2
Débit de prél final (L/min)	2
Débit de prél (L/min)	2
Débit de prél (m ³ /s)	3,33E-05
Volume d'air prélevé (m ³)	0,48
Rappel : débit nominal (L/min)	2

Infos :

• Les cases oranges sont à compléter ou peuvent être modifiées.

- Si la masse collectée après correction par les blancs est soit négative soit inférieure à la limite de quantification (LQ), il convient de noter zéro.
- Tous les diamètres sont des diamètres aérodynamiques.
- MMAD = Mass Median Aerodynamic Diameter est calculé par interpolation linéaire (d50 de la fréquence cumulée).

Bibliographie :

HINDS and ZHU, *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*, 2022

Figure 28 : Exemple de la partie 1 du fichier de traitement avec les informations indispensables à compléter sur les conditions de prélèvement, et des indications générales

EXPRESSION DES RESULTATS EN MASSE & REPRESENTATIONS GRAPHIQUES ASSOCIEES

Expression des résultats

Cette partie consiste à traiter les résultats obtenus en masse, que ce soit par analyse gravimétrique ou analyse chimique (Figure 29). Il est indispensable de compléter les masses collectées pour chaque étage d'impaction, et de les renseigner en mg (cf. cases surlignées en orange). Si la masse collectée après correction par les blancs est soit négative soit inférieure à la limite de quantification (LQ), il convient de noter zéro.

Traitement des données en masse provenant d'une analyse gravimétrique ou chimique

Etage	Diamètre inférieur de l'étage (µm)	Diamètre supérieur de l'étage (µm)	Masse (mg)	Cumulée	MMAD (µm)	MMAD (nm)
Filter term	0.01	0.18	0.15	0	0.43	428
8	0.18	0.32	0.23	0.13		
7	0.32	0.56	0.41	0.34		
6	0.56	1.00	0.21	0.70		
5	1.00	1.80	0.07	0.88		
4	1.80	3.20	0.03	0.94		
3	3.20	5.60	0.01	0.96		
2	5.60	10.00	0.02	0.98		
1	10.00	20.00	0.01	0.99		
Masse totale prélevée (mg)				1.00		
				1.15		

Figure 29 : Exemple de la partie 2 du fichier de traitement avec les informations indispensables à compléter sur les masses obtenues par analyse gravimétrique ou chimique (mg) pour chaque étage de l'impacteur en cascade. L'outil propose une expression des résultats sous forme de fréquences cumulées (« Cumulée »), et calcule la masse totale prélevée ainsi que la valeur du MMAD (μm et nm)

Cette partie du fichier propose des informations complémentaires. La masse totale prélevée est calculée mais ne doit rester qu'un indicateur vis-à-vis de la réglementation puisque les prélèvements par impacteur en cascade ne sont pas représentatifs d'une fraction conventionnelle donnée (cf. guide méthodologique MétroPol « [Prélèvement d'aérosols. Généralités](#) » et norme EN 481 [6]). À partir des données en masse, les fréquences cumulées en masse sont également calculées de la manière suivante, pour l'étage i :

$$f_{cumul,i} = \frac{1}{m_{totale}} \sum_{j=1}^i m_j = \frac{\sum_{j=1}^i m_j}{\sum_{j=1}^N m_j}$$

Avec m_{totale} la masse totale d'aérosol collecté, N le nombre total d'étages de l'impacteur en cascade utilisé, et m la masse collectée sur l'étage considéré.

La courbe des fréquences cumulées représente, pour un diamètre de particule donné, la fraction de particules inférieures à ce diamètre ; elle varie entre 0 et 1.

À partir des fréquences cumulées, il est possible de déterminer un indicateur d'intérêt qu'est le MMAD (diamètre aérodynamique médian en masse), proposé en μm et en nm . Cet indicateur signifie que 50 % de la masse collectée est constituée par des particules de diamètre de taille inférieur à ce MMAD, et 50 % par des particules de diamètre de taille supérieur. Il se révèle utile pour comparer deux aérosols en termes de taille de particules.

Représentations graphiques

Histogramme en masse. Une représentation graphique des résultats (Figure 30) est proposée sous forme d'un histogramme de la masse (mg) en fonction du diamètre aérodynamique des particules (μm). Les limites des classes de l'histogramme étant les diamètres de coupure des différents étages d'impaction relatifs à l'impacteur en cascade utilisé.

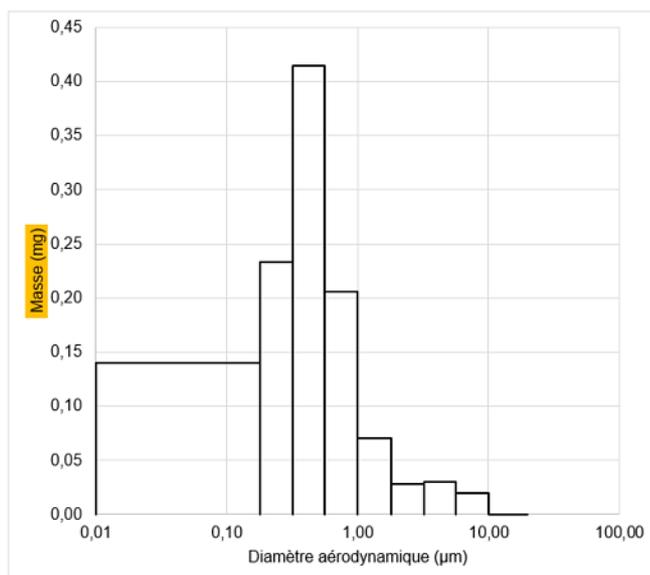


Figure 30 : Exemple de la représentation graphique d'un histogramme de la masse (mg) en fonction du diamètre aérodynamique (μm)

Histogramme normalisé et courbe des fréquences cumulées. Une représentation intermédiaire sous forme d'histogramme normalisé et de courbe des fréquences cumulées est également proposée (Figure 31).

L'histogramme normalisé prend en compte la largeur de la classe de diamètres de chaque étage (bornes inférieure et supérieure de l'étage i notées d_i^{inf} et d_i^{sup}), et normalise par la masse totale collectée. Cette valeur est calculée de la manière suivante pour l'étage i :

$$f_{M,i} = \frac{\frac{m_i}{m_{totale}}}{largeur_i} = \frac{\frac{m_i}{m_{totale}}}{\log(d_i^{sup}) - \log(d_i^{inf})}$$

Cette représentation est souvent utilisée et permet de comparer un prélèvement à un autre en termes de distribution granulométrique puisqu'elle s'affranchit de la valeur absolue de la masse collectée. Les histogrammes d'un prélèvement à l'autre peuvent alors être, dans un second temps et à la main de l'utilisateur, superposés et comparés.

La courbe des fréquences cumulées est une représentation du prélèvement qui permet d'objectiver, même visuellement, la part de masse totale qui se situe en-dessous ou au-dessus d'un diamètre aérodynamique donné. Par exemple, la masse est portée à x % par des particules de diamètre supérieur/inférieur à un diamètre de x μm .

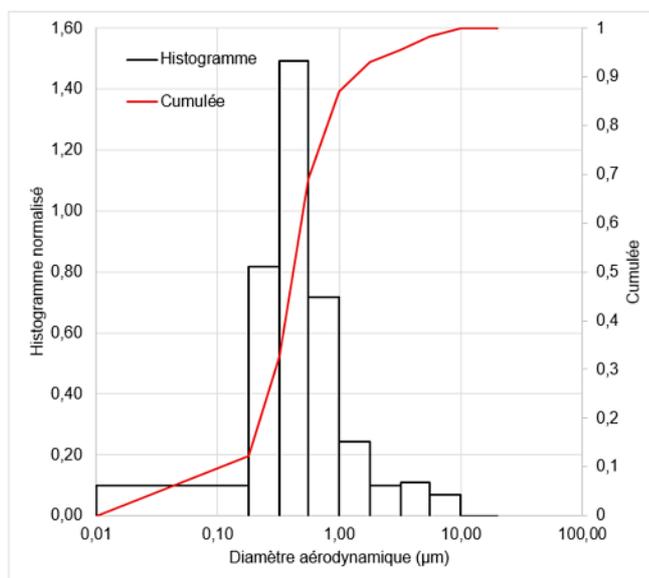


Figure 31 : Exemple de la représentation graphique d'un histogramme normalisé ainsi que sa fréquence cumulée en masse en fonction du diamètre aérodynamique (μm)

RESULTATS EN CONCENTRATION MASSIQUE

Cette partie propose de traiter les résultats obtenus en concentration massique, que ce soit par analyse gravimétrique ou analyse chimique (Figure 32). Dans cette partie, rien ne doit être complété. En effet, à partir de la durée, du débit de prélèvement (partie 1) et des masses renseignées en partie 2, il est possible de calculer la concentration massique sur chaque étage de l'impacteur en cascade. Comme écrit précédemment, même si la concentration massique totale prélevée par l'impacteur en cascade est calculée, elle n'est pas opposable à une valeur limite d'exposition professionnelle puisque ce prélèvement est non représentatif d'une fraction conventionnelle liée à la santé.

Une représentation graphique des résultats est proposée sous forme d'un histogramme de la concentration

massique (mg/m^3) en fonction du diamètre aérodynamique des particules (μm). Les limites des classes de l'histogramme étant les diamètres de coupures des différents étages d'impaction relatifs à l'impacteur en cascade utilisé.

Traitement des données en concentration massique provenant d'une analyse gravimétrique ou chimique

Etage	Diamètre inférieur de l'étage (μm)	Diamètre supérieur de l'étage (μm)	Concentration massique (mg/m^3)
Filtre term	0.01	0.18	0.16
8	0.18	0.32	0.24
7	0.32	0.56	0.43
6	0.56	1.00	0.21
5	1.00	1.80	0.07
4	1.80	3.20	0.03
3	3.20	5.60	0.02
2	5.60	10.00	0.02
1	10.00	20.00	0.01
Cm totale prélevée (mg/m^3)			1.19

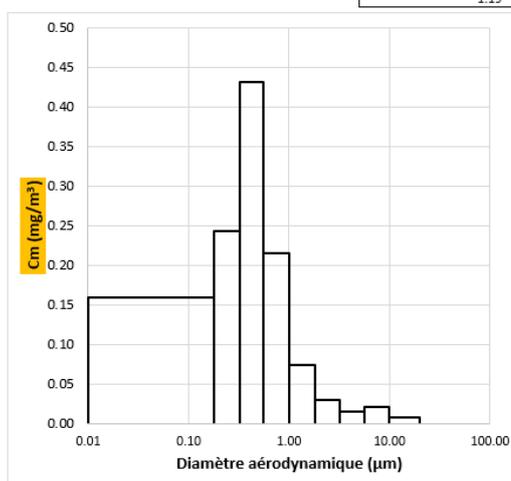


Figure 32 : Exemple de la partie 3 du fichier de traitement où la concentration massique (mg/m^3) est calculée pour chaque étage de l'impacteur en cascade, et une représentation graphique est proposée sous forme d'histogramme de la concentration massique (mg/m^3) en fonction du diamètre aérodynamique (μm)