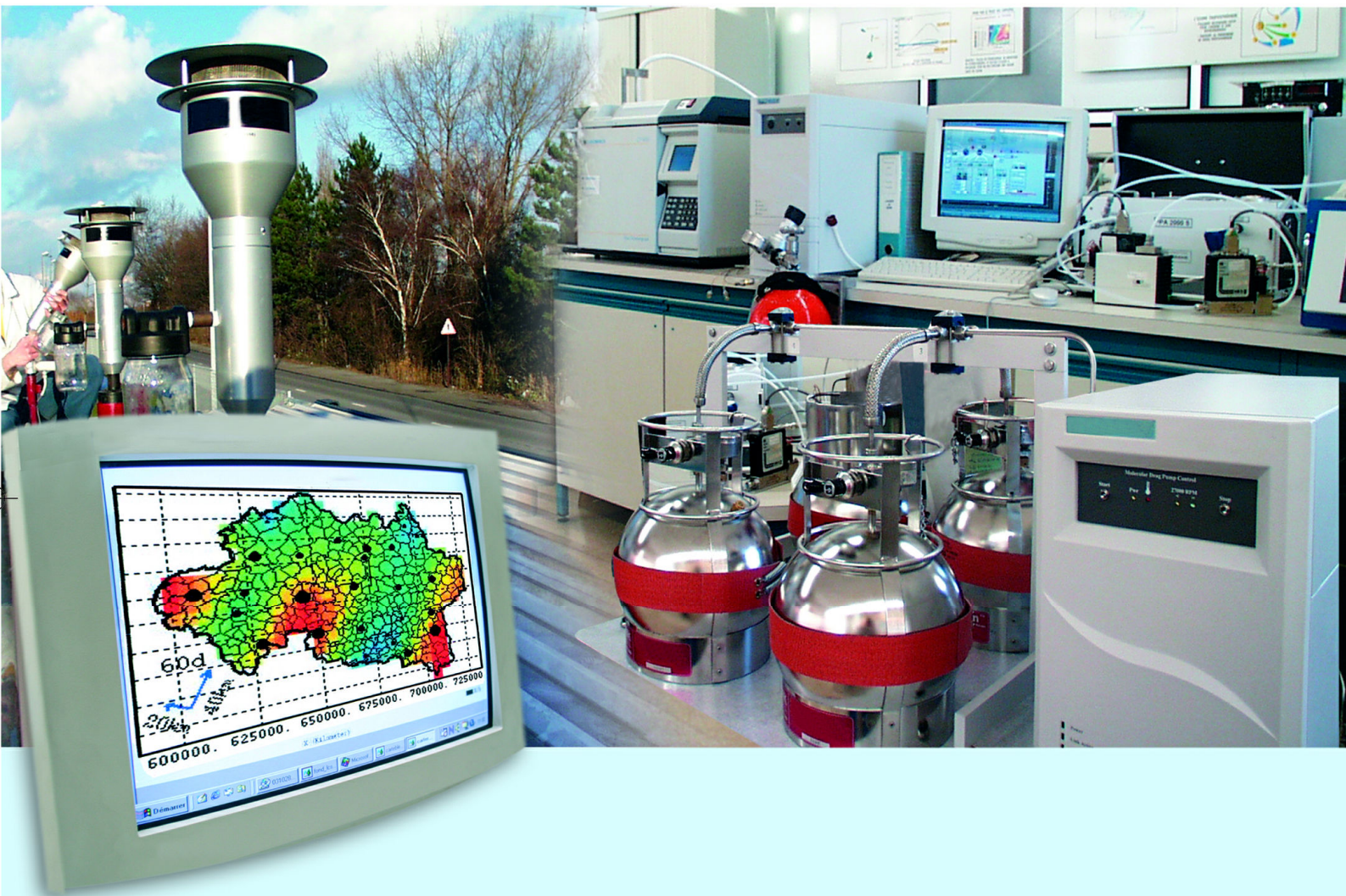


LCSQA

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Mesures indicatives des particules

**Recensement des appareils disponibles sur le marché,
besoins et retours d'expérience des AASQA**

Décembre 2006

Version finale

I Fraboulet



Ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable

PREAMBULE

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'Ecole des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement, sous la coordination technique de l'ADEME et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique supportés financièrement par la Direction des Préventions des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique aux AASQA.

L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes mais aussi dans un cadre plus prospectif destiné à fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper les évolutions futures.



Ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable

**Mesures indicatives des particules :
Synthèse du recensement des appareils
disponibles sur le marché,
des besoins et des retours d'expérience
des AASQA**

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

Thème : Polluants réglementés – particules

Programme financé par
la Direction des Préventions des Pollutions et des Risques (DPPR)

Décembre 2006

I. Fraboulet, J. Maurin, O. Le Bihan

Ce document comporte 23 pages (hors couverture et annexes) .



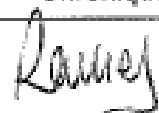
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	I. FRABOULET	O. LE BIHAN	M. RAMEL
Qualité	Ingénieur à l'unité Qualité de l'Air	Ingénieur à l'unité Qualité de l'Air	Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIERES

1. RESUME.....	3
2. CONTEXTE DE L' ETUDE	4
3. PRINCIPE PHYSIQUE DE LA MESURE INDICATIVE DES PARTICULES PAR METHODE OPTIQUE.	4
3.1 Principe des techniques de dispersion par une seule particule.....	4
3.2 Principe des techniques de dispersion par un ensemble de particules	5
4. RECENSEMENT DES APPAREILS DISPONIBLES SUR LE MARCHE.....	6
4.1 Fabricants et fournisseurs	6
4.2 Recensement des appareils et de leurs caracteristiques	7
4.3 Conclusion	10
5. RECENSEMENT DES BESOINS DES AASQA ET RETOURS D'EXPERIENCE.	10
5.1 Présentation du questionnaire.....	10
5.2 Résultats du questionnaire.....	11
5.2.1 Retours d'expérience.....	11
5.2.1.1 Objectifs des études réalisées.....	12
5.2.1.2 Résultats obtenus.....	13
5.2.2 Les besoins.	14
5.2.2.1 Applications possibles	14
5.2.2.2 Caractéristiques nécessaires	15
6. ANALYSE DES INFORMATIONS RECUEILLIES	16
6.1 Adéquation applications/appareils.....	17
6.2 Synthèse	18
7. CONCLUSION	20
8. RÉFÉRENCES	21
9. LISTE DES ANNEXES	23

1. RESUME

L'utilisation de techniques optiques pour la mesure des particules pourrait s'avérer très pertinente dans des contextes où les méthodes classiques (TEOM, jauge β , préleveur gravimétrique) montrent leurs limites (espace réduit, nécessité d'une intervention rapide, etc).

Un nombre important d'appareils est présent sur le marché. Toutefois, ils ne sont pas reconnus pour la mesure massique (PM_{10} , $PM_{2,5}$). Ceci s'explique notamment du fait qu'il s'agit le plus souvent de compteurs optiques, instruments proposant une estimation et non une mesure réelle de la concentration massique (recours à une masse volumique de l'aérosol estimée).

Ce travail faisant l'objet du présent rapport, constitue la phase 1 de l'étude « Mesures indicatives des particules », il consiste en :

- un recensement et une synthèse des caractéristiques du matériel existant ;
- une analyse des besoins et des retours d'expérience réalisée à partir d'un questionnaire envoyé à chaque AASQA.

Dix appareils de mesure indicative des particules ont été recensés, la majorité d'entre eux mis à part le Grimm et l'Osiris ne permettent pas de mesurer en parallèle plusieurs fractions granulométriques. La gamme de concentration mesurée varie selon les appareils, le Dataram 4 couvre la gamme la plus large (de 10^{-4} à 400 mg/m^3). Le coût d'acquisition de ces appareils varie de 4000 € (Sidepak, pDR 1000) à 13000 € pour le Grimm et le Dataram 4. Certains de ces appareils sont portables alors que d'autres sont intégrables dans un système fixe.

L'analyse des besoins et des retours d'expérience a permis de faire apparaître plusieurs domaines d'application pour lesquels l'utilisation de ces techniques pourraient s'avérer particulièrement pertinente. Des applications telles que l'évaluation de la qualité de l'air intérieur, l'exposition des personnes, la surveillance de sites industriels, l'intervention suite à une plainte ou un accident, la cartographie pourraient ainsi faire appel à ces techniques. Bien qu'il s'agisse d'une demande forte des AASQA, il est à ce stade difficile de relier les résultats des techniques optiques à ceux des méthodes classiques comme le TEOM et la jauge β .

Les résultats obtenus seront mis à profit lors de la seconde phase de l'étude qui consistera à tester une sélection d'appareils.

2. CONTEXTE DE L' ETUDE

Il est des contextes où la mesure des particules en suspension dans l'air ambiant (PM_{10} , $PM_{2.5}$) par les méthodes classiques (TEOM, jauge β , préleveur) n'est pas adaptée : espaces réduits, études multipoints, études préliminaires, etc.

Un nombre important d'appareils d'utilisation plus souple sont présents sur le marché. Ils fournissent non pas une mesure réelle de la concentration massique mais une estimation qui dépend de la masse volumique de l'aérosol. Ils ne sont de ce fait pas reconnus pour donner des concentrations massiques de particules.

Il apparaît cependant important de faire le point sur ce type de techniques et d'évaluer leur potentiel d'utilisation par les AASQA. Pour cela nous avons vérifié si les appareils présents sur le marché ainsi que l'usage qu'on pouvait en faire sont en adéquation avec les besoins des AASQA.

En résumé, l'étude présentée ici comporte trois objectifs principaux :

- recenser les matériels existants,
- analyser les besoins et les attentes des AASQA pour ce type de techniques,
- recenser les expériences d'utilisation de ce type de matériels dans les AASQA, afin de disposer et de capitaliser un retour d'expérience.

3. PRINCIPE PHYSIQUE DE LA MESURE INDICATIVE DES PARTICULES PAR METHODE OPTIQUE.

Ce chapitre a pour objectif de présenter le principe physique sur lequel est basé le fonctionnement des appareils de mesure optique des particules. Des informations supplémentaires peuvent être obtenues dans « Aerosol Measurement, Principles, techniques and applications ¹ ».

Le principe utilisé par ces techniques est celui de la dispersion d'une lumière incidente d'intensité I_0 par une ou plusieurs particules. La quantité de lumière I diffusée à un angle θ est alors mesurée par un néphélomètre ou un photomètre.

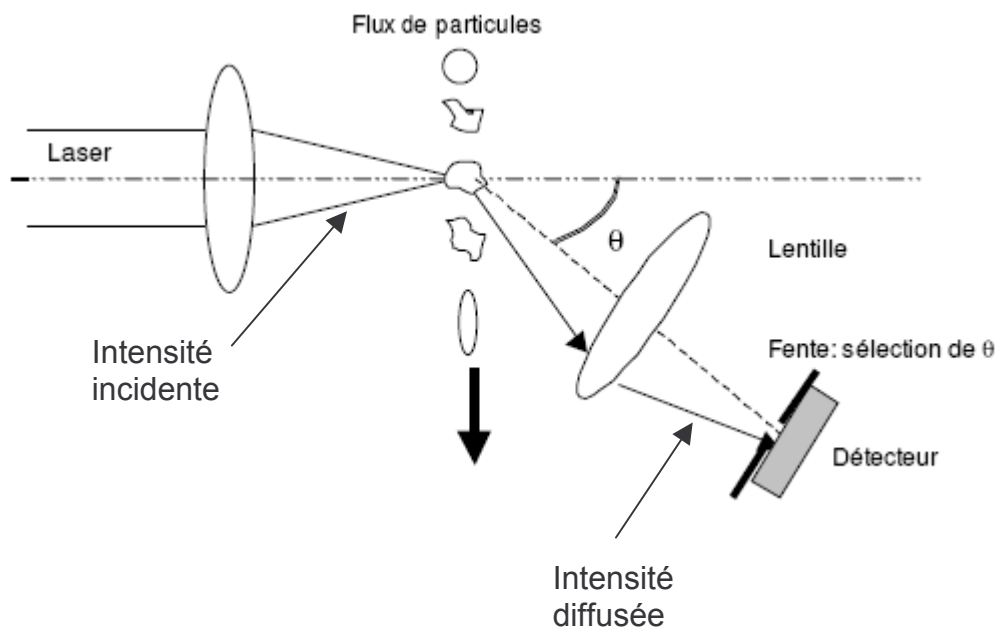
La quantité de lumière diffusée est proportionnelle à l'intensité incidente, au diamètre optique et à la concentration en nombre des particules. La concentration massique en particules est alors déterminée en faisant l'hypothèse que les particules mesurées sont sphériques et en attribuant une valeur de densité constante aux différentes fractions granulométriques de l'aérosol.

3.1 PRINCIPE DES TECHNIQUES DE DISPERSION PAR UNE SEULE PARTICULE

Cette technique permet de déterminer en simultanée le diamètre optique et la concentration massique des particules de différentes fractions granulométriques. Le principe de la mesure consiste à focaliser un faisceau incident sur une seule

particule, comme illustré ci-après. L'intensité de la lumière diffusée dépend alors directement de la taille de la particule. L'appareil réalise alors un comptage du nombre de particules selon le diamètre optique pour obtenir la concentration en nombre et en masse de l'aérosol.

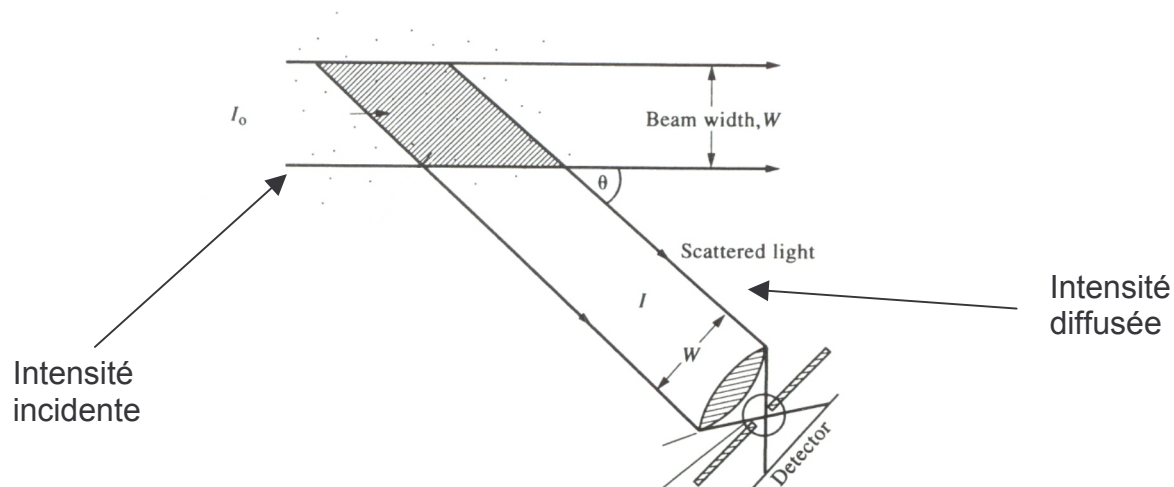
Figure 1 : Schéma de principe des techniques de dispersion par une seule particule².



3.2 PRINCIPE DES TECHNIQUES DE DISPERSION PAR UN ENSEMBLE DE PARTICULES

Ces techniques sont basées sur le principe de la dispersion de la lumière par un flux de particules. La variabilité granulométrique est prise en compte par le biais d'un diamètre optique moyen attribué à l'aérosol. L'intensité diffusée devient donc directement proportionnelle à la concentration en nombre. Cette technique nécessite de réaliser une ségrégation des particules en amont de la mesure, il n'est pas possible de mesurer la concentration des différentes fractions en parallèle.

Figure 2 : Schéma de principe des techniques de dispersion par un ensemble de

particules³

4. RECENSEMENT DES APPAREILS DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ

Le but de cette partie est de recenser les appareils disponibles sur le marché, les constructeurs et revendeurs en France. L'évaluation de ces appareils a été réalisée à partir de différents critères. Une attention particulière a par exemple été apportée à la gamme de prix, à l'autonomie, aux gammes de concentration, etc.

4.1 FABRICANTS ET FOURNISSEURS

Le Tableau 1 rassemble les appareils recensés sur le marché ainsi que leur constructeur et revendeur en France. Dix appareils ont été identifiés :

Tableau 1 : Récapitulatif appareil/constructeur/revendeur

Appareil	Constructeur	Revendeur
Microdust	Casella CE	Elstar ⁴
Dustrack	TSI	TSI France ⁵ et ICS ⁶
Sidepak	TSI	TSI France et ICS
Grimm	Grimm	ICS
Dustscan	Thermo(RP)	Ecomesure ⁷
Dataram4	Thermo	Ecomesure
pDR1000	Thermo	Ecomesure
pDR1200	Thermo	Ecomesure
Osiris	Turnkey	Equipement Scientifique ⁸
Dustmate	Turnkey	Equipement Scientifique

4.2 RECENSEMENT DES APPAREILS ET DE LEURS CARACTERISTIQUES

Le Tableau 2 rassemble les 10 appareils présents sur le marché utilisant la technique optique pour l'estimation des niveaux de concentrations en particules. Les caractéristiques suivantes ont été retenues pour l'évaluation des appareils :

- le type de mesure : nombre de particules et/ou concentration massique
- la gamme de concentration
- la faculté à mesurer simultanément différentes fractions de particules
- le type d'alimentation et la durée d'autonomie
- la température de fonctionnement
- le débit d'aspiration
- le poids et les dimensions de l'appareil
- le prix.

Tableau 2 : Récapitulatif des appareils et de leurs caractéristiques

Appareils	Microdust	Dustrack	Sidepak	Grimm	Dustscan (Scout)
Gamme de concentration (mg/m ³)	de 10 ⁻³ à 2500	de 10 ⁻² à 100	de 10 ⁻² à 20	de 10 ⁻² à 100	de 10 ⁻³ à 100
Type de mesure : nombre et/ou concentration	masse	masse	masse	masse et nombre	masse
Mesure simultanée de différentes fractions	non	non	non	oui (de 8 à 15 fractions granulométriques)	non
Alimentation n/ Autonomie	pile(20h) batterie (9h)	batterie (16h)	batterie (10-25h)	batterie (7h)	batterie (8h)
Température de fonctionnement	0-50	0-50	0-50	4-45	0-60
Débit d'aspiration n (l/min)	0 (pompe externe)	1,4 à 2,4	0,7 à 1,8	1,2	2
Poids (kg)	1	1,5	0,46	2,5	1,8
Prix (€)	6000	5000	4095	13000	5700

	Dataram4	pDR 1000	pDR 1200	Osiris	Dustmate
	de 10 ⁻⁴ à 400	de 10 ⁻³ à 400	de 10 ⁻³ à 400	de 10 ⁻⁴ à 6	de 10 ⁻⁴ à 6
	masse	masse	masse	masse et nombre	masse et nombre
	non	non	non	oui (trois fractions granulométriques)	oui
	batterie (20h)	batterie (20h)	batterie (20h)	batterie	batterie
	-10-50	-10-50	-10-50	-5-40	-5-40
	1 à 3	0 (pompe externe)	1 à 10	0,6	0,6
	5,3	0,5	0,7	3,5	1,2
	12000	4160	4820	6850	4500

D'après le Tableau 2, seuls le Grimm et l'Osiris permettent de mesurer le nombre et la concentration massique de particules et de réaliser des mesures simultanées de différentes fractions granulométriques. Le Grimm peut mesurer de 8 à 15 fractions granulométriques en parallèle, alors que l'Osiris permet d'en mesurer 3 (PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁).

Le Dataram 4 présente d'une part la gamme de concentrations la plus large (de 10⁻⁴ à 400 mg/m³), et est comme le Dustmate, et l'Osiris un des plus précis des appareils (limite de détection 10⁻⁴ mg/m³). Le Dataram 4 apparaît comme un bon compromis puisqu'il est d'une part précis et qu'il présente une large gamme de concentration.

En matière d'autonomie, le Dataram 4, les pDR et le Sidepak sont les plus performants (autonomie de l'ordre de 20h).

Le Grimm et le Dataram 4 occupent la fourchette haute en matière de coût d'acquisition (12000-13000 €). Ceci pourrait s'expliquer par la faculté du Grimm à réaliser un découpage granulométrique fin de l'aérosol et par le fait que le Dataram 4 présente une autonomie importante ainsi qu'une gamme de concentration large. Le Sidepak et le pDR 1000 sont les techniques les plus abordables (autour de 4000 €).

En terme de mobilité, il est possible de distinguer deux types d'appareils :

- les appareils portables que l'on peut tenir en main pendant la mesure, tels que le pDR 1000, le pDR 1200, le Dustmate, le Microdust, le Sidepak, le Dustscan.

- ceux intégrables dans un système fixe pouvant rester plusieurs jours sur un site, tels que le Dustscan, le Grimm, le pDR 1200, le Dataram 4, le Dusttrack, l'Osiris.

Une synthèse de ces observations est fournie dans les Tableaux 3 a et b.

Tableaux 3 (a et b) : Classement des appareils en fonction de leurs caractéristiques de fonctionnement

Paramètre	Min	Max
Gamme de concentration ([] mg/m ³)	10 ⁻² < [] < 20 Sidepak	10 ⁻⁴ < [] < 400 Dataram 4
Précision ([] mg/m ³)	10 ⁻² Sidepak, Dusttrack, Grimm	10 ⁻⁴ mg/m ³ : Dataram 4, Dustmate, Osiris
Autonomie (h)	7-8 Osiris, Grimm	20h Dataram 4, pDR, Sidepak
Coût (k€)	4-5 Sidepak, pDR	12-13 Grimm, Dataram 4
Poids (kg)	0,5 Sidepak, pDR1000	5,3 Dataram4
Débit d'aspiration (l/min)	0 (pompe externe) Microdust, pDR1000	10 pDR1200 (débit variable)
Température de fonctionnement(°C)	Jusqu'à -10 Dataram4, pDR1000, pDR1200	Jusqu'à 60 Dustscan

Paramètre	Réalisable	Non réalisable
Mesure massique et en nombre	Osiris, Grimm	Autres
Mesure simultanée des différentes fractions	Osiris, Grimm	Autres
Appareils portables (tenus en main)	pDR1000, pDR1200, Dustmate, Microdust, Sidepak, Dustscan	Osiris, Grimm, Dataram4, Dusttrack
Appareils intégrables dans un système fixe	Dustscan, Grimm, pDR1200, Dataram 4, Dusttrack, Osiris	pDR1000, Dustmate, Microdust, Sidepak

4.3 CONCLUSION

Dix appareils présents sur le marché ont pu être recensés. Il s'agit :

- d'appareils basés sur la dispersion de la lumière par une seule particule qui donnent simultanément accès à la taille et à la concentration des particules des différentes fractions granulométriques,
- d'appareils basés sur la dispersion de la lumière par un ensemble de particules qui mesurent la concentration en particules d'une fraction granulométrique donnée.

Ces appareils se différencient par les caractéristiques suivantes:

- la précision : jusqu' à 10^{-4} mg/m³ pour le Dataram 4, le Dustmate, et l'Osiris)
- la gamme de concentration : amplitude maximale pour le Dataram 4 avec une concentration massique comprise entre 10^{-4} et 400 mg/m³
- l'autonomie : durée maximale de 20h pour le Dataram 4, les pDR et le Sidepak, sachant par ailleurs que l'ensemble des appareils peuvent être branchés sur secteur
- le coût : à partir de 4000€ pour le Sidepak et les pDR 1000 et 1200 et allant jusqu'à 13000€ pour le Dataram 4 et le Grimm
- le poids : à partir de 0,5 kg pour le Sidepak et le pDR1000
- le débit d'aspiration : jusqu'à 10 l/min pour le pDR1200
- la température de fonctionnement : jusqu'à 60°C pour le Dustscan.

5. RECENSEMENT DES BESOINS DES AASQA ET RETOURS D'EXPERIENCE.

Un questionnaire a été envoyé aux AASQA afin de recueillir l'ensemble des besoins en matière de mesure indicative des particules et les retours d'expérience sur les appareils concernés. Plus de 70% d'entre elles y ont répondu. A ce titre, nous tenons à remercier les AASQA pour leur participation à l'étude ainsi que pour la qualité des réponses fournies.

5.1 PRESENTATION DU QUESTIONNAIRE.

Le questionnaire envoyé aux AASQA avait deux objectifs :

- recueillir d'éventuels retours d'expérience de la part d'AASQA ayant déjà utilisé des appareils de mesure indicative des particules.

Il était notamment demandé de préciser les objectifs des études réalisées, les résultats obtenus, ainsi que des commentaires concernant l'intérêt et les limites de ces techniques.

- faire la synthèse des besoins en terme de mesure indicative des particules.

On s'intéresse aux besoins des AASQA en terme d'applications et de caractéristiques de ces appareils. Les notions d'intervention, d'études préalables à l'installation de station de mesure et de substitution aux moyens mobiles dans le cas de manque de place y sont abordées. La gamme de prix et l'autonomie de ces appareils sont également considérées dans le questionnaire.

Il a enfin été demandé de classer par ordre d'importance les critères suivants :

- mobilité,
- portabilité
- mesure instantanée,
- hiérarchisation de points de mesures en terme de niveaux de concentration,
- rapidité d'installation,
- distinction des différentes fractions de PM,
- intégration dans un système fixe.

Il était demandé aux AASQA de répondre en précisant l'importance attribuée à chaque critère :

- 1 : très important,
- 2 : important,
- 3 : moyennement important,
- 4 : peu important.

5.2 RESULTATS DU QUESTIONNAIRE

5.2.1 RETOURS D'EXPERIENCE

Quatre AASQA ont déjà utilisé ce type d'appareil :

- Air Normand : l'Osiris et le Grimm,
- AIRPARIF : le Grimm et le Dustscan Scout,
- Atmo Poitou Charente : le Grimm,
- Atmo Rhône Alpes GIE : le Grimm.

Parmi les appareils utilisés, le Grimm est celui bénéficiant du plus grand retour d'expérience puisqu'il a été utilisé par ces quatre AASQA.

Le retour d'expérience de l'INERIS dans la mise en œuvre des appareils Grimm et Osiris est également décrit ici.

5.2.1.1 OBJECTIFS DES ETUDES REALISEES

Les objectifs des études réalisées étaient très variés :

- mesurer la décroissance des concentrations autour d'un axe routier,
- réaliser des tests métrologiques,
- étudier la qualité de l'air intérieur,
- évaluer le périmètre d'influence d'une installation industrielle,
- réaliser une étude d'évaluation du risque sanitaire,
- identifier et hiérarchiser des sources d'émissions diffuses.

➤ **AIRPARIF**

AIRPARIF a réalisé il y a plusieurs années des tests métrologiques sur le Grimm. Une étude consistant à mesurer avec un Dustscan Scout la décroissance des concentrations en PM autour d'un axe routier s'est déroulée en 2006.

➤ **Atmo Rhône Alpes GIE**

Une étude avec le Grimm est actuellement en cours. Son objectif est de mesurer la part des différentes tailles de particules dans l'air intérieur et de mesurer l'efficacité d'abattement d'un appareil de filtration. Une étude plus ancienne⁹ a également été réalisée par Atmo Rhône Alpes GIE (Ascoparg) avec le Grimm dans le périmètre d'influence d'une unité de chauffage urbain. Le but de cette étude était de comparer des méthodes de mesurage de poussières, d'estimer les retombées dans une zone résidentielle et d'évaluer l'impact sanitaire sur les populations riveraines.

➤ **ATMO Poitou-Charentes**

Une étude¹⁰ a été réalisée avec le Grimm en collaboration avec l'Université de La Rochelle afin de caractériser l'aérosol dans l'air intérieur en milieu scolaire et les échanges air intérieur - air extérieur.

➤ **AIRNORMAND**

Une étude¹¹ comparative entre différents systèmes de mesure a été réalisée. Elle concernait les techniques suivantes : le Grimm, l'Osiris, la microbalance TEOM et le granulomètre ELPI.

➤ **INERIS**

L'INERIS possède actuellement trois Osiris et un Grimm et dispose d'une expérience de terrain dans la mise en œuvre de ces techniques ainsi que dans le traitement et l'interprétation des résultats obtenus.

Les appareils Osiris¹² et Grimm¹³ ont ainsi été utilisés par l'INERIS lors de l'évaluation du risque sanitaire dues à l'exposition des riverains aux émissions de particules de sites industriels. Une étude en hygiène professionnelle¹⁴ a également été conduite avec le Grimm. L'avantage des ces appareils lors de telles études est qu'ils permettent de différencier différentes fractions (thoracique, alvéolaire) de particules, ce qui est fondamental lorsqu'on s'intéresse à l'exposition des riverains et des travailleurs.

La mesure en continu et l'acquisition des données avec un pas de temps fin, réalisées par ces techniques peuvent être mis à profit lors d'études visant à hiérarchiser des sources d'émissions. En effet, de telles études font appel à des traitements statistiques qui nécessitent une population importante de données. Une étude financée par l'ADEME visant à caractériser à l'aide d'Osiris, les concentrations dans l'air ambiant et à identifier les phases émissives de particules en site ouvert de compostage débutera au court de l'année 2007. L'appareil Osiris a également été utilisé lors d'essais d'inter comparaisons¹⁵ de différentes techniques de mesure des particules, organisés dans le cadre du projet de norme sur la quantification des émissions diffuses par modélisation inverse.

5.2.1.2 RESULTATS OBTENUS

➤ **Grimm**

L'intérêt majeur du Grimm avancé par ces études a été sa capacité à décomposer l'aérosol en 15 fractions granulométriques.

Les résultats obtenus par Atmo Rhône Alpes GIE (Ascoparg) ont montré que les concentrations de PM₁₀ mesurées par le Grimm sont inférieures à celles mesurées par le TEOM et la méthode des fumées noires. Une explication avancée pour expliquer cette observation pourrait être que ces techniques couvrent des gammes de taille relativement différentes.

Une bonne reproductibilité des résultats des appareils Grimm a été observée par AIRPARIF.

La comparaison entre le Grimm et le TEOM réalisée par AIRNORMAND a montré que les concentrations mesurées par le TEOM sont supérieures à celles mesurées par le Grimm, ce qui pourrait être du au fait que le Grimm ne mesure pas la fraction de particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 0,5 µm.

➤ **Osiris**

Mesure massique :

Les mesures réalisées par AIRNORMAND en utilisant deux Osiris en parallèle ont montré une bonne corrélation des résultats pour la mesure massique des particules les plus fines. Les résultats PM_{2,5} et PM₁ ont montré des coefficients de corrélation respectifs de 0.98 et 0.99, les coefficients de corrélation pour les PM₁₀ et les TSP sont plus faibles.

Les mesures comparatives Osiris/TEOM ont montré une bonne corrélation pour la mesure de la concentration massique en PM₁₀, en revanche les appareils Osiris ont tendance à sous-estimer la mesure des PM_{2,5}.

Mesure en nombre :

Une bonne corrélation des résultats en nombre obtenus par deux Osiris a également été observée par AIRNORMAND puisque les coefficients de corrélation étaient supérieurs à 0,95 pour les tranches granulométriques PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁.

Les essais comparatifs réalisés entre l'Osiris et l'ELPI ont montré que les concentrations en nombre enregistrées par l'ELPI sont nettement supérieures à celles mesurées par l'Osiris. Des essais réalisés avec l'Osiris et l'ELPI dans une configuration où seulement les plateaux supérieurs étaient utilisés (détection des particules de 0,6 µm à 10 µm) ont montré des résultats beaucoup plus cohérents. Ceci indique que comme le Grimm, l'Osiris ne détecte pas l'ensemble des particules, ce qui provoque une sous estimation importante du nombre de particules (compte tenu du fait que les particules les plus fines sont majoritaires en nombre au sein des PM₁₀).

➤ Comparaison Osiris/Grimm

La comparaison des mesures réalisées par un Osiris et un Grimm montre que bien qu'ils enregistrent des variations de concentrations similaires, le Grimm surestime fortement les concentrations par rapport à l'Osiris, que ce soit pour les PM₁₀ ou les PM_{2,5}.

➤ Influence des conditions météorologiques

Les résultats obtenus par AIRNORMAND ont montré que les mesures réalisées par le Grimm comme l'Osiris pouvaient être perturbées par temps de pluie. En effet, puisqu' aucun dispositif n'empêche l'entrée des gouttelettes d'eau dans les appareils; elles peuvent être comptées en tant que particules ce qui fausse la mesure.

5.2.2 LES BESOINS.

5.2.2.1 APPLICATIONS POSSIBLES

Parmi les réponses des AASQA au sujet des applications possibles des techniques de mesures indicatives des particules, certaines situations spécifiques ont été fréquemment citées.

- Le mesurage de la qualité de l'air intérieur
- Le mesurage de l'exposition des personnes
- L'évaluation de l'impact d'une activité industrielle sur son environnement, surveillance d'un site où des mesurages ne sont pas réalisés en continu,
- En cas d' accident ou plainte récurrente dans un quartier.

- L'évaluation préliminaire de la qualité de l'air dans une zone et notamment au préalable de l'installation d'une station de mesurage.
- Lorsqu'un grand nombre de points de mesurage est nécessaire (notamment pour réaliser une cartographie des concentrations en PM ou mesurer la décroissance des concentrations en PM autour d'un axe routier)
- Lorsque l'espace disponible pour les essais ne permet pas l'installation d'un moyen mobile classique (en ville ou pour des mesures en air intérieur).

5.2.2.2 CARACTERISTIQUES NECESSAIRES

- Il apparaît primordial aux AASQA d'évaluer la qualité des résultats obtenus par ces techniques et de pouvoir relier les concentrations mesurées par les indicateurs optiques à celles qui seraient mesurées par un TEOM, une jauge β voir la méthode gravimétrique.
- La plupart des AASQA semblent considérer la gamme de prix de ces appareils (4000-13000€) adaptée compte tenu de leur apports potentiels. Cependant, la partie haute de la gamme atteint les coûts des techniques couramment utilisées en routine telles que le TEOM et la jauge β .
- L'autonomie de ces appareils ne dépassant pas 20h est jugée trop faible. En effet la majorité des AASQA considère que l'autonomie de ces appareils devrait dépasser 24h afin de pouvoir réaliser des profils journaliers. Pour pallier cette limitation, ils doivent pouvoir être branchés sur l'alimentation électrique.

Les résultats du classement par ordre d'importance des différents critères sont présentés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Evaluation de l'importance d'après les AASQA des différents critères proposés (% des réponses)

Critère jugé	Très important	Important	Moyennement important	Peu important
Mobilité (<5kg)	47	35	12	6
Portabilité (<1.5kg)	19	38	31	13
Mesurage instantané	33	22	44	0
Hierarchisation de points de mesures en terme de niveaux de concentration	56	31	13	0
Rapidité d'installation	38	56	6	0
Distinction des différentes fractions de PM	53	29	18	0
Possibilité d'être laissé sur site	59	24	18	0

Parmi les critères proposés aux AASQA, les suivants sont jugés majoritairement comme très importants :

- la hiérarchisation des points de mesurages en terme de niveaux de concentrations (56%),
- la distinction des différentes fractions de PM (53%),
- la possibilité de réaliser des mesurages longues durées en laissant les appareils sur site (59%).

La rapidité d'installation est majoritairement jugée comme importante (56%).

Les autres critères (mobilité, portabilité, mesurage instantané) sont jugés moyennement importants à importants.

6. ANALYSE DES INFORMATIONS RECUEILLIES

L'objectif de cette analyse est de mettre en parallèle les caractéristiques des appareils recensés avec les besoins et les retours d'expérience des AASQA. Cette analyse permettra de déterminer pour les différents domaines d'application envisagés, une ou plusieurs techniques adéquates.

Les appareils recensés dans cette étude peuvent répondre différemment aux besoins exprimés par les AASQA :

- de part leur faible taille ils conviennent à des mesures d'air intérieur, ou des mesures en extérieur quand il n'y a pas la place pour un moyen mobile.
- ils sont rapides et facilement transportables pour effectuer des mesures ponctuelles (accident, plainte de riverain).

- ils peuvent permettre d'effectuer des campagnes de mesures de particules à un endroit où ils peuvent être branchés sur le secteur, leur batterie ne leur assurant pas une autonomie suffisante.

6.1 ADEQUATION APPLICATIONS/APPAREILS

Le Tableau 5 rassemble pour chaque application, les contraintes associées et les techniques pouvant répondre à ces contraintes.

Pour des mesurages tels que ceux liés à l'exposition des personnes ou à l'évaluation de la qualité de l'air intérieur ; nécessitant la caractérisation des fractions granulométriques de l'aérosol, on pourra faire appel au Grimm ou à l'Osiris.

Les études préliminaires réalisées avant l'installation d'une station de mesurage pour évaluer les niveaux de concentrations en PM₁₀ par exemple ne nécessiteront pas de mesurage en nombre ni même de mesurage instantané des différentes fractions granulométriques.

Les interventions suite à un accident ou une plainte nécessiteront des techniques portables telles que le pDR 1000, le pDR 1200, le Dustmate, le Microdust, le Sidepak, le Dustscan.

Les mesurages visant à surveiller un site industriel ou à évaluer son impact industriel sur l'environnement nécessitent des techniques autonomes ou à défaut des dispositifs qui peuvent être laissés sur place pendant des périodes longues. Les appareils tels que le Dustscan, le Grimm, le pDR 1200, le Dataram 4, le Dusttrack, et l' Osiris pourront répondre à cette contrainte.

Les applications de type cartographie ou évolution le long d'un axe des concentrations en PM nécessitent le déploiement d'un nombre important d'appareils. Ceci est déjà réalisé avec les préleveurs passifs dans le cas de la mesure de certains polluants gazeux. Or le prix des indicateurs optiques est plus élevé que celui des systèmes de prélèvement passif des polluants gazeux. De telles applications pourront être réalisées grâce aux techniques les plus abordables telles que le Sidepak et le pDR 1000 afin d'en limiter les coûts.

Tableau 5 : Récapitulatif application/contraintes/techniques adéquates

Application	Contraintes	Techniques adéquates
Exposition des personnes/ Qualité de l'air intérieur	Caractérisation des fractions granulométriques	Grimm ou Osiris
Intervention suite à un accident/une plainte	Techniques portables	pDR 1000, pDR 1200, Dustmate, Microdust, Sidepak, Dustscan
Surveillance de site industriel	Autonomie/Rusticité (pouvant être laissé sur place)	Dustscan, Grimm, pDR 1200, Dataram 4, Dusttrack, Osiris.
Cartographie	Nécessité d'un nombre d'appareil important, coût par appareil faible	Sidepak, pDR 1000

6.2 SYNTHÈSE

Le Tableau 6 synthétise les informations recueillies sur les appareils recensés. Il présente pour chaque appareil :

- les avantages,
- les inconvénients,
- s'il existe ou non un retour d'expérience,
- les applications pour lesquelles il pourrait s'avérer pertinent.

Tableau 6 : Synthèse des informations recueillies sur chaque appareil.

Appareil	Avantages	Inconvénients	Retour d'expérience	Applications possibles
Microdust	Autonomie Poids	Pompe externe nécessaire	non	➤ intervention suite à un accident/une plainte
Dusttrack	Coût Intégration possible dans un système fixe	Précision	non	➤ surveillance de sites industriels
Sidepak	Autonomie Poids Coût	Précision	non	➤ intervention suite à un accident/une plainte ➤ cartographie
Grimm	Distinction de plusieurs fractions granulométriques (15 maximum) Mesure masse et nombre	Précision Coût Autonomie Perturbation possible des résultats par les conditions météorologiques	oui	➤ air intérieur, ➤ évaluation de l'exposition des personnes, ➤ surveillance de sites industriels.
Dustscan (Scout)		Autonomie	non	➤ intervention suite à un accident/une plainte ➤ surveillance de sites industriels
Dataram4	Précision Gamme de concentrations		non	➤ surveillance de sites industriels

	large Autonomie			
pDR 1000	Autonomie Poids Coût	Pompe externe nécessaire	non	<ul style="list-style-type: none"> ➤ intervention suite à un accident/une plainte ➤ cartographie
pDR 1200	Autonomie Poids Coût Intégration dans un système fixe		non	<ul style="list-style-type: none"> ➤ intervention suite à un accident/une plainte ➤ surveillance de sites industriels
Osiris	Distinction de plusieurs fractions granulométriques (3 maximum) Mesure masse et nombre Intégration dans un système fixe Précision	Autonomie	oui	<ul style="list-style-type: none"> ➤ air intérieur, ➤ évaluation de l'exposition des personnes, ➤ surveillance de sites industriels
Dustmate	Mesure masse et nombre		non	<ul style="list-style-type: none"> ➤ intervention suite à un accident/une plainte

7. CONCLUSION

L'utilisation de techniques optiques pour le mesurage des particules pourrait s'avérer très pertinente dans des contextes où les méthodes classiques (TEOM, jauge β , préleveur gravimétrique) montrent leurs limites (espace réduit, nécessité d'une intervention rapide, etc). Un nombre important d'appareils est présent sur le marché. Toutefois, ils ne sont pas reconnus pour la mesure massique (PM₁₀, PM_{2,5}) car ils proposent une estimation et non un mesurage réel de la concentration massique.

Cette synthèse constitue la phase 1 de l'étude « Mesure indicative des particules ». Son but a été d'une part de réaliser un recensement des indicateurs optiques disponibles sur le marché, et d'autre part d'évaluer à travers un questionnaire les besoins et les retours d'expérience des AASQA dans les applications et la mise en œuvre de ces techniques.

Dix appareils de mesurage indicatif des particules ont été recensés, la majorité d'entre eux mis à part le Grimm et l'Osiris ne permettent pas de mesurer en parallèle plusieurs fractions granulométriques. La gamme de concentration mesurée varie selon les appareils, le Dataram 4 couvre la gamme la plus large (de 10^{-4} à 400 mg/m³). Le coût d'acquisition de ces appareils varie de 4000 € (Sidepak, pDR 1000) à 13000 € pour le Grimm et le Dataram 4. Certains de ces appareils sont portables alors que d'autres sont intégrables dans un système fixe.

L'analyse des besoins et des retours d'expérience a permis de faire apparaître plusieurs domaines d'application pour lesquels l'utilisation de ces techniques pourraient s'avérer particulièrement pertinente. Des applications telles que l'évaluation de la qualité de l'air intérieur, l'exposition des personnes, la surveillance de sites industriels, l'intervention suite à une plainte ou un accident, la cartographie pourraient ainsi faire appel à ces techniques. Bien qu'il s'agisse d'une demande forte des AASQA, il est à ce stade difficile de relier les résultats des techniques optiques à ceux des méthodes classiques comme le TEOM et la jauge β .

Bien que les appareils de mesurage indicatif des particules soient relativement peu connus des AASQA, quatre d'entre elles les ont déjà testés dans des applications très variées. Le Grimm apparaît dans ce cadre comme le plus testé. Les retours d'expérience montrent notamment que le mesurage réalisé par le Grimm et l'Osiris peut être altérée en cas de précipitations.

L'analyse des informations recueillies lors du recensement et du questionnaire a permis d'établir les avantages et inconvénients de chaque technique, et de déterminer pour les différentes applications envisagées, une ou plusieurs techniques adaptées. L'ensemble de ces informations sera mis à profit pour préciser le plan d'expérience des essais définis dans la phase 2 de l'étude .

8. REFERENCES

- ¹ P.A. Baron, K. Willeke, Aerosol measurement, Principles, techniques and applications, Second edition
- ² O. Blanchard, F. Del Gratta, M. Durif, E. Fréjafon, O. Le Bihan, Exposition par inhalation aux aérosols - principes et méthodes de mesures, Rapport d'étude INERIS, 2004.
- ³ J.H. Vincent ,1995, Aerosol Science for Industrial Hygienists, Pergamon.
- ⁴ ELSTAR Prévention , 11 rue Jean Mermoz 75008 PARIS
- ⁵ TSI France Inc., Europarc Bât. D, 26, rue John Maynard Keynes, Technopôle de Château-Gombert, 13013 Marseille France
- ⁶ INTERTEK / ICS 91 rue du Général de Gaulle 27100 - Le Vaudreuil France
- ⁷ ECOMESURE, B.P. 13 - F-91640 Janvry
- ⁸ EQUIPEMENTS SCIENTIFIQUES, 127 rue de Buzenval, 92380 GARCHES
- ⁹ Etude ASCOPARG, Campagne de mesure sur les particules en suspension, Echirolles Hiver 1996-1997
- ¹⁰ Etude de l'impact de la pollution atmosphérique sur l'exposition des enfants en milieu scolaire, Programme Primequal, Décembre 2002
- ¹¹ S.Loriot, La surveillance des particules en suspension dans l'air état des lieux et perspectives, Air Normand 2001
- ¹² Connaissance de l'exposition par inhalation au voisinage des sites de compostage, Rapport d'avancement N°1, Contrat ADEME N°05 75 C 0008 I. FRABOULET, M. DURIF, C. HONORE
- ¹³ Evaluation des risques sanitaires (1^{er} niveau d'approche) liés à l'utilisation des scories lors d'activités de sablage.C. MANDIN, M. DURIF-Septembre 2003
- ¹⁴ Etude de l'exposition professionnelle vis-à-vis des produits cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction conformément au décret n°2001-97, JF. VAUDOISOT, O. BLANCHARD, R.AUJAY, Octobre 2002
- ¹⁵ INERIS contribution to the Round Robin Test for standardisation of Fugitive Dust Emission Rate Estimates by Reverse-Dispersion Modelling - M DURIF - Mai 2005

9. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Fiche LCSQA 2006 Indicateurs optiques	1 A4
Annexe 2	Questionnaire indicateurs optiques	3 A4