

FICHE 6 : INVESTIGATION MENEES SUR LES POLLUANTS  
PARTICULAIRES

<b>Sommaire</b>
-----------------

- 1. Poursuite de l'étude concernant les caractéristiques de l'aérosol particulaire**
- 2. Utilisation du disperseur de poudre**
- 3. Utilisation des différents systèmes de comptage avec les PM10 et PM2,5**
  - 3.1. Objectif**
  - 3.2. Rappels de quelques définitions**
    - 3.2.1. Matières en suspension dans l'air
    - 3.2.2. Têtes de prélèvement
    - 3.2.3. Diamètre aérodynamique
    - 3.2.4. Diamètre optique
    - 3.2.5. Diamètre médian
    - 3.2.6. Perméance d'une tête de prélèvement
  - 3.3. Principe**
  - 3.4. Descriptifs des matériels utilisés**
    - 3.4.1. Compteur de noyaux de condensation ( CNC)**
    - 3.4.2. Compteur optique de particules ( COP)**
    - 3.4.3. Spectromètre laser de type APS**
  - 3.5. Essais réalisés avec le système têtes de prélèvement / CNC**
    - 3.5.1. Schéma de montage
    - 3.5.2. Mode opératoire
    - 3.5.3. Résultats expérimentaux
    - 3.5.4. Interprétation des résultats
    - 3.5.5. Conclusion
  - 3.6. Essais réalisés avec le système têtes de prélèvement / COP**
    - 3.6.1. Schéma de montage
    - 3.6.2. Mode opératoire
    - 3.6.3. Résultats expérimentaux
    - 3.6.4. Interprétation des résultats
    - 3.6.5. Conclusion
  - 3.7. Essais réalisés avec le système têtes de prélèvement / APS**
    - 3.7.1. Schéma de montage
    - 3.7.2. Mode opératoire
    - 3.7.3. Résultats expérimentaux
    - 3.7.4. Interprétation des résultats
    - 3.7.5. Conclusion
  - 3.8. Conclusion générale**

## **1. Poursuite de l'étude concernant les caractéristiques de l'aérosol particulaire**

Pour la deuxième année consécutive, une campagne de mesure a été effectuée pour déterminer la granulométrie, les concentrations en nombre et en masse des particules ainsi que la composition chimique de l'aérosol atmosphérique sur deux sites (Issy les moulineaux et Fontainebleau).

Le site d'Issy les moulineaux a été choisi en tant que site de fond et Fontainebleau en tant que site rural.

La campagne sur Issy les moulineaux a eu lieu du 5 au 19 Juin 2001 et a été suivie de la campagne à Fontainebleau du 20 juin au 4 juillet 2001.

Ces essais ont été effectués en collaboration avec Airparif.

Ces essais ont pour but d'établir une corrélation entre la granulométrie et la composition chimique de l'aérosol.

Les résultats sont en cours de dépouillement.

## **2. Utilisation du disperseur de poudre**

Le disperseur de poudre est actuellement utilisée afin de mettre en place un système d'étalonnage des TEOM.

## **3. Utilisation des différents systèmes de comptage avec les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>**

Une étude sur les têtes de prélèvement PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> a été effectuée de façon à les caractériser (perméance fractionnelle et D<sub>50</sub>).

Afin de se rapprocher de leur utilisation au sein des réseaux de mesures de surveillance de la qualité de l'air, l'aérosol atmosphérique a été choisi comme matrice.

Cette étude s'établit en 2 étapes :

- une première étape en milieu fermé (salle climatisée et salle très empoussiérée) associée aux têtes de prélèvement PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>, un compteur de noyaux de condensation (CNC), un compteur optique de particules (COP) et un spectromètre laser de type APS.
- une seconde étape prévue sur le programme 2001/2002, en milieu ouvert (terrasse du LNE) va faire intervenir un tunnel de ventilation dans lequel seront disposés une tête PM<sub>10</sub> ou PM<sub>2,5</sub> et une canne isocinétique, reliées chacune à un APS.

Ce tunnel disposera d'un ventilateur permettant de faire varier la vitesse de l'air atmosphérique.

### 3.1. Objectif

L'objectif de cette étude, est de vérifier les spécifications du constructeur sur les têtes de prélèvement  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$  ( perméance fractionnelle et diamètre de coupure) en utilisant l'aérosol atmosphérique comme matrice.

### 3.2. Rappels de quelques définitions

- **matières particulaires dans l'air ambiant**

Ce sont des particules présentant dans l'air ambiant des vitesses de chute liées à leurs masses et à leurs dimensions. Selon la valeur de leur vitesse de chute, les particules peuvent être considérées comme sédimentables (diamètre supérieur à 2  $\mu m$ ) ou comme restant en suspension (diamètre inférieur à 2  $\mu m$ ). Par commodité, le terme particules sera subtilisé à celui de matières particulaires.

Les particules sédimentables se déposent sur les sols, les végétaux, les matériaux,... alors que les particules en suspension peuvent en particulier être inhalées et se retrouver en fonction de leurs diamètres et de leurs masses à différents niveaux de l'appareil respiratoire et notamment au niveau alvéolaire.

D'un point de vue épidémiologique, il n'était pas nécessaire d'effectuer de mesures massiques des particules en suspension dans l'air ayant un diamètre supérieur à 10  $\mu m$  car elles ne pénètrent pas le système respiratoire au-delà du larynx. Il a donc été fabriqué des têtes de prélèvement  $PM_{10}$  puis récemment des  $PM_{2,5}$ .

- **têtes de prélèvements**

Les têtes de prélèvement sont des dispositifs au travers desquelles sont aspirées des particules contenues dans l'air ambiant.

Leurs conceptions et leurs formes, associées à la valeur du débit d'échantillonnage, conditionnent l'aérodynamique d'entrée de l'air et donc des particules dans l'appareillage.

- **$PM_{10}$**

L'Agence pour la protection de l'environnement aux USA (EPA) a utilisé pendant un temps le terme « inhalable » pour ce qui est maintenant appelé « matière particulaire thoracique » ou «  $PM_{10}$  ». Il s'agit en fait, des particules inhalées pénétrant au-delà du larynx dont le diamètre aérodynamique est inférieur ou égal à 10  $\mu m$ .

- **$PM_{2,5}$**

Il s'agit des particules inhalées pénétrant dans les voies aériennes non ciliées dont le diamètre aérodynamique est inférieur ou égal à 2,5  $\mu m$ .

- **Diamètre aérodynamique**

L'aérosol atmosphérique, étant constitué de particules de formes irrégulières, dont les dimensions sont difficiles à apprécier, a imposé la nécessité de définir la notion de particules sphériques équivalentes, soit en volume, soit en comportement aérodynamique (Hinds, 1982).

Le diamètre aérodynamique d'une particule ( $Dp_a$ ) est le diamètre d'une sphère de masse volumique égale à 1  $g/cm^3$  et dont la vitesse de chute est égale à celle de la particule considérée, en absence de vent et de turbulences.

- **diamètre optique**

Il fait référence aux propriétés optiques des particules et notamment à la diffusion de la lumière par les aérosols.

- **diamètre médian**

Il faut distinguer le diamètre médian en nombre de celui en masse.

- ◆ Diamètre médian en nombre : c'est le diamètre tel que 50% des particules ont des dimensions qui lui sont supérieurs et 50% des particules ont des dimensions qui lui sont inférieurs.
- ◆ Diamètre médian en masse : la moitié de la masse totale de l'aérosol se trouve sur des particules de dimensions inférieures ou supérieures au diamètre médian en masse.

- **Perméance d'une tête de prélèvement**

La perméance est la probabilité qu'une particule de l'ambiance franchisse la tête de prélèvement. Elle dépend d'un certain nombre de facteurs dont le diamètre aérodynamique de la particule considérée. La valeur expérimentale de la perméance peut être éventuellement supérieure à 100% dans le cas où la tête de prélèvement utilisée a une conception entraînant des perturbations dans le microenvironnement (phénomène de turbulences par exemple).

- **Courbe de perméance fractionnelle**

La courbe de perméance fractionnelle est, pour une tête de prélèvement donnée, la courbe représentative des variations de la perméance en fonction de la taille des particules (toutes les autres conditions restant constantes).

- **Diamètre de coupure**

Une courbe de perméance fractionnelle est souvent caractérisée par le diamètre de coupure. Il est défini pour des conditions données par le diamètre aérodynamique des particules en suspension échantillonnées pour lequel la perméance est égale à 50%.

**Une tête de prélèvement est caractérisée par 2 facteurs : sa courbe de perméance fractionnelle et son diamètre de coupure ( $D_{50}$ ), le second dépendant du premier.**

C'est ce que nous allons déterminer dans cette étude.

### 3.3. Principe

Disposant d'un panel d'appareils renseignant la granulométrie ou la classe granulométrique des particules en suspension dans l'air, il a été jugé intéressant d'associer ces derniers aux têtes de prélèvements  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$ . C'est pourquoi, cette étude se divise en 3 phases.

- La première phase va consister en une vérification, très succincte du comportement des 2 têtes de prélèvement par l'utilisation d'un compteur de noyaux de condensation (CNC),
- La seconde phase va permettre de déterminer pour chacune des têtes, une courbe de perméance fractionnelle en fonction de classes granulométriques définies, ainsi que leur  $D_{50}$ , par l'utilisation d'un compteur optique de particules (COP).  
Les résultats expérimentaux qui seront donnés, ne devront être pris qu'à titre indicatif, puisque les têtes déterminent un diamètre aérodynamique des particules alors que le COP détermine un diamètre optique des particules,
- La troisième phase va consister en associant un spectromètre laser de type APS aux têtes, de déterminer la courbe de perméance fractionnelle de chacune des têtes et le  $D_{50}$  qui s'y rattache.

***Les essais s'effectueront alternativement avec 2 têtes  $PM_{10}$ , nommées par commodité  $PM_{10}$  n°1 et  $PM_{10}$  n°2 sur lesquelles viendra se greffer un insert cyclonique SCC (Sharp Cut Cyclone), pour obtenir une  $PM_{2,5}$ .***

***La matrice utilisée pour ces essais sera l'aérosol atmosphérique.***

### 3.4. Descriptifs des matériels utilisés

#### 3.4.1. Compteur de noyaux de condensation (cnc)

Le compteur de noyaux de condensation utilisé est un compteur de marque TSI, modèle 3022A, permettant de compter des particules de diamètre compris entre  $0,007 \mu\text{m}$  et  $3 \mu\text{m}$ , pour des concentrations en nombre comprises entre  $0,01 \text{ part}/\text{cm}^3$  et  $9,99 \cdot 10^6 \text{ part}/\text{cm}^3$ .

Le principe de fonctionnement est le suivant :

L'aérosol prélevé à  $5 \text{ cm}^3/\text{s}$  pénètre dans le saturateur, constitué d'un tube incliné dont l'extrémité plonge dans le réservoir de butanol. Après saturation de l'air en vapeur d'alcool à  $35^\circ\text{C}$ , l'échantillon prélevé entre dans le condenseur vertical maintenu à  $10^\circ\text{C}$ . Après grossissement des particules par condensation du butanol sur leur surface, les gouttelettes ainsi formées, pénètrent dans le volume optique, éclairé par le faisceau d'une diode laser. La lumière diffusée par les gouttelettes est envoyée sur une photodiode à bas bruit de fond.

Les figures 1 et 2 montrent respectivement le CNC et son schéma de fonctionnement.

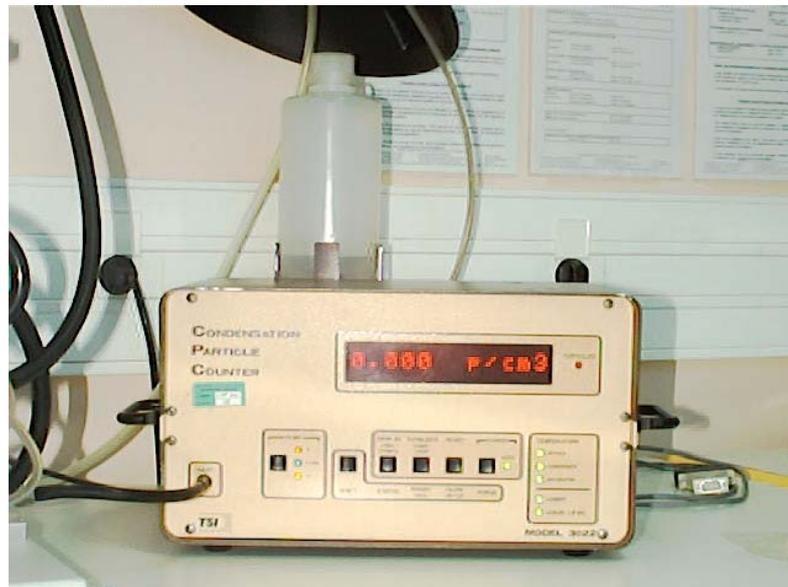


Figure 1 : Compteur de noyaux de condensation

TSI 3022A.

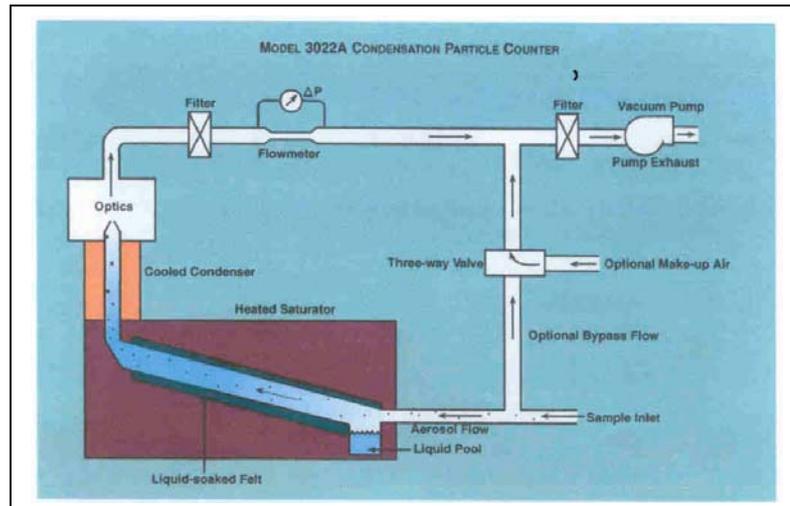


Figure 2 : Schéma de fonctionnement du CNC TSI 3022A.

### 3.4.2. compteur optique de particules (cop)

Un compteur optique de particules mesure les particules aéroportées sur un nombre de canaux relatifs à la taille des particules. Il affiche le nombre de particules sur chaque canal, soit en comptage cumulatif (sur tous les canaux), soit en comptage différentiel (sur chacun des canaux).

Le principe de fonctionnement est le suivant :

La pompe à air envoie l'échantillon d'air prélevé dans le volume sensible du capteur par l'intermédiaire d'un bec de canard (nozzle). Les particules de l'échantillon passent à travers le volume de détection optique où une émission laser est focalisée puis passe par un collimateur pour former un faisceau parallèle. Les particules diffusent ce faisceau laser qui est ensuite focalisé sur une photodiode. Cette dernière détecte et convertit le signal lumineux en impulsions électriques. La hauteur de ces impulsions est directement proportionnelle à la taille des particules. Les impulsions sont comptées et mesurées par une électronique de comptage contenant un microprocesseur. Ce microprocesseur affiche sur la face avant de l'appareil, le nombre de particules comptées sur les différents canaux de mesure.

Les compteurs optiques de particules donnent des informations dans la gamme de 0,05  $\mu\text{m}$  à 25  $\mu\text{m}$ .

Pour cette étude, il a été utilisé un COP de marque METONE, modèle 2408 6 canaux [0,3 – 0,5 – 1,0 – 3,0 – 5,0 – 10,0]  $\mu\text{m}$  avec une capacité volumique entrante de 28,3 l/min (=1 pied cube).

Les figures 3 et 4 montrent respectivement le COP et son schéma de fonctionnement.



Figure 3 : Compteur Optique de Particules

METONE 2408.

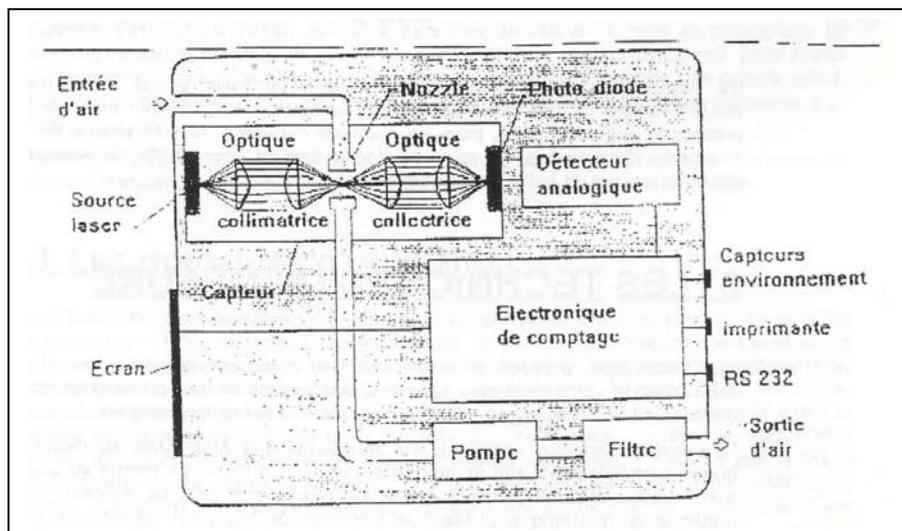


Figure 4 : Schéma de fonctionnement d'un COP.

### 3.4.3. Spectromètre laser de type aps (aerodynamic spectrophotometer sizer)

Le spectromètre laser utilisé dans le cadre de cette étude, est un APS de marque TSI, modèle 3320, qui permet de compter des particules de diamètre aérodynamique compris entre 0,5  $\mu\text{m}$  et 20,0  $\mu\text{m}$  (52 canaux = 52 diamètres aérodynamiques) pour des concentrations inférieures à 1000 part/cm<sup>3</sup>, avec une capacité volumique entrante de 5 l/min.

Le principe de fonctionnement est le suivant :

L'échantillon entrant est accéléré à travers un orifice de très faible diamètre. Le diamètre aérodynamique de la particule est fonction de son accélération ; plus les particules sont grosses, plus l'accélération est faible à cause de leur inertie.

A la sortie de l'orifice, les particules traversent 2 faisceaux laser se chevauchant partiellement dans la zone de détection. La lumière est diffusée à chaque fois qu'une particule passe à travers les faisceaux.

Un miroir elliptique placé à 90° de l'axe du faisceau laser collecte la lumière et la renvoie sur un photodétecteur à avalanche (APD) qui convertit les signaux lumineux en signaux électriques.

Quatre événements peuvent alors se produire :

- l'événement 1 mesure les particules inférieures à 0,523  $\mu\text{m}$  (le diamètre des particules ainsi déterminé, est un diamètre optique),
- l'événement 2 mesure les particules dites valides où le temps de vol mesuré répond aux critères du système (détermination du diamètre aérodynamique des particules compris entre 0,542  $\mu\text{m}$  et 19,810  $\mu\text{m}$ ),
- l'événement 3 mesure les effets de coïncidence, c'est-à-dire la probabilité que 2, 3 ou plus de particules, s'agglomèrent et viennent à traverser les 2 faisceaux laser, faussant ainsi le résultat,
- l'événement 4 mesure les particules supérieures à 20  $\mu\text{m}$ .

Le logiciel associé, ne valide que les données mesurées pendant les deux premiers événements.

Les figures 5 et 6 montrent respectivement l'APS et son schéma de fonctionnement.



Figure 5 : Spectromètre laser APS TSI 3320.

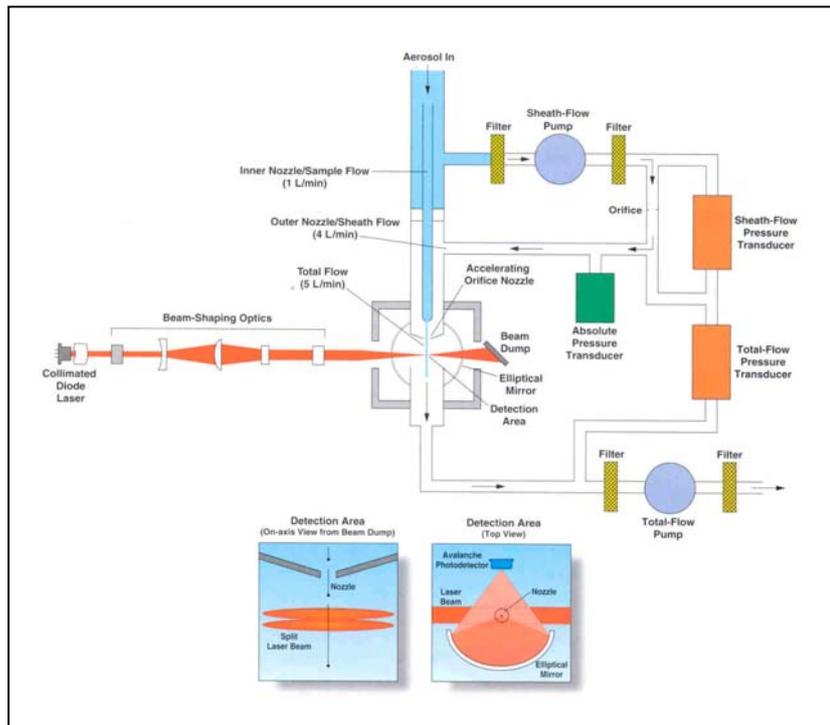
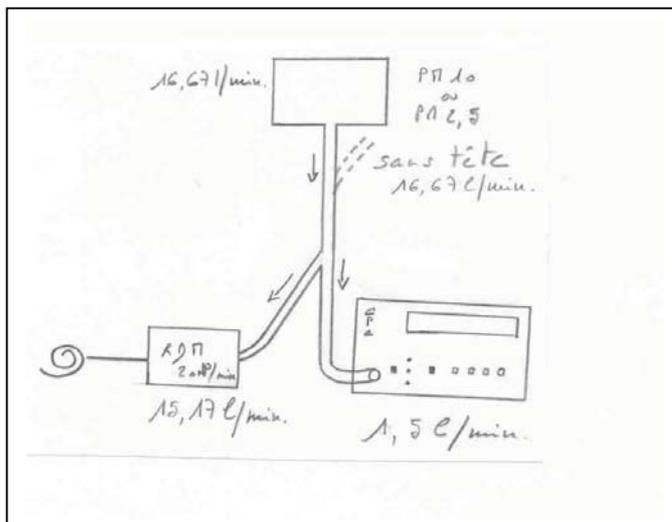


Figure 6 : Schéma de fonctionnement de l'APS TSI 3320.



### 3.5. Essais réalisés avec le système têtes de prélèvement / CNC

#### 3.5.1. Schéma de montage



#### 3.5.2. Mode opératoire

Ces essais se sont déroulés en salle climatisée, avec maintien de la température de la pièce à 21°C (+/- 2°C) et une hygrométrie relative de 50% (+/- 15%). Pas de turbulences dans la pièce, autrement dit, la vitesse d'air contrôlée autour de la zone d'échantillonnage a été vérifiée à  $v = 0$  m/s.

3 essais sont effectués alternativement avec une tête de prélèvement (PM<sub>10</sub> n°1 – PM<sub>10</sub> n°2 – PM<sub>2,5</sub> (SCC + PM<sub>10</sub> n°2)) puis sans tête de prélèvement, de manière à comparer leurs comportements. La hauteur des têtes varie entre 2,40 m et 2,50 m, selon s'il y a présence ou non de l'insert cyclonique SCC.

Les relevés ont été notifiés par ¼ horaire pendant 1 heure, ce pour chaque essai.

### 3.5.3. Résultats expérimentaux

Tous les résultats de cette étude ont fait l'objet d'une validation par des tests statistiques normalisés :

- Validation des données – recherche des valeurs aberrantes par application du test de Grubbs selon la norme NF ISO 5725-2.
- Comparaison de moyennes par application du test de Fisher-Snedecor, de la loi de Student et du test d'Aspin-Welch.

Pour une meilleure compréhension des différents calculs effectués, il est développé un exemple de traitement statistique des données expérimentales reportées dans les tableaux de résultats ci-après.

- Validation des données par application du test de Grubbs :

Ce test est effectué sur les valeurs expérimentales brutes. Il permet de faire apparaître les données aberrantes obtenues en cours d'essais et donc de les éliminer sous peine de fausser les résultats.

Pour ce faire, on classe par ordre croissant les données brutes pour déterminer si la plus grande observation est une valeur aberrante, en calculant la statistique de Grubbs :

$$G_p = (x_p - \bar{x}) / s$$

$x_p$  : donnée expérimentale la plus grande

$\bar{x}$  : moyenne des données expérimentales

$s$  : écart-type de la moyenne des données expérimentales

On détermine également si la plus petite observation est une valeur aberrante, en calculant la statistique  $G_1$  :

$$G_1 = (\bar{x} - x_1) / s$$

$x_1$  : donnée expérimentale la plus petite

$\bar{x}$  : moyenne des données expérimentales

$s$  : écart-type de la moyenne des données expérimentales

$G_p$  et  $G_1$  sont ensuite comparées à des valeurs critiques.

Il existe la valeur critique à 5% et la valeur critique à 1%. Connaissant le nombre  $n$  d'essais, il suffit de se reporter au tableau des valeurs critiques pour le test de Grubbs.

Trois choix sont alors possibles :

- ⇒  $G_p$  est inférieure ou égale à sa valeur critique à 5%, la valeur considérée est acceptée comme étant correcte.
- ⇒  $G_p$  est supérieure ou égale à sa valeur critique à 5% et  $G_1$  est inférieure ou égale à sa valeur critique à 1%, la valeur considérée est appelée valeur isolée. Il tient ensuite à l'opérateur de conserver ou non cette valeur dans le traitement final des données.
- ⇒  $G_1$  est supérieure ou égale à sa valeur critique à 1%, la valeur considérée est appelée valeur statistique aberrante. Elle est écartée du traitement final des données.

- Comparaison de moyennes par application du test de Fisher-Snedecor, de la loi de Student et du test d'Aspin-Welch :

Pour pouvoir comparer 2 moyennes entre elles, il faut en premier lieu comparer leurs variances.

La variance est définie comme étant la moyenne de la population des valeurs  $(x_i - m)^2$ ,  $m$  étant la moyenne de la population des  $x_i$ .

En fait, il suffit d'élever au carré, l'écart-type de la moyenne.

On applique alors le test de Fisher-Snedecor :

Pour ce faire, on effectue le rapport F des variances des populations à comparer.

$$F = s^2_{\max} / s^2_{\min}$$

On définit les degrés de liberté, le niveau de confiance  $\alpha$  puis on se reporte à la table de Snedecor où l'on peut y lire la valeur critique.

Le rapport F des variances est comparé à cette valeur critique.

Si F est inférieur à la valeur critique, les variances sont égales et l'on applique la loi de Student pour comparer les moyennes. Si F est supérieur à la valeur critique, les variances sont inégales et l'on applique le test d'Aspin-Welch qui revient en fait à appliquer la loi de Student mais avec un degré de liberté plus faible.

Loi de Student :

On calcule la fonction discriminante t :

$$t = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / s \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}$$

$\bar{x}_1$  : moyenne des données expérimentales de la population 1

$\bar{x}_2$  : moyenne des données expérimentales de la population 2

s : estimation de l'écart-type commun aux 2 populations

$n_1$  : population 1

$n_2$  : population 2

Après avoir déterminé les degrés de liberté  $(n_1-1)$  et  $(n_2-1)$  ou  $(n_1-2)$  et  $(n_2-2)$ , selon si les variances sont égales ou inégales ; ainsi que le niveau de confiance  $\alpha$ , on rapproche la valeur de t calculée de la valeur critique lue dans la table de Student.

Si t est inférieur à cette valeur critique, les moyennes sont dites égales, les 2 populations ne sont pas significativement différentes.

Si t est supérieur à cette valeur critique, les moyennes sont dites inégales, les 2 populations sont différentes.

Essai (n°)	Concentration en nombre (part/cm <sup>3</sup> )		Concentration en nombre (part/cm <sup>3</sup> )		Concentration en nombre (part/cm <sup>3</sup> )	
	Avec PM <sub>10</sub> n°1	Sans tête	Avec PM <sub>10</sub> n°2	Sans tête	Avec PM <sub>2,5</sub>	Sans tête

<i>I</i>	7,21E+03	6,26E+03	3,00E+03	2,17E+03	2,19E+03	1,64E+03
	7,47E+03	7,26E+03	3,68E+03	3,14E+03	2,48E+03	2,10E+03
	7,98E+03	9,20E+03	3,81E+03	3,41E+03	2,77E+03	2,33E+03
	1,33E+04	9,54E+03	3,92E+03	3,48E+03	3,52E+03	2,99E+03
	1,47E+04	1,43E+04	4,03E+03	3,93E+03	3,58E+03	3,10E+03

<b>Moyenne</b>	1,01E+04	9,31E+03	3,69E+03	3,23E+03	2,91E+03	2,43E+03
<b>Ecart-type</b>	3,58E+03	3,10E+03	4,06E+02	6,55E+02	6,21E+02	6,13E+02

<u>Validation des données</u>	-	<u>Application du test de Grubbs</u>				
G <sub>p</sub> ((x <sub>p</sub> - X̄)/s)	1,277	1,608	0,843	1,075	1,082	1,089
G <sub>i</sub> ((x <sub>i</sub> - X̄)/s)	0,817	0,984	1,695	1,612	1,156	1,291
Valeur critique tableau (5%)	1,715	1,715	1,715	1,715	1,715	1,715
Valeur critique tableau (1%)	1,764	1,764	1,764	1,764	1,764	1,764

Essai (n°)	Concentration en nombre (part/cm <sup>3</sup> )		Concentration en nombre (part/cm <sup>3</sup> )		Concentration en nombre (part/cm <sup>3</sup> )	
	Avec PM <sub>10</sub> n°1	Sans tête	Avec PM <sub>10</sub> n°2	Sans tête	Avec PM <sub>2,5</sub>	Sans tête

<i>2</i>	4,92E+03	6,99E+03	1,26E+03	2,13E+03	9,40E+02	1,02E+03
	5,34E+03	8,52E+03	1,68E+03	2,57E+03	1,13E+03	1,05E+03
	7,99E+03	9,36E+03	1,94E+03	3,07E+03	1,13E+03	1,06E+03
	1,99E+04	1,07E+04	2,19E+03	3,30E+03	1,32E+03	1,36E+03
	2,38E+04	1,09E+04	2,28E+03	3,90E+03	1,99E+03	2,13E+03

<b>Moyenne</b>	1,24E+04	9,29E+03	1,87E+03	2,99E+03	1,30E+03	1,32E+03
<b>Ecart-type</b>	8,82E+03	1,62E+03	4,13E+02	6,79E+02	4,07E+02	4,71E+02

<u>Validation des données</u>	-	<u>Application du test de Grubbs</u>				
G <sub>p</sub> ((x <sub>p</sub> - X̄)/s)	1,293	0,993	0,992	1,333	1,689	1,711
G <sub>i</sub> ((x <sub>i</sub> - X̄)/s)	0,847	1,424	1,476	1,272	0,889	0,645
Valeur critique tableau (5%)	1,715	1,715	1,715	1,715	1,715	1,715
Valeur critique tableau (1%)	1,764	1,764	1,764	1,764	1,764	1,764

**Tableau n°1 :** Récapitulatif des résultats expérimentaux obtenus en associant un CNC TSI 3022A aux têtes de prélèvement.

Essai (n°)	Concentration en nombre (part/cm <sup>3</sup> )		Concentration en nombre (part/cm <sup>3</sup> )		Concentration en nombre (part/cm <sup>3</sup> )	
	Avec PM <sub>10</sub> n°1	Sans tête	Avec PM <sub>10</sub> n°2	Sans tête	Avec PM <sub>2,5</sub>	Sans tête

3	2.52E+03	2.04E+03	1.69E+03	1.25E+03	NV	NV
	2.75E+03	2.22E+03	1.77E+03	1.27E+03	NV	NV
	2.81E+03	2.82E+03	1.88E+03	1.67E+03	NV	NV
	2.93E+03	3.40E+03	2.45E+03	1.79E+03	NV	NV
	3.42E+03	4.48E+03	2.79E+03	1.92E+03	NV	NV

**Moyenne**            2.89E+03            2.99E+03            2.12E+03            1.58E+03  
**Ecart-type**        3.34E+02            9.89E+02            4.80E+02            3.05E+02

<u>Validation des données</u>	-	<u>Application du</u>	<u>test de Grubbs</u>	
G <sub>p</sub> ((x <sub>p</sub> - X̄)/s)	1.600	1.505	1.403	1.114
G <sub>i</sub> ((x <sub>i</sub> - X̄)/s)	1.097	0.963	0.887	1.081
Valeur critique tableau (5%)	1,715	1,715	1,715	1,715
Valeur critique tableau (1%)	1,764	1,764	1,764	1,764

NV: Non Vadide

Tableau n°1 (suite): Récapitulatif des résultats expérimentaux obtenus en associant un CNC TSI 3022A aux têtes de prélèvement.

Essai (n°)	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) PM <sub>10</sub> n°1	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) Sans tête	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) PM <sub>10</sub> n°2	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) Sans tête	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) PM <sub>2,5</sub>	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) Sans tête
---------------	--	---	--	---	---	---

1	1,01E+04 (s=3,58E+3)	9,31E+03 (s=3,10E+3)	3,69E+03 (s=4,06E+2)	3,23E+03 (s=6,55E+2)	2,91E+03 (s=6,21E+2)	2,43E+03 (s=6,13E+2)
---	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

**Comparaison des variances – test de Fisher Snedecor :**

F (s <sup>2</sup> max/s <sup>2</sup> min)	1,3298	2,5730	1,0255
Valeur critique tableau (5%)	9,6045	9,6045	9,6045
Conclusion	Variances égales	variances égales	variances égales

**Comparaison des moyennes – loi de Student ou test d'Aspin-Welch :**

$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}}$	0,3835	1,3556	1,2190
Valeur critique tableau (5%)	2,3060	2,3060	2,3060
Conclusion	moyennes égales	moyennes égales	moyennes égales

**Tableau n°2 :** Comparaison des moyennes expérimentales mentionnées dans le tableau n°1 par utilisation des tests statistiques énoncés en annexe B.

Essai (n°)	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) PM <sub>10</sub> n°1	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) Sans tête	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) PM <sub>10</sub> n°2	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) Sans tête	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) PM <sub>2,5</sub>	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) Sans tête
2	1,24E+04 (s=8,82E+3)	9,29E+03 (s=1,62E+3)	1,87E+03 (s=4,13E+2)	2,99E+03 (s=6,79E+2)	1,30E+03 (s=4,07E+2)	1,32E+03 (s=4,71E+2)

**Comparaison des variances – test de Fisher Snedecor :**

F (s <sup>2</sup> max/s <sup>2</sup> min)	29,7530	2,7012	1,3378
Valeur critique tableau (5%)	9,6045	9,6045	9,6045
Conclusion	variances inégales	variances égales	variances égales

**Comparaison des moyennes – loi de Student ou test d'Aspin-Welch :**

$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}}$	0,7717	3,1602	0,0790
Valeur critique tableau (5%)	2,7765	2,3060	2,3060
Conclusion	moyennes égales	moyennes inégales	moyennes égales

**Tableau n°2 (suite):** Comparaison des moyennes expérimentales mentionnées dans le tableau n°1 par utilisation des tests statistiques énoncés en annexe B.

Essai (n°)	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) PM <sub>10</sub> n°1	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) Sans tête	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) PM <sub>10</sub> n°2	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) Sans tête	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) PM <sub>2,5</sub>	[N] (part/cm <sup>3</sup> ) Sans tête
---------------	--	---	--	---	---	---

3	2,89E+03 (s=3,34E+2)	2,99E+03 (s=9,89E+2)	2,12E+03 (s=4,80E+2)	1,58E+03 (s=3,05E+2)	données invalidées	données invalidées
---	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------	-----------------------

**Comparaison des variances – test de Fisher Snedecor :**

F (s <sup>2</sup> max/s <sup>2</sup> min)	8,7858	2,4751	/
Valeur critique tableau (5%)	9,6045	9,6045	/
Conclusion	variances inégales	variances égales	

**Comparaison des moyennes – loi de Student ou test d'Aspin-Welch :**

$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}}$	0,2271	2,1060	/
Valeur critique tableau (5%)	2,7765	2,3060	/
Conclusion	moyennes égales	moyennes inégales	moyennes égales

[N] : concentration en nombre des particules en suspension dans l'air

**Tableau n°2 (suite):** Comparaison des moyennes expérimentales mentionnées dans le tableau n°1 par utilisation des tests statistiques énoncés en annexe B.

**N.B. :** Le calcul détaillé des tests statistiques utilisés pour la comparaison des variances et des moyennes évoquées dans le tableau n°2 se trouve en annexe C.

#### 3.5.4. Interprétation des résultats

Les résultats, obtenus après l'application du test de validation des données de Grubbs, montrent que les statistiques calculées  $G_p$  et  $G_1$  sont toutes inférieures à la valeur critique à 5% et à la valeur critique à 1%. Par conséquent, les mesures expérimentales sont acceptées comme étant correctes. *Il n'y a aucunes valeurs aberrantes* (données du tableau n°1).

De plus, la granulométrie relevée qui n'apparaît pas dans le tableau n°1 mais qui a tout de même été déterminée pendant les essais, se situe dans le domaine des fines particules ( $D_p < 2 \mu\text{m}$ ).

Les tests statistiques de comparaison des moyennes n'ont pas mis en évidence de différences significatives entre les résultats expérimentaux obtenus avec ou sans tête de prélèvement, excepté pour une série. Ceci s'explique par une augmentation de la concentration en nombre des particules en suspension dans l'air ambiant, en cours d'essais (cf cellule grisée dans le tableau n°2).

#### 3.5.5. Conclusion

- Il n'a pas été observé de différence significative entre les essais avec têtes de prélèvement et sans tête de prélèvement. Ce résultat laisse supposer que l'on se situe au niveau des 100% de pénétration des particules dans les têtes. L'examen de la granulométrie ambiante, se situant plutôt dans le domaine des fines particules, vient confirmer cette hypothèse.
- Compte tenu de la granulométrie ambiante, le choix d'une autre salle plus empoussiérée et présentant une granulométrie plus étendue vers les grosses particules ( $> 2 \mu\text{m}$ ) s'impose pour les futurs essais utilisant un COP et un APS.
- Le temps de prélèvement des futurs essais devra être diminué, de façon à maintenir une concentration particulaire en nombre relativement stable entre les mesures effectuées avec et sans les têtes de prélèvement.

### 3.6. Essais réalisés avec le système têtes de prélèvement / cop

#### 3.6.1. Schéma de montage



Figure n°7 : Montage du système têtes de prélèvement / COP (ici avec la PM<sub>10</sub> n°1).

#### 3.6.2. Mode opératoire

- Après différentes investigations sur le choix d'une autre salle de prélèvement, il a été trouvé une pièce très empoussiérée, non climatisée et sans turbulences. Pendant la durée des essais, soit environ une quinzaine de jours, la pression atmosphérique a varié de 992 hPa à 1022 hPa, l'hygrométrie de 30% à 51% et la température de 19,5°C à 22,0°C. La seule constante a été la vitesse d'air égale à 0 m/s.
- De façon à éviter une dilution de l'aérosol ambiant, les débits qui traversent les têtes et le COP étant respectivement de 16,67 l/min et 28,3 l/min, la pompe du COP a été déviée. Une pompe extérieure a été installée à la sortie de la chambre optique du COP et le débit en amont et en aval, fixé à 16,67 l/min, a été vérifié avant chaque échantillonnage. Les concentrations affichées par le COP, correspondant à un nombre de particules traversant le volume de la chambre optique, soit 16,67 l pour une minute, ont été ramenées à des concentrations en nombre par m<sup>3</sup> d'air ambiant pour une minute.

- Les essais avec ou sans les têtes de prélèvement ont été effectués de façon aléatoires.
- Des essais supplémentaires sont effectués en utilisant uniquement l'insert cyclonique SCC sans la tête  $PM_{10}$ . Leurs résultats seront comparés à ceux obtenus avec la  $PM_{2,5}$ .
- 6 échantillonnages par série sont effectués ( $PM_{10}$  – sans  $PM_{10}$ ;  $PM_{2,5}$  – sans  $PM_{2,5}$  et SCC seul – sans SCC).  
Le temps d'échantillonnage est ramené à 10 min, avec un relevé des concentrations particulières en nombre toutes les minutes.

### 3.6.3. Résultats expérimentaux

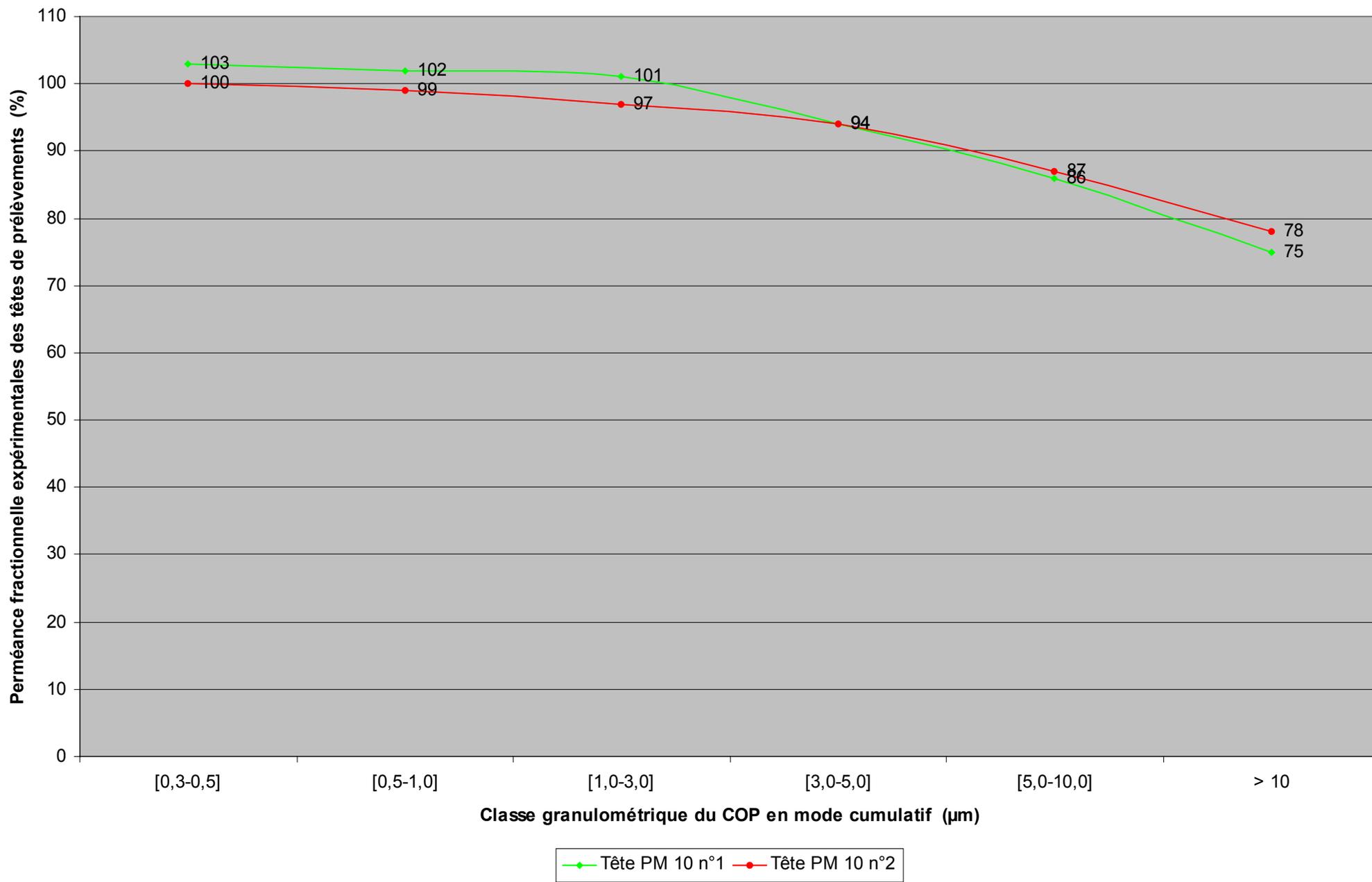
#### 3.6.3.1. DETERMINATION DE LA COURBE DE PERMEANCE FRACTIONNELLE ISSUE DU RAPPORT DES CONCENTRATIONS EN NOMBRE DES PARTICULES EN SUSPENSION DANS L'AIR

- Les résultats expérimentaux enregistrés par le COP ont été traités à la fois en mode cumulatif et en mode différentiel (cf le principe de fonctionnement du COP en paragraphe 4.2.).  
Le profil des courbes et la valeur associée à chaque classe granulométrique étant identiques, seuls les résultats expérimentaux obtenus en mode différentiel ont été traités. En effet, ce mode fait intervenir des classes granulométriques bornées ce qui permet d'approcher le  $D_{50}$  des têtes de prélèvement.
- Ils sont présentés sous forme graphique :
  - ⇒ Le graphe n°1 représente les courbes de perméance fractionnelle des 2 têtes  $PM_{10}$  (n°1 et n°2).
  - ⇒ Le graphe n°2 représente les courbes de perméance fractionnelle des têtes  $PM_{2,5}$ , issues de la tête  $PM_{10}$  n°1 et de la tête  $PM_{10}$  n°2 ; et de l'insert cyclonique SCC utilisé sans tête  $PM_{10}$ .

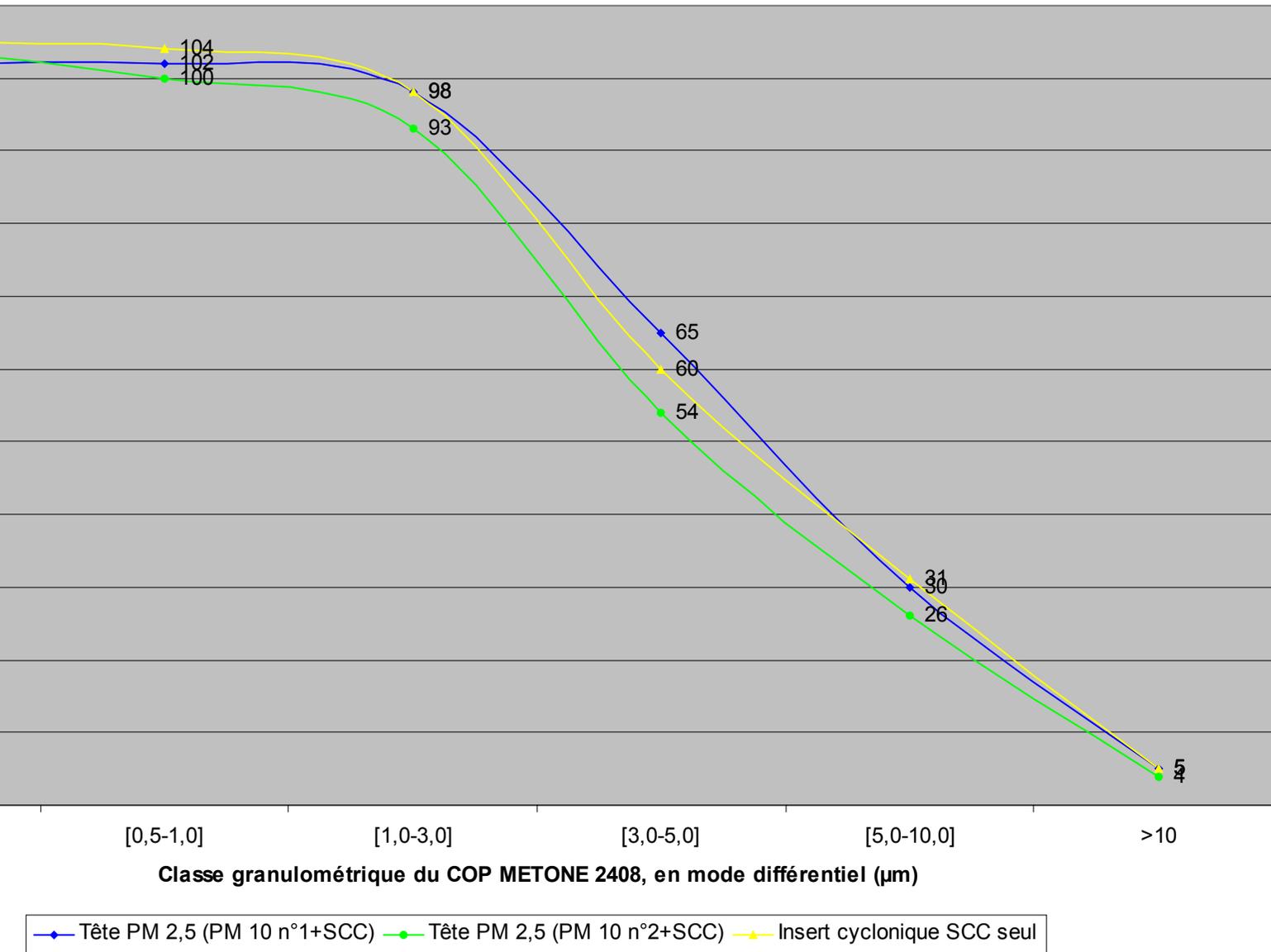
**N.B.** : Deux exemples de validation des données expérimentales des séries mentionnées au paragraphe 6.2., par le test de Grubbs sont donnés en annexe D.



**Courbes de perméance fractionnelle caractérisant les têtes de prélèvements PM 10 n°1 et PM n°2, par utilisation d'un COP METONE 2408, 6 canaux, en air ambiant.**



Perméance fractionnelle expérimentale des têtes PM 2,5 (PM10 n°1+SCC et PM10 n°2+SCC) et de l'insert cyclonique SCC seul - utilisation d'un COP METONE 2408, 6 canaux - en air ambiant.



### 3.6.3.2. DETERMINATION DU RAPPORT DES CONCENTRATIONS MASSIQUES DES PARTICULES EN SUSPENSION DANS L' AIR (PM<sub>2,5</sub> / PM<sub>10</sub>)

Une étude, effectuée en janvier 2001 par le réseau de mesures de la qualité de l'air Air Languedoc-Roussillon, a mis en évidence une corrélation entre la PM<sub>2,5</sub> et la PM<sub>10</sub> en appliquant le rapport des concentrations massiques, afin de déterminer l'origine des particules en suspension. Bien évidemment l'origine dans ce contexte est connue, puisque l'air ambiant est principalement constitué de particules d'origine anthropique (salle en travaux : mûrs et sols dégradés).

Pour déterminer la concentration massique issue de chaque classe granulométrique, il a été procédé de la manière suivante :

- le *diamètre moyen* de chaque classe granulométrique a été calculé,
- la masse des diamètres moyens a été déterminée en considérant pour chacun, une masse volumique de 1 g/cm<sup>3</sup>,
- Pour calculer le volume des particules de diamètres moyens, on considère les particules comme étant sphériques. On peut alors appliquer la formule mathématique exprimant le volume d'une sphère,  $4/3 * \pi * r^2$ ,
- La concentration en nombre considérée est celle de la classe granulométrique.

Une fois les concentrations massiques calculées pour chaque diamètre médian, leur somme a été faite, déterminant ainsi la concentration massique totale en µg/m<sup>3</sup> pour chaque série de 6 échantillonnages avec les têtes PM<sub>10</sub> n°1 et PM<sub>2,5</sub> associées et les têtes PM<sub>10</sub> n°2 et PM<sub>2,5</sub> associées.

La concentration massique totale pour chaque cas considéré étant connue, il a été procédé au rapport des concentrations massiques des particules obtenues avec la PM<sub>2,5</sub> sur celles obtenues avec les PM<sub>10</sub>.

Le tableau n°3 regroupent ces résultats.

**N.B. :** Pour le détail de ces calculs, se reporter à l'annexe E.

Essai (#)	Rapport des conc. massiques moyennées PM <sub>2,5</sub> (avec PM <sub>10</sub> n°1) / PM <sub>10</sub> n°1 (%)	Rapport des conc. massiques moyennées PM <sub>2,5</sub> (avec PM <sub>10</sub> n°2) / PM <sub>10</sub> n°2 (%)
1	68	76
2	85	61
3	62	51
4	88	52
5	68	75
6	64	invalidé
<b>Moyenne (%)</b>	<b>73</b>	<b>63</b>
<b>Ecart-type (%)</b>	<b>11</b>	<b>12</b>

**Tableau n°3 :** Rapport des concentrations massiques expérimentales obtenues avec les têtes PM<sub>2,5</sub> sur celles obtenues avec les têtes PM<sub>10</sub>.

### 3.6.4. Interprétation des résultats

#### 3.6.4.1. DETERMINATION DE LA COURBE DE PERMEANCE FRACTIONNELLE ISSUE DU RAPPORT DES CONCENTRATIONS EN NOMBRE DES PARTICULES EN SUSPENSION DANS L'AIR

- Les perméances fractionnelles expérimentales moyennées des 2 têtes PM<sub>10</sub> (n°1 et n°2) ont été comparées (voir détail des calculs statistiques en annexe F). Les résultats n'étant pas significativement différents pour un niveau de confiance de 95%, on peut en déduire que les 2 têtes PM<sub>10</sub> ont la même efficacité de pénétration.

Cette non mise en évidence de différence entre les deux têtes permettrait de considérer indifféremment la courbe de perméance fractionnelle issue de la PM<sub>10</sub> n°1 ou de la PM<sub>10</sub> n°2. Dans le but de mieux caractériser les têtes, il a été procédé à la fusion de ces 2 courbes.

Le graphe n°3 en donne une représentation. Les 2 précédentes courbes apparaissent en pointillés.

Le diamètre de coupure ou D<sub>50</sub>, caractérisant les 2 PM<sub>10</sub> est supérieur à 10 µm.

- Puisque les 2 têtes PM<sub>10</sub> sont considérées comme sensiblement identiques, les résultats expérimentaux obtenus avec la PM<sub>2,5</sub> issues de la PM<sub>10</sub> n°1, peuvent être fusionnés eux aussi, avec ceux de la PM<sub>2,5</sub> issues de la PM<sub>10</sub> n°2. Cette affirmation théorique a néanmoins été validée par des tests statistiques de comparaison des moyennes.

La courbe de perméance fractionnelle caractérisant l'insert cyclonique SCC se situant entre celles caractérisant la PM<sub>2,5</sub> issue de la PM<sub>10</sub> n°1 et la PM<sub>2,5</sub> issue de la PM<sub>10</sub> n°2 avant fusion (cf graphe n°2), on peut également considérer que la PM<sub>2,5</sub> et l'insert SCC ont un comportement sensiblement identique.

La fusion de leurs courbes respectives peut donc être envisagée. (le détail des calculs statistiques de comparaison des moyennes présenté en annexe G, vient confirmer cette hypothèse).

Le graphe n°4 représente cette fusion. Les 3 précédentes courbes apparaissent en pointillés.

Le diamètre de coupure se trouve très probablement dans la classe granulométrique [3,0 – 5,0] µm.

### DETERMINATION DU RAPPORT DES CONCENTRATIONS MASSIQUES DES PARTICULES EN SUSPENSION DANS L'AIR ( $PM_{2,5} / PM_{10}$ )

Tout comme exprimé dans le paragraphe précédent, il a été procédé aux tests statistiques pour comparer les moyennes des résultats expérimentaux mentionnées dans le tableau n°3 (le calcul détaillé se trouve en annexe H).

La résultante de ces tests montre que ces 2 moyennes ne sont pas significativement différentes pour un niveau de confiance de 95% et que le rapport global des concentrations massiques des  $PM_{2,5}$  sur celles des  $PM_{10}$  est égal à :

$$[M] PM_{2,5} / [M] PM_{10} = 68 \% \quad \text{avec} \quad s = 12\%$$

[M]  $PM_{2,5}$  = Concentration massique des particules en suspension dans l'air obtenue avec la tête  $PM_{2,5}$ .

[M]  $PM_{10}$  = Concentration massique des particules en suspension dans l'air obtenue avec la  $PM_{10}$ .

#### 3.6.5. Conclusion

##### PERMEANCE DES TETES $PM_{10}$

Les tests statistiques de comparaison des moyennes n'ayant pas mis en évidence de différences de comportement entre la  $PM_{10}$  n°1 et la  $PM_{10}$  n°2, on peut considérer qu'elles sont sensiblement identiques.

Elles sont donc caractérisées par la même courbe de perméance fractionnelle et le même diamètre de coupure ( $D_{50}$ ) qui se situe dans une classe granulométrique supérieure à 10  $\mu m$ . En effet, 77 % des particules en suspension dans l'air pénètrent encore les  $PM_{10}$ , dans la classe granulométrique [ $> 10$ ]  $\mu m$   
Cf. graphe n°3.

##### PERMEANCE DES TETES $PM_{2,5}$ ET DE L'INSERT CYCLONIQUE SCC

Comme les 2 têtes  $PM_{10}$  sont considérées comme sensiblement identiques au regard des tests statistiques, on peut en conclure que les 2  $PM_{2,5}$  se comportent de la même manière.

Il a également été démontré que la  $PM_{2,5}$  se comportait comme l'insert cyclonique SCC utilisé sans  $PM_{10}$ . Autrement dit utiliser l'insert cyclonique SCC sans tête  $PM_{10}$  suffit à déterminer la fraction alvéolaire.

La  $PM_{2,5}$  et l'insert cyclonique SCC sont caractérisés par la même courbe de perméance fractionnelle et le même  $D_{50}$  qui se situe dans la classe granulométrique [3,0 – 5,0]  $\mu m$ .

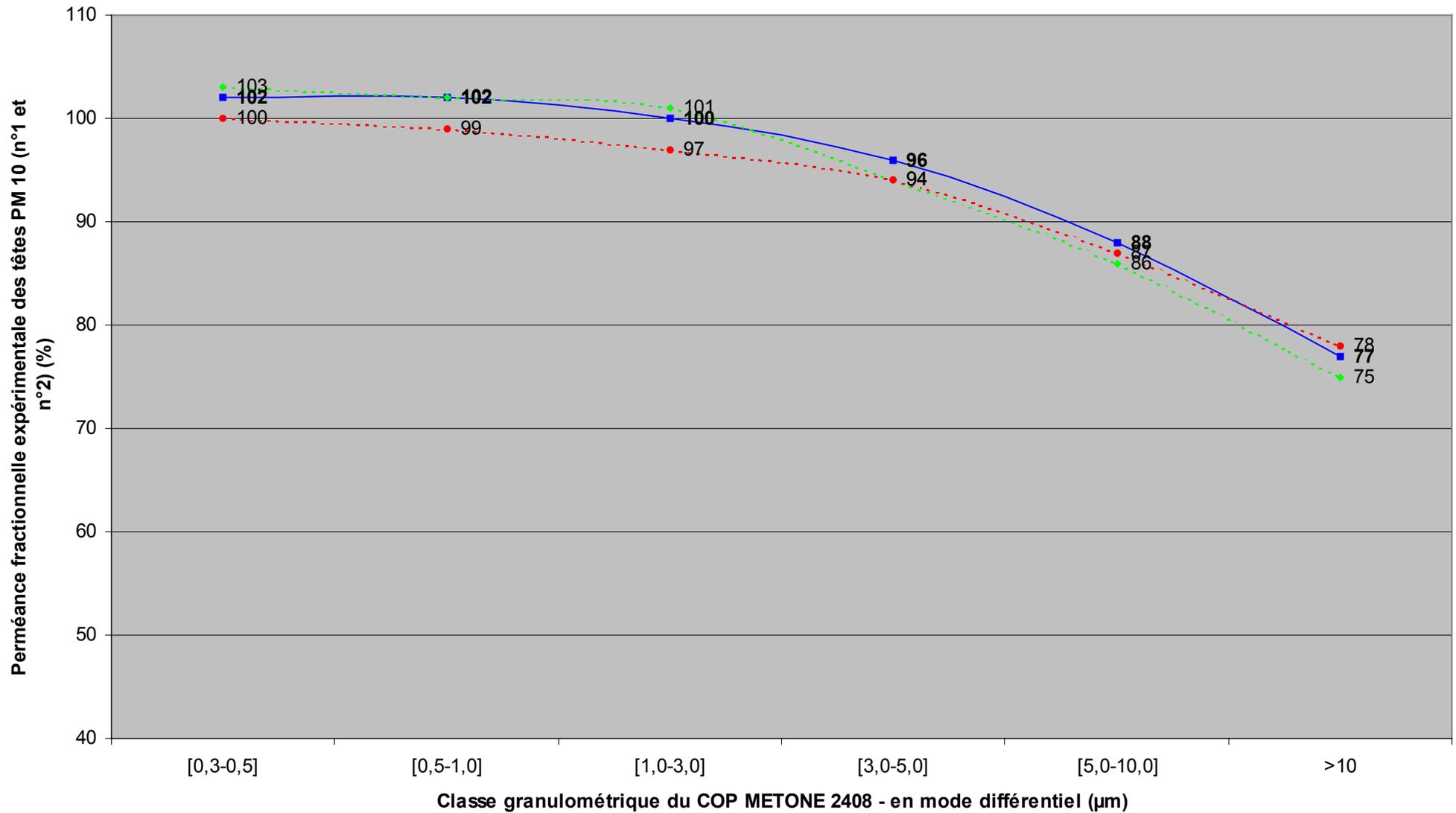
Cf. graphe n°4.

**RAPPORT DES CONCENTRATIONS MASSIQUES  $PM_{2,5}$  SUR  $PM_{10}$** 

Le rapport des concentrations massiques expérimentales  $PM_{2,5} / PM_{10}$  est égal à **68%** (avec un écart-type  $s = 12\%$ ).

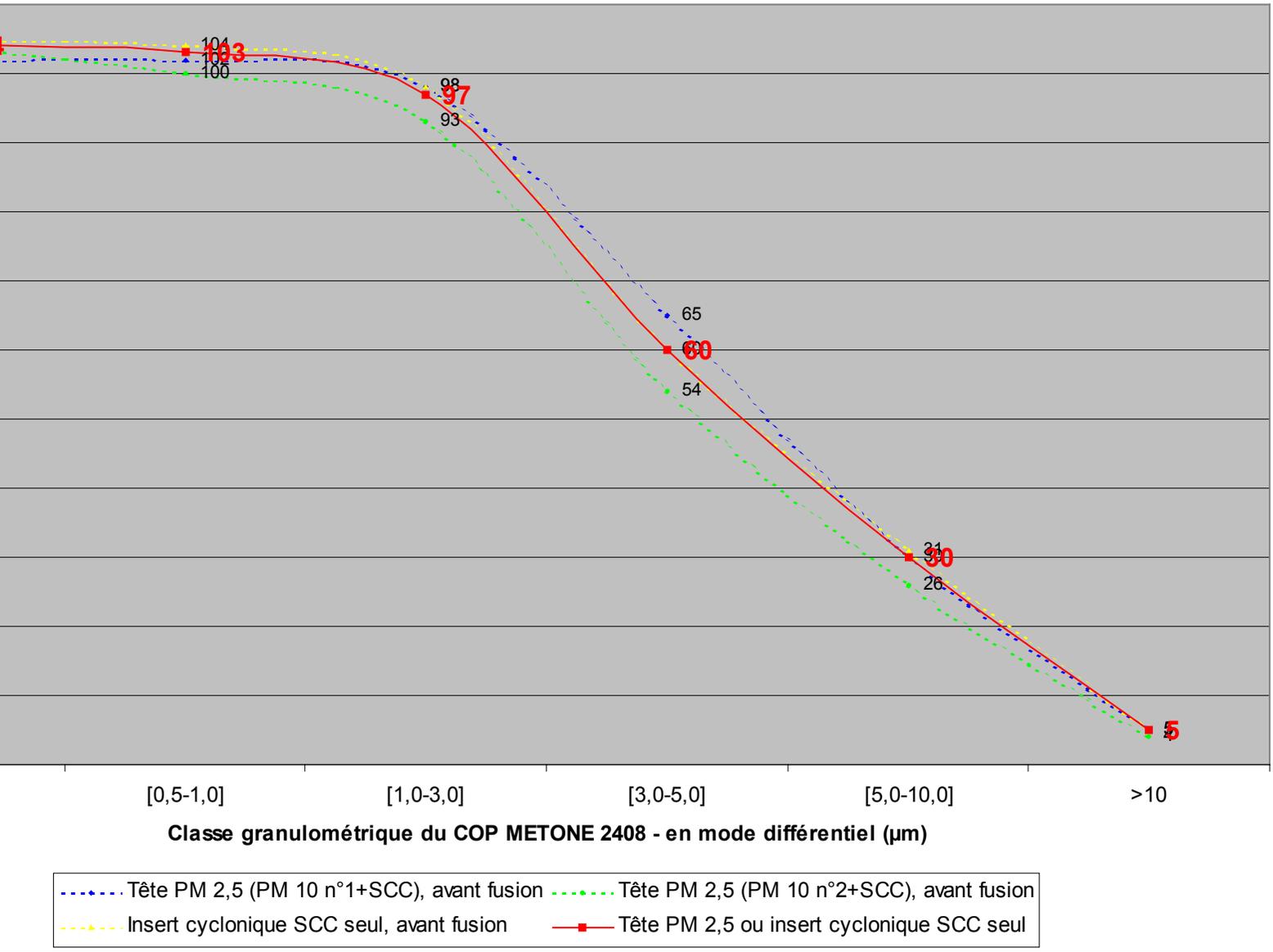
Ce qui semblerait confirmer les résultats de l'étude menée par le réseau de mesures de surveillance de la qualité de l'air, Air Languedoc Roussillon sur l'origine anthropique des particules en suspension dans l'air présentent dans la pièce où se sont déroulés les essais (cf début de chapitre 6).

**Courbe de perméance fractionnelle expérimentale caractérisant les 2 têtes PM 10 (n°1 et n°2) - utilisation d'un COP METONE 2408, 6 canaux - en air ambiant.**



—■— Tête PM 10 (n°1 et n°2), après fusion   
 - - -◆- - - Tête PM 10 n°1, avant fusion   
 . . .●. . . Tête PM 10 n°2, avant fusion

perméance fractionnelle expérimentale caractérisant la PM 2,5 ou l'insert cyclonique SCC seul - utilisation d'un COP METONE 2408, 6 canaux - en air ambiant.



### 3.7. Essais réalisés avec le système têtes de prélèvement / aps

#### 3.7.1. Schéma de montage



Figure n°8 : Montage du système têtes de prélèvement / APS (ici avec la PM<sub>2,5</sub>).

#### 3.7.2. Mode opératoire

- Le choix de la salle d'échantillonnage est maintenu.  
Pendant la durée des essais, environ 1 mois, la pression atmosphérique a varié de 1005 hPa à 1014 hPa, l'hygrométrie de 29% à 47% et la température de 20,0°C à 26,0°C.
- Le débit pénétrant dans les têtes analysées est toujours de 16,67 l/min.  
Un débit de 5 l/min est entraîné vers l'APS qui autorégule ce débit entrant, alors que les 11,67 l/min restant sont déviés vers un bypass, ce débit étant lui-même contrôlé par un débitmètre. Les concentrations en nombre restituées par le logiciel associé à l'APS 3320 sont exprimées en nombre de particules par cm<sup>3</sup>.

- Les essais avec ou sans têtes de prélèvement ont été effectués de façon aléatoires.
- Des essais supplémentaires sont effectués en utilisant uniquement l'insert cyclonique SCC sans la tête PM<sub>10</sub>. Leurs résultats seront comparés à ceux obtenus avec la PM<sub>2,5</sub>.
- 6 échantillonnages par série sont effectués (PM<sub>10</sub> / APS – sans PM<sub>10</sub> / APS ; PM<sub>2,5</sub> / APS – sans tête PM<sub>2,5</sub> et SCC seul / APS – sans SCC / APS).  
Le temps d'échantillonnage est inchangé. Il est de 10 min, avec un relevé des concentrations particulières en nombre toutes les minutes.
- Par contre, il ne s'agit plus de classes granulométriques renseignant sur le diamètre optique des particules en suspension dans l'air, mais de diamètres aérodynamiques individualisés grâce à l'APS 3320.  
Le logiciel permet de déterminer 52 diamètres aérodynamiques compris entre 0,5 µm et 20,0 µm.  
Pour la détermination des courbes de perméance fractionnelle des têtes et de l'insert cyclonique SCC, il a été sélectionné 8 diamètres aérodynamiques sur 52 pour la tête PM<sub>2,5</sub> et l'insert SCC ; et 11 diamètres aérodynamiques pour les têtes PM<sub>10</sub>.  
Ce choix s'est effectué après une étape préliminaire consistant à situer approximativement le D<sub>50</sub> des têtes de prélèvements.

*L'étude s'est déroulée de la même manière que celle utilisant le COP.*

*De ce fait la présentation des résultats expérimentaux ainsi que leurs interprétations sont identiques à celle du système ayant utilisé le COP.*

### 3.7.3. Résultats expérimentaux

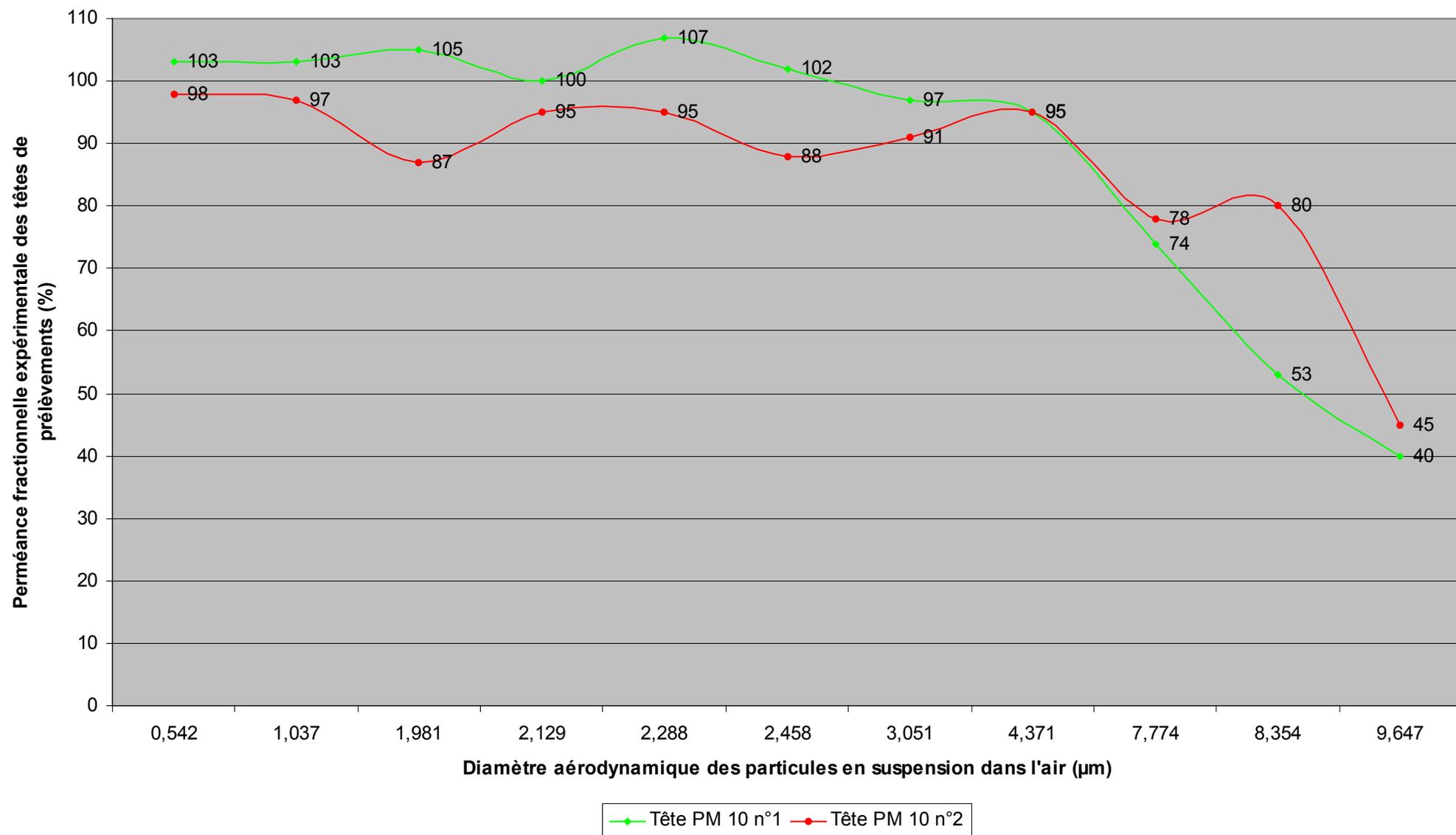
#### **DETERMINATION DE LA COURBE DE PERMEANCE FRACTIONNELLE ISSUE DU RAPPORT DES CONCENTRATIONS EN NOMBRE DES PARTICULES EN SUSPENSION DANS L'AIR**

Les résultats expérimentaux sont présentés sous forme graphique :

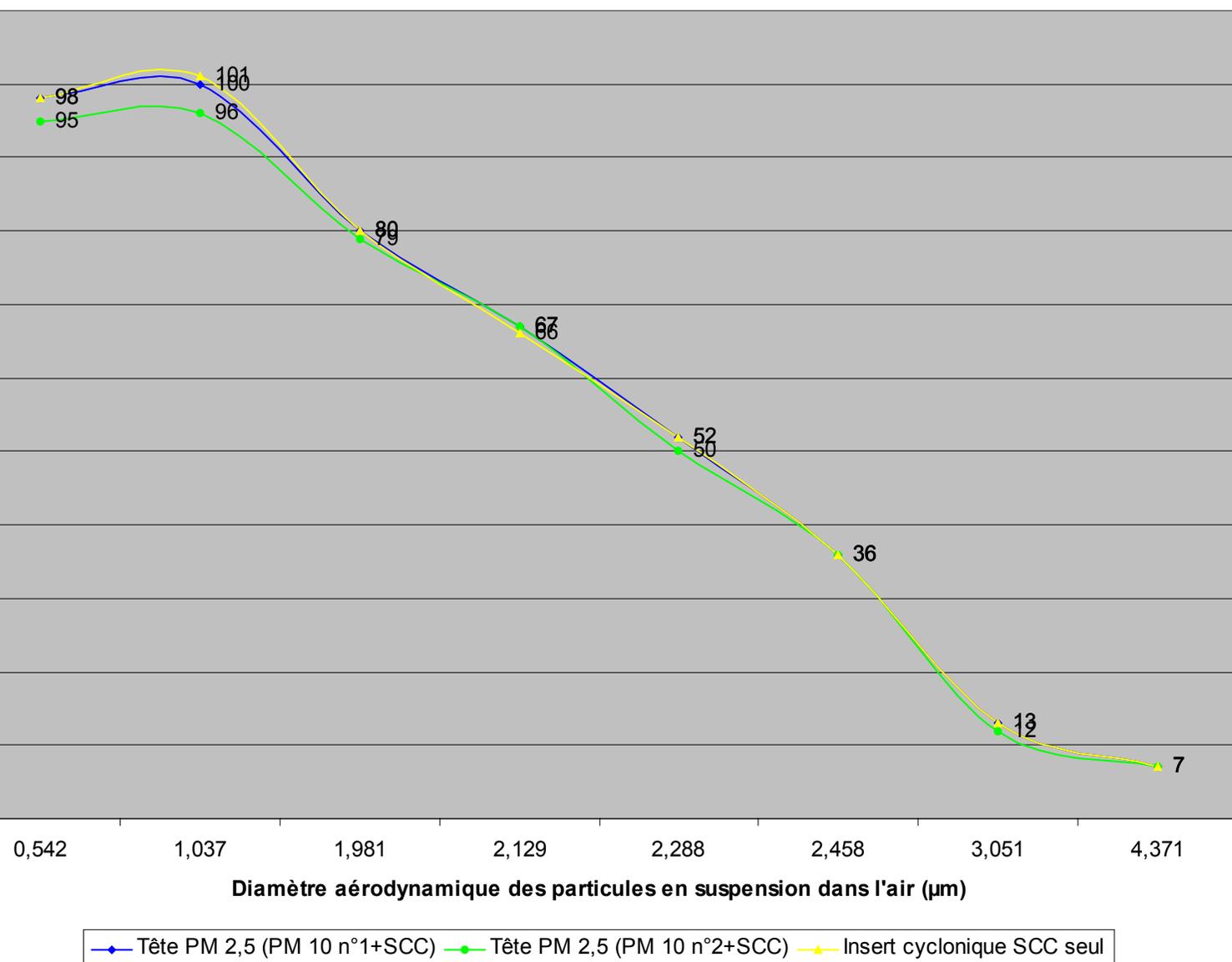
- ⇒ Le graphe n°5 représente les courbes de perméance fractionnelle des 2 têtes PM<sub>10</sub> (n°1 et n°2).
- ⇒ Le graphe n°6 représente les courbes de perméance fractionnelle des têtes PM<sub>2,5</sub> issues de la tête PM<sub>10</sub> n°1 et de la tête PM<sub>10</sub> n°2 ; et de l'insert cyclonique SCC utilisé sans tête PM<sub>10</sub>.

**N.B.** : Deux exemples de validation des données expérimentales des séries mentionnées au paragraphe 7.2., par le test de Grubbs sont donnés en annexe I.

**Courbes de perméance fractionnelle expérimentale des têtes PM 10 n°1 et n°2 - utilisation d'un APS TSI 3320 - en air ambiant.**



**Courbes de perméance fractionnelle expérimentale des têtes PM 2,5 (PM 10 n°1+SCC et PM 10 n°2+SCC) et de l'insert cyclonique SCC seul - utilisation d'un APS TSI 3320.**



**DETERMINATION DU RAPPORT DES CONCENTRATIONS MASSIQUES DES PARTICULES EN  
SUSPENSION DANS L'AIR (PM<sub>2,5</sub> / PM<sub>10</sub>)**

Les concentrations massiques des particules sont calculées par le logiciel associé à l'APS 3320, en considérant pour chacun des diamètres, une masse volumique de 1 g/cm<sup>3</sup>.

Il suffit donc de moyenner la concentration massique totale des échantillonnages où interviennent les PM<sub>2,5</sub> et les PM<sub>10</sub> et d'effectuer leur rapport.

Le tableau n°4 regroupe ces résultats.

**N.B.** : Le détail des relevés des concentrations massiques par série où interviennent les PM<sub>10</sub> (n°1 et n°2), ainsi que les tests statistiques associés, se trouvent en annexe J.

Essai (#)	Rapport des conc. massiques moyennées PM <sub>2,5</sub> (avec PM <sub>10</sub> n°1) / PM <sub>10</sub> n°1 (%)	Rapport des conc. massiques moyennées PM <sub>2,5</sub> (avec PM <sub>10</sub> n°2) / PM <sub>10</sub> n°2 (%)
1	59	55
2	49	46
3	46	62
4	55	80
5	40	64
6	62	58
<b>Moyenne (%)</b>	<b>52</b>	<b>61</b>
<b>Ecart-type (%)</b>	<b>8</b>	<b>11</b>

Tableau n°4 : Rapport des concentrations massiques expérimentales obtenues avec les têtes PM<sub>2,5</sub> sur celles obtenues avec les têtes PM<sub>10</sub>.

### 3.7.4. Interprétation des résultats

#### DETERMINATION DE LA COURBE DE PERMEANCE FRACTIONNELLE ISSUE DU RAPPORT DES CONCENTRATIONS EN NOMBRE DES PARTICULES EN SUSPENSION DANS L'AIR

- Les perméances fractionnelles expérimentales moyennées des 2 têtes PM<sub>10</sub> (n°1 et n°2) ont été comparées (voir détail des calculs statistiques en annexe K). Les résultats ne sont pas significativement différents pour un niveau de confiance de 95%, hormis pour 2 diamètres aérodynamiques sur les 11 traités. La cause en revient aux variations de l'aérosol ambiant plutôt qu'aux têtes PM<sub>10</sub> elles-mêmes. On peut considérer que les 2 têtes PM<sub>10</sub> ont la même efficacité de pénétration et qu'elles peuvent être caractérisées par une même courbe de perméance fractionnelle.

Le graphe n°7 représente la fusion des 2 courbes de perméance fractionnelle des 2 têtes PM<sub>10</sub>.

Le diamètre de coupure expérimental ou **D<sub>50</sub>** des 2 têtes PM<sub>10</sub> est compris entre un diamètre aérodynamique de **8,35 µm** et un diamètre aérodynamique de **9,65 µm**.

**N.B. :** Il a été difficile et même impossible d'aller au-delà du diamètre aérodynamique de 9,65 µm, dû à l'absence de grosses particules dans une salle semblant présentée pourtant toutes les conditions requises.

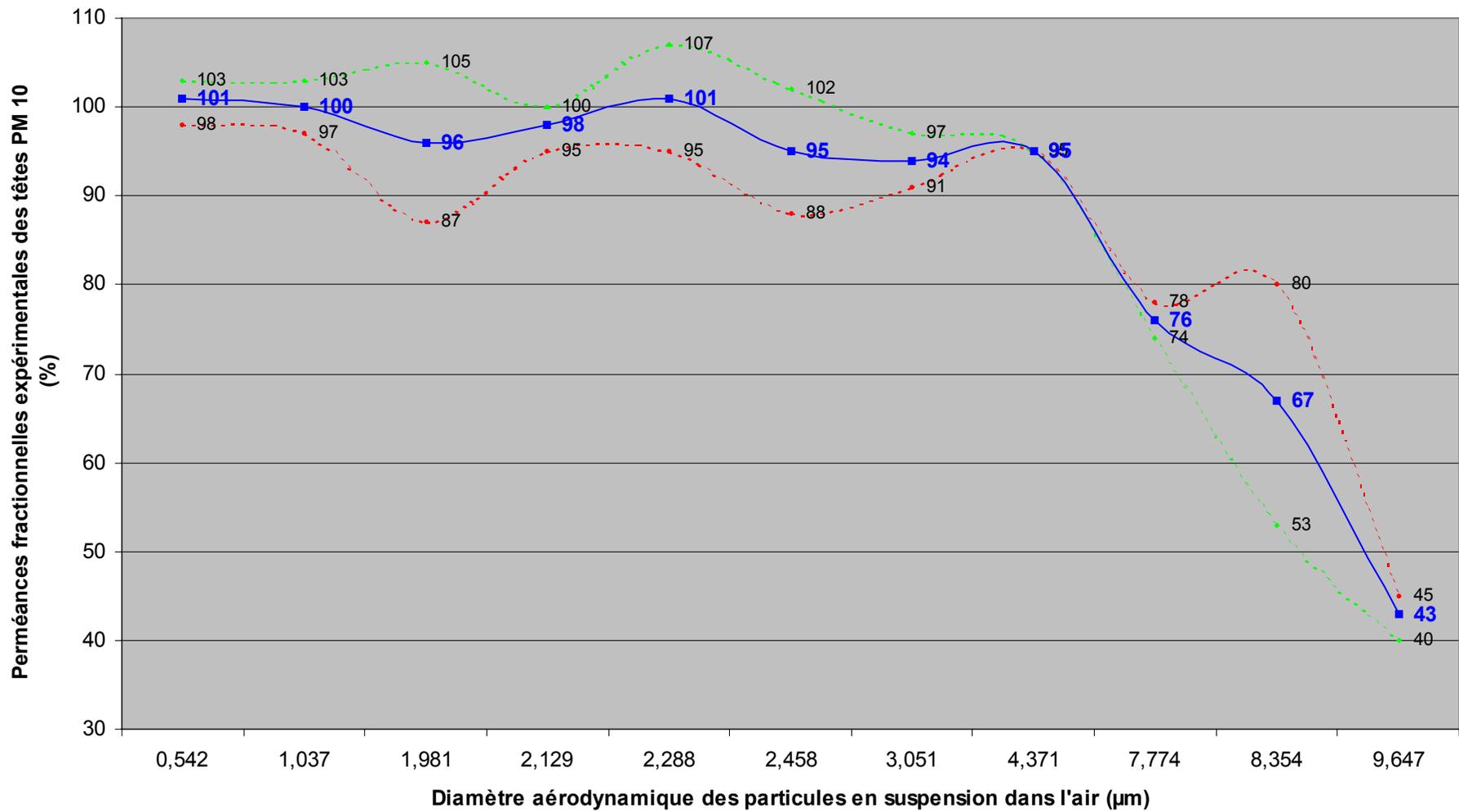
- Les 2 têtes PM<sub>10</sub> considérées comme sensiblement identiques, les courbes de perméance fractionnelle de la PM<sub>2,5</sub> issue de la PM<sub>10</sub> n°1 et de la PM<sub>2,5</sub> issues de la PM<sub>10</sub> n°2 peuvent fusionner.

Cette courbe a ensuite été rapprochée de celle caractérisant l'insert cyclonique SCC utilisé sans tête PM<sub>10</sub>. Les résultats statistiques montrent également que la PM<sub>2,5</sub> et l'insert cyclonique SCC ne sont pas significativement différents pour un niveau de confiance de 95% (le détail des calculs statistiques est présenté en annexe L).

Le graphe n°8 représente la courbe de perméance fractionnelle résultante.

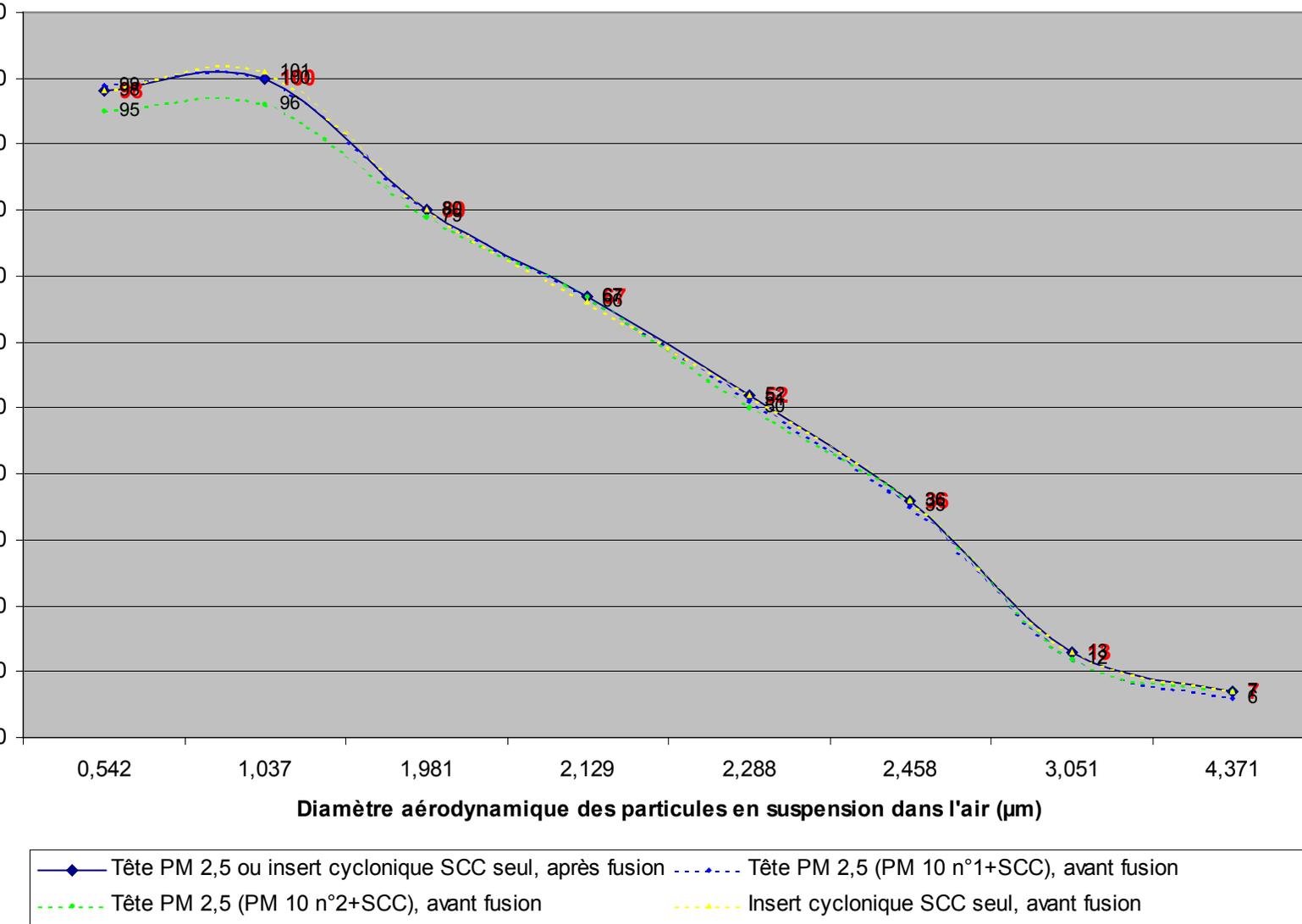
Dans **75%** des cas, le **D<sub>50</sub>** est caractérisé par le diamètre aérodynamique **2,29 µm**, le restant se partageant entre les 2 diamètres l'encadrant, soit 2,13 µm et 2,46 µm.

**Courbe de perméance fractionnelle expérimentale caractérisant les 2 têtes PM 10 (n°1 et n°2) - utilisation d'un APS TSI 3320 - en air ambiant.**



- - - Tête PM 10 n°1, avant fusion   
 - - - Tête PM 10 n°2, avant fusion   
 —■— Tête PM 10 (n°1 et n°2), après fusion

**Courbe de perméance fractionnelle expérimentale caractérisant la PM 2,5 ou l'insert cyclonique  
SCC seul - utilisation d'un APS TSI 3320 - en air ambiant.**



### DETERMINATION DU RAPPORT DES CONCENTRATIONS MASSIQUES DES PARTICULES EN SUSPENSION DANS L'AIR ( $PM_{2,5} / PM_{10}$ )

Puisque les  $PM_{10}$  n°1 et n°2 se comportent de la même manière, les résultats expérimentaux exprimés dans le tableau n°4, peuvent être confondus. La moyenne générale est égale à :

$$PM_{2,5} / [M] PM_{10} = 56\% \quad \text{avec } s = 11\%$$

[M]

[M]  $PM_{2,5}$  = Concentration massique des particules en suspension dans l'air obtenue avec la tête  $PM_{2,5}$ .

[M]  $PM_{10}$  = Concentration massique des particules en suspension dans l'air obtenue avec la  $PM_{10}$ .

**N.B. :** Les tests statistiques utilisés pour la comparaison des moyennes des rapports ont toutefois été appliqués (cf détail des calculs en annexe M).

#### 3.7.5. Conclusion

##### PERMEANCE DES TETES $PM_{10}$

Les tests statistiques de comparaison des moyennes n'ayant pas mis en évidence de différences de comportement entre la  $PM_{10}$  n°1 et la  $PM_{10}$  n°2, on peut considérer qu'elles sont sensiblement identiques.

Elles sont donc caractérisées par la même courbe de perméance fractionnelle et le même diamètre de coupure ( $D_{50}$ ) qui se situe entre un diamètre aérodynamique de **8,35  $\mu\text{m}$**  et un diamètre aérodynamique de **9,65  $\mu\text{m}$** .

Cf. graphe n°7.

##### PERMEANCE DES TETES $PM_{2,5}$ ET DE L'INSERT CYCLONIQUE SCC

Comme les 2 têtes  $PM_{10}$  sont considérées comme sensiblement identiques au regard des tests statistiques, on peut en conclure que les 2  $PM_{2,5}$  se comportent de la même manière.

Il a également été démontré que la  $PM_{2,5}$  se comportait comme l'insert cyclonique SCC utilisé sans  $PM_{10}$ . Autrement dit utiliser l'insert cyclonique SCC sans tête  $PM_{10}$  suffit à déterminer la fraction alvéolaire.

La  $PM_{2,5}$  et l'insert cyclonique SCC sont caractérisés par la même courbe de perméance fractionnelle et leur  $D_{50}$  correspond au diamètre aérodynamique **2,29  $\mu\text{m}$** . Cf. graphe n°8.

## RAPPORT DES CONCENTRATIONS MASSIQUES $PM_{2,5}$ SUR $PM_{10}$

Le rapport des concentrations massiques expérimentales  $PM_{2,5} / PM_{10}$  est égal à **56%** (avec  $s = 11\%$ ).

Ce rapport est légèrement inférieur au seuil des 60%, mentionné dans l'étude du réseau de mesures Air Languedoc Roussillon. Néanmoins, ayant conservé la même pièce de prélèvements que lors des essais des têtes associés à un COP, on peut considérer que l'origine des particules en suspension dans l'air est anthropique, compte-tenu des incertitudes de mesures élevées inhérentes à la composition de l'aérosol ambiant.

### 3.8. Conclusion générale

Pour mémoire, rappelons qu'il est attendu pour la  $PM_{10}$ , un  $D_{50}$  à 10  $\mu m$  et pour la  $PM_{2,5}$ , un  $D_{50}$  à 2,5  $\mu m$ .

Dans les conditions opératoires telles que définies dans cette étude, il est à retenir l'association des têtes de prélèvements avec un COP et l'association des têtes de prélèvement avec un APS.

Les conclusions inhérentes à l'association têtes de prélèvement – COP, bien qu'intéressantes, ne doivent être considérées qu'à titre indicatif car n'oublions pas la définition d'une  $PM_{10}$  ou d'une  $PM_{2,5}$  qui fait intervenir le diamètre aérodynamique d'une particule et non un diamètre optique (cf paragraphe 2.2.).

Les seules conclusions à retenir et caractérisant les têtes de prélèvement utilisées pour cette étude, sont celles faites en associant aux têtes  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$ , un spectromètre laser de type APS.

Dans ce schéma opératoire, il est important de dire que :

- ⇒ les 2  $PM_{10}$  sont caractérisées par la même courbe de perméance fractionnelle et donc par le même  $D_{50}$ ,
- ⇒ la  $PM_{2,5}$  et l'insert cyclonique SCC utilisé sans  $PM_{10}$ , sont également caractérisés par la même courbe de perméance fractionnelle et par le même  $D_{50}$ .  
La  $PM_{10}$  associée à un insert cyclonique SCC pour former une  $PM_{2,5}$  n'influe aucunement sur les résultats,
- ⇒ la valeur du rapport des concentrations massiques des  $PM_{2,5}$  sur celles des  $PM_{10}$  n'est donné qu'à titre de renseignement. Une grande majorité des particules en suspension dans l'air ambiant présentes dans la salle de prélèvement est d'origine anthropique (pièce en travaux).

Le tableau n°5 donne un récapitulatif des résultats expérimentaux.

	Têtes de prélèvement associées à un COP METONE 2408		Têtes de prélèvement associées à un APS TSI 3320	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub> ou SCC seul	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub> ou SCC seul
Diamètre de coupure (ou D <sub>50</sub> ) expérimental	> 10 µm	[3,0 - 5,0] µm	8,35 µm < D <sub>50</sub> < 9,65 µm	2,29 µm
D <sub>50</sub> constructeur			10,00 µm	2,50 µm
<u>Rapport des concentrations</u> massiques expérimentales PM <sub>2,5</sub> / PM <sub>10</sub>	68% (s = 12%)		56% (s = 11%)	

**Tableau n°5 :** Récapitulatif des résultats expérimentaux obtenus en associant les têtes de prélèvement avec un COP ou un APS.

Les D<sub>50</sub> expérimentaux des têtes PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont tous deux inférieurs aux D<sub>50</sub> annoncés par le constructeur.

**N.B. :** Les D<sub>50</sub> expérimentaux des têtes PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> obtenus avec le COP sont quant à eux tous deux décalés vers les grosses particules.

Les différents appareils associés aux têtes de prélèvement n'influent pas sur leurs comportements. Par contre, ils influent bien évidemment sur leurs courbes de perméance fractionnelle et donc sur leurs D<sub>50</sub>.

Maîtriser la composition de l'aérosol atmosphérique en milieu fermé (comme en milieu ouvert) est chimérique.

Obtenir un aérosol ambiant riche en grosses particules (plus particulièrement la classe granulométrique [2,0 – 20,0] µm) est des plus laborieux. Il suffit de se reporter au graphe n°5 au paragraphe 7.3.1. pour s'en rendre compte.

## ***Bibliographie***

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Norme NF ISO 5725-2 :1994
- Norme NF X 43-022 :Mai 1985
- « Statistique appliquée à l'exploitation des mesures » 2° édition CETAMA aux éditions MASSON
- « Les aérosols Physique et Métrologie » de Ms André Renoux et Denis Boulaud aux éditions Lavoisier TEC & DOC
- « Méthode EPA IO-2. Integrated Sampling of Suspended particulate matter in Ambient Air »