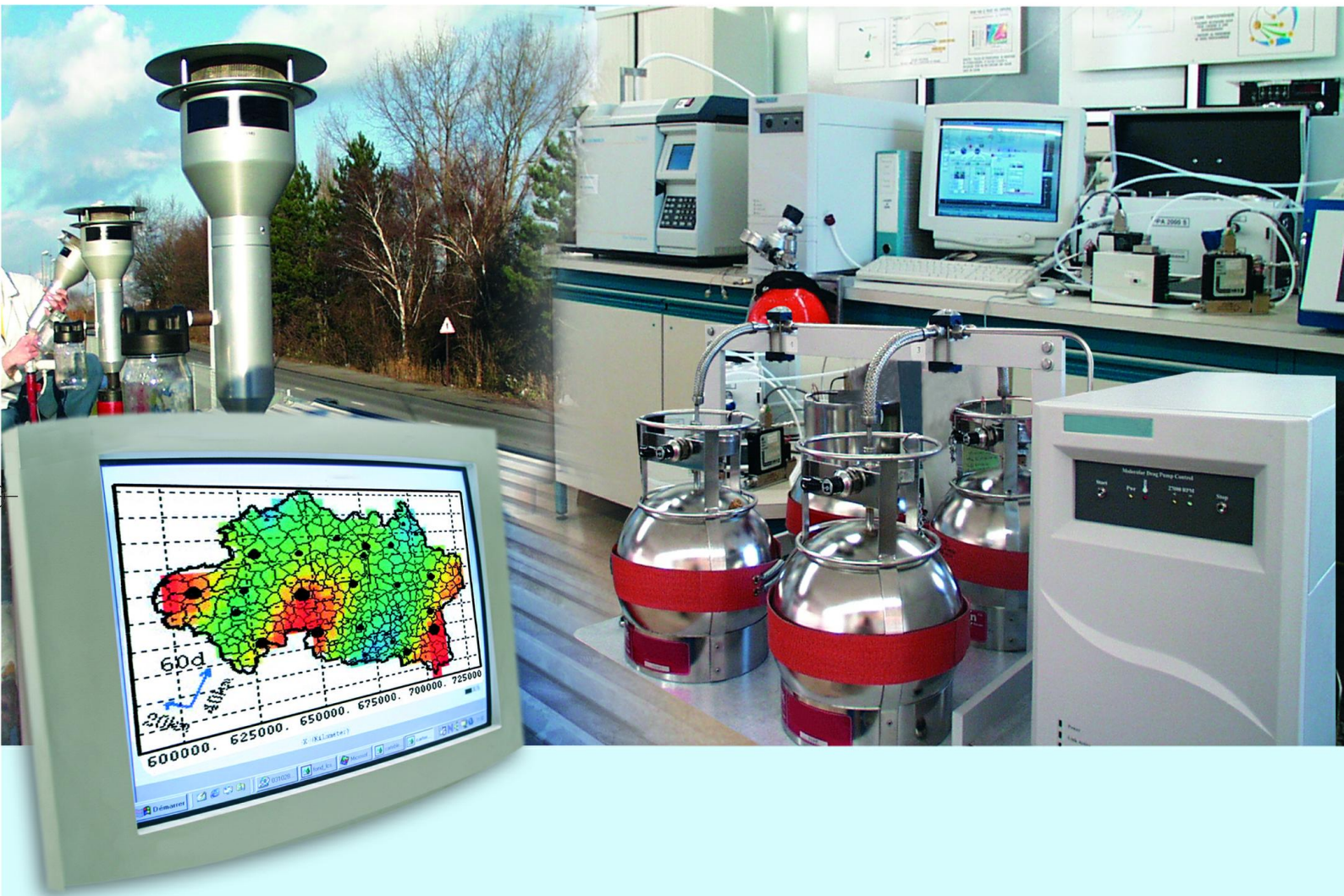




Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Air intérieur

Evaluation des performances métrologiques des appareils de mesure spécifiques de l'air intérieur

Décembre 2008

Programme 2008

C. MARCHAND





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'École 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 le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 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.



Evaluation des performances métrologiques des appareils de mesure spécifiques de l'air intérieur

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

Thème : Air intérieur

Programme financé par le
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer
(MEEDDM)

2008

C. MARCHAND, F. GODEFROY

Ce document comporte 24 pages (hors couverture et annexes)




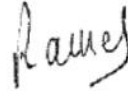
	Rédaction	Vérification	Approbation	
NOM	C. MARCHAND	M. DURIF	D. GOMBERT	M. RAMEL
Qualité	Ingénieur à l'unité "Milieux"	Responsable de l'unité "Milieux"	Directeur adjoint, Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA/NERIS, Direction des Risques Chroniques
Visa				

TABLE DES MATIÈRES

RESUME	7
1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS	9
2. PRESENTATION DE L'ENQUETE REALISEE AUPRES DES AASQA	9
3. BILAN DES APPAREILS DISPONIBLES AU SEIN DES AASQA ET RETOUR D'EXPERIENCE	10
3.1 Polluants de l'air intérieur mesurés par les AASQA	10
3.2 Retours techniques des AASQA sur les appareils utilisés	11
3.2.1 COV.....	11
3.2.2 Aldéhydes.....	13
3.2.3 PM ₁₀	13
3.2.4 NO _x	16
3.2.5 CO	16
3.2.6 Autres polluants.....	17
3.3 Veille météorologique pour les polluants mesurés majoritairement par les AASQA.....	17
4. BESOINS METROLOGIQUES DES AASQA POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR	20
4.1 Critères d'utilisation des matériels en air intérieur	20
4.2 Besoins d'évaluation d'appareils	22
5. CONCLUSION	23
6. REFERENCES	24
7. LISTE DES ANNEXES	24

LISTE DES ABREVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AASQA : Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air

BTX : benzène, toluène, xylènes

CO : Monoxyde de carbone

CO₂ : Dioxyde de carbone

COV : Composés organiques volatils

DNPH : Dinitrophénylhydrazine

ENSP-LERES : Laboratoire d'études et de recherche en environnement et santé de l'Ecole nationale de santé publique

FSM : Fondation Salvatore Maugeri

GC-FID : Chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme

GC-MS : Chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

HPLC-UV : Chromatographie liquide haute performance couplée à un détecteur ultra-violet

H₂S : Sulfure d'hydrogène

ICP-MS : Spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif

LASAIR : Laboratoire d'analyses pour la surveillance de l'air interrégional

LCSQA : Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air intérieur

LIC : Laboratoire interrégional de chimie

NH₃ : Ammoniac

NO_x : Oxydes d'azote

NO₂ : Dioxyde d'azote

NR : Non renseigné

PM_{2.5} : Particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 1 µm.

PM_{2.5} : Particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 2.5 µm.

PM₁₀ : Particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µm.

QAI : Qualité de l'air intérieur

SO₂ : Dioxyde de soufre

TEOM : *Tapered Element Oscillating Microbalance* (microbalance constituée d'un élément oscillant à sa fréquence naturelle)

RESUME

La métrologie des polluants de l'air intérieur nécessite de tenir compte de paramètres et contraintes propres aux environnements clos. Ainsi, les appareils de mesure doivent être silencieux (l'expérience montrant que les pompes de prélèvement sont parfois stoppées par les occupants des locaux investigués), peu encombrants (compte tenu de l'espace limité, dans un logement, ou déjà largement occupé, cas des écoles et gymnases par exemple) et ainsi avoir un impact minimal sur le confort des occupants.

Cette étude du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) avait pour premier objectif de faire un bilan, pour plusieurs polluants majeurs de l'air intérieur, des matériels potentiellement disponibles au sein des Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) et de leur adéquation vis-à-vis des spécificités des études d'évaluation de la qualité de l'air intérieur (QAI). Par ailleurs, une veille sur les nouveaux appareils mis sur le marché dédiés à la mesure de l'air en environnement intérieur a été effectuée.

Cette étude avait pour second objectif d'analyser les besoins métrologiques spécifiques à la mesure des polluants de l'air intérieur, en cherchant à définir les attentes vis-à-vis des appareillages concernés et à identifier les synergies possibles avec des dispositifs déjà utilisés pour le suivi de la qualité de l'air ambiant.

Ainsi, une enquête a été réalisée auprès de l'ensemble des AASQA, l'objectif étant de recenser les travaux réalisés sur la mesure des polluants de l'air intérieur en vue de disposer et de capitaliser un retour d'expérience technique sur les différents appareillages utilisés (en complément des bilans sur la contribution des AASQA à une meilleure connaissance de la QAI) et de réaliser une analyse des besoins métrologiques des AASQA spécifiques à la mesure des polluants de l'air intérieur.

L'enquête réalisée auprès des AASQA a montré que parmi les mesures réalisées en environnement intérieur, les composés majoritairement étudiés¹ sont les composés organiques volatils dont les BTX, les PM₁₀ (en masse), les aldéhydes dont le formaldéhyde, les oxydes d'azote (NOx) dont le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde de carbone (CO).

Les infrastructures de transport sont les environnements intérieurs les plus étudiés² par les AASQA, suivis par les lieux de vie des enfants et les ambiances de travail.

De manière générale, les retours d'expérience de terrain des AASQA sur les mesurages en environnement intérieur confirment que le type de matériel à mettre en œuvre est dépendant de l'étude à mener et varie ainsi selon le type d'environnement intérieur étudié (espace public à grand volume, lieu plus confiné tel un logement ou une école) et les objectifs de l'étude (suivi de variations de concentrations, détermination d'une concentration moyenne, détermination de sources, ...).

Il ressort que les analyseurs automatiques (CO, NOx, ...) ainsi que le TEOM, destinés à l'air ambiant, sont largement utilisés. Bien qu'ils offrent un suivi dynamique du polluant au cours du temps, ils sont bruyants, volumineux et lourds. De plus, leur coût ne permet pas une multiplication des points de prélèvement. Leur utilisation en environnement intérieur semble se limiter aux lieux publics fortement fréquentés et présentant de vastes espaces. Les échantillonneurs passifs, en revanche, sont plus adaptés à la problématique de la QAI de par leur facilité d'utilisation, leur faible encombrement, leur aspect silencieux et

¹ En nombre d'AASQA ayant mesuré ces composés et non en nombre d'études portant sur ces composés.

² En nombre d'AASQA ayant étudié ce type de lieu et non en nombre d'études portant sur ce type de lieu.

leur portabilité. Cependant, ils n'offrent pas de suivi dynamique et ne sont pas adaptés à la recherche directe de sources.

Les matériels dédiés à l'évaluation de la QAI doivent en priorité être peu bruyants, permettre un suivi en continu des concentrations sur plusieurs heures et être autonomes en énergie. Ces matériels doivent présenter des performances métrologiques adaptées (précision et limite de détection inférieures au ppb) et pouvoir être installés facilement et rapidement. En vue de multiplier les points de prélèvements sur site, le prix a également été mentionné comme un critère de choix. La possibilité d'avoir une mesure instantanée ou un temps de réponse rapide a également été jugée importante.

Cette liste des critères à prendre en considération dans l'évaluation des matériels destinés à la QAI ainsi que le poids à accorder à chacun d'entre eux sont pris en compte dans les évaluations de matériels dédiés à cette thématique.

Enfin, les principales attentes en terme d'évaluation métrologique ont été exprimées. La priorité doit porter sur les moyens de mesures dédiés aux particules et aux aldéhydes :

- pour les aldéhydes, évaluation des appareils de mesure en continu ainsi que des moyens de prélèvement actifs et passifs ;
- pour les particules, évaluation des préleveurs (type MicroVol, Chempass) ainsi que des compteurs optiques (type Grimm).

Les travaux LCSQA 2008 sur le formaldéhyde et les indicateurs optiques pour la mesure des particules (qui seront poursuivis en 2009) contribuent à répondre à ces deux attentes principales.

Plus ponctuellement, des besoins d'évaluation de préleveurs automatiques séquentiels ainsi que d'appareils de mesure du CO₂ ont été exprimés.

1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS

La métrologie des polluants de l'air intérieur nécessite de tenir compte de nombreux paramètres et contraintes propres aux environnements clos.

Ainsi, les appareils de mesure doivent être silencieux (l'expérience montrant que les pompes de prélèvement sont parfois stoppées par les occupants des locaux investigués), peu encombrants (compte tenu de l'espace limité, dans un logement, ou déjà largement occupé, cas des écoles et gymnases par exemple) et ainsi avoir un impact minimal sur le confort des occupants.

Cette étude du LCSQA avait pour premier objectif de faire un bilan, pour plusieurs polluants majeurs de l'air intérieur, des matériels disponibles au sein des AASQA et de leur adéquation vis-à-vis des spécificités des études d'évaluation ou de suivi de la qualité de l'air intérieur (QAI).

Cette étude avait pour second objectif d'analyser les besoins métrologiques spécifiques à la mesure des polluants de l'air intérieur, en cherchant à définir les attentes vis-à-vis des appareillages concernés et à identifier les synergies possibles avec des dispositifs déjà utilisés pour le suivi de la qualité de l'air ambiant.

2. PRESENTATION DE L'ENQUETE REALISEE AUPRES DES AASQA

Une enquête a été réalisée auprès de l'ensemble des AASQA.

L'objectif de cette enquête était de recenser les travaux réalisés sur la mesure des polluants de l'air intérieur en vue de disposer et de capitaliser un retour d'expérience technique sur les différents appareillages utilisés (en complément des bilans sur la contribution des AASQA à une meilleure connaissance de la QAI) et de réaliser une analyse des besoins métrologiques des AASQA spécifiques à la mesure des polluants de l'air intérieur.

Le questionnaire adressé à l'ensemble des AASQA se trouve en Annexe 2.

Le taux de participation à l'enquête est de 77%, soit 23 AASQA sur 30³.

Parmi les retours, 70% des AASQA (soit 16 d'entre elles) ont déjà effectué des mesures en air intérieur. Ces mesures ont été effectuées, pour 88% des AASQA, dans le cadre d'études ou de prospection et pour 75% d'entre elles dans le cadre d'interventions sur plaintes. Le type de lieu le plus fréquemment étudié correspond aux infrastructures de transport, suivies des lieux de vie des enfants. Le Tableau 1 présente le détail des différents environnements intérieurs étudiés lors de ces mesures.

L'ensemble des autres réponses obtenues lors de cette enquête sont traitées séparément dans les chapitres 3 et 4 de ce document.

³ Le Groupe d'Intérêt Économique Atmo Rhône-Alpes constitué des associations SUP'Air, AMPASEL, ASCOPARG, Air de l'Ain et des pays de Savoie, COPARLY et Atmo Drôme Ardèche ayant répondu globalement.

Tableau 1 : Types d'environnements intérieurs principalement étudiés par les AASQA

Type de lieu	% d'AASQA* ayant réalisé des mesures dans ce contexte
Infrastructures de transport	
Aéroport, gare, métro, station tramway souterraine, habitacle de voiture, parking souterrain, tunnel	81
Lieux de vie des enfants	
Crèche, halte garderie, école primaire et maternelle, lycée	63
Ambiances de travail	
Bureau (bâtiment tertiaire), mairie de quartier, bibliothèque, laboratoire, cabine péage autoroutier	56
Habitations	31
Lieux de loisir	
Cinéma, salle de spectacle, gymnase, centre nautique, piscine, bar, restaurant, galerie commerciale	31

* : Le pourcentage est calculé sur la base des AASQA ayant déjà réalisé des mesures en air intérieur et ayant répondu au questionnaire.

N.B : des mesures ponctuelles ont également été réalisées en maison de retraite.

3. BILAN DES APPAREILS DISPONIBLES AU SEIN DES AASQA ET RETOUR D'EXPERIENCE

Dans un premier temps, l'objectif de cette étude était de faire un bilan, pour plusieurs polluants majeurs de l'air intérieur, des matériels disponibles au sein des AASQA et de leur adéquation vis-à-vis des spécificités des études d'évaluation ou de suivi de la qualité de l'air intérieur.

3.1 POLLUANTS DE L'AIR INTERIEUR MESURES PAR LES AASQA

L'enquête réalisée a montré que parmi les AASQA ayant déjà réalisé des mesures en air intérieur, les composés majoritairement étudiés (i.e. par plus de 60% d'entre elles) étaient :

- les composés organiques volatils (COV) dont le benzène, le toluène et les xylènes ;
- les PM₁₀ (en masse) ;
- les aldéhydes dont le formaldéhyde ;
- les oxydes d'azote (NOx) dont le dioxyde d'azote (NO₂) ;
- le monoxyde de carbone (CO).

Plus ponctuellement (i.e. par moins de 40% des AASQA ayant déjà réalisé des mesures en air intérieur), les composés suivants ont été mesurés : PM_{2.5} (masse et/ou nombre), ozone, métaux particuliers, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), dioxyde de soufre (SO₂), sulfure d'hydrogène (H₂S), PM₁₀ (en nombre), dioxyde de carbone (CO₂), chloramines, PM₁ (en nombre), ammoniac (NH₃), pesticides, fumées noires.

Le détail des données se trouve dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Détail des composés mesurés par les AASQA

Composé mesuré	% d'AASQA* mesurant ce composé
COV	88%
PM ₁₀ (masse)	81%
Aldéhydes, NOx	75%
CO	69%
PM _{2,5} (masse)	38%
Ozone, Métaux particuliers	31%
HAP	25%
SO ₂	19%
PM ₁₀ et PM _{2,5} (nombre), H ₂ S, CO ₂ , Chloramines	13%
PM ₁ (nombre), NH ₃ , Pesticides, Fumées noires	6%

* : Le pourcentage est calculé sur la base des AASQA ayant déjà réalisé des mesures en air intérieur et ayant répondu au questionnaire.

3.2 RETOURS TECHNIQUES DES AASQA SUR LES APPAREILS UTILISES

Ce chapitre traite des retours techniques sur les différents appareils utilisés pour la mesure des polluants de l'air intérieur étudiés par les AASQA.

3.2.1 COV

Le détail des réponses obtenues est consigné dans le Tableau 3.

Les composés organiques volatils (COV) sont majoritairement prélevés sur tubes passifs (Radiello code 130 ou 145), avec une durée d'échantillonnage comprise entre 24 h et 2 semaines, la durée la plus fréquente étant d'une semaine. Les analyses sont ensuite réalisées en laboratoire par GC-FID pour les Radiello code 130 et par désorption thermique couplée à un GC-FID ou GC-MS pour les Radiello code 145. Les analyses sont soit sous-traitées à la Fondation Salvatore Maugeri (FSM) en Italie ou confiées au laboratoire d'une d'AASQA, tel que le LIC de l'ASPA et le LASAIR d'Airparif.

Concernant la mesure du benzène, des recommandations ont été émises par le LCSQA, issues des travaux de l'EMD et de l'INERIS⁴.

Les retours d'expérience des AASQA sur ce type de dispositif montrent que ces derniers ont le principal avantage d'être silencieux, de présenter un faible encombrement et d'être simples à utiliser. En revanche, ils ne permettent pas de suivi dynamique de la concentration, puisque le résultat de mesure est obtenu en différé, et ne sont pas adaptés pour identifier directement des sources.

La méthode alternative pour la mesure des COV est le prélèvement par canister, pendant une durée d'échantillonnage comprise entre 3 h et 24 h, avec analyse par GC-FID.

⁴ Rapport LCSQA EMD-INERIS. Mesure du benzène 2/3 : Projet de Guide de recommandations concernant la mesure du benzène dans l'air ambiant". 2007 (<http://www.lcsqa.org/thematique/metrologie/mesure-du-benzene>).

Tableau 3 : Retours techniques des AASQA sur la mesure des COV et aldéhydes

Polluant	Prélèvement			Analyse			+/-	
	Technique	Types de support utilisés	Durée prélèvement (Débit)	Type d'analyse	Prestataire	Ld	Avantages	Inconvénients
COV	Tube passif Mesure indirecte	Tubes Radiello : code 130 ou code 145	2 semaines	- Code 145 : GC-FID ou GC-MS (désorption thermique) - Code 130 : GC-FID	FSM LIC (ASPA) LASAIR (AIRPARIF)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) B : 0,05 T : 0,01 E : 0,01 X : 0,01	- Facilité d'utilisation, de mise en oeuvre - Bonne représentativité spatiale - Faible encombrement - Silencieux - Coût (peu onéreux) - Possibilité de multiplier les points de mesure - Estimation de moyennes annuelles grâce à des campagnes répétées (comparaison exposition longue durée)	- Difficulté pour trouver les sources - Faible représentativité temporelle - Pas de dynamique de la mesure - Réponse en différé - Mise en place délicate dans les lieux recevant du public - Durée échantillonnage souvent trop importante (vs comparaison avec valeurs OMS)
			1 semaine			NR		
			1 à 2 semaines			NR		
			4,5 jours			NR		
			24 h ou 48 h			NR		
	Canister Mesure indirecte	Canister	24 h	GC-FID	LIC (ASPA) Atmo Rhône-Alpes TERA Environnement	NR	- Pas de bruit - Départ en différé du "timer" - Nombre important de COV analysés	- Volume 6L - Faible débit - Temps prélèvement court (<48h)
			8 h à 24 h			NR		
			3 h (28 mL/min) ou 24 h (3,5 mL/min)			NR		
			1 à 24h (2 à 4 L/min)			($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 0,03 à 0,1		
			1*12h, 2*24h			NR		
Aldéhydes	Tube passif Mesure indirecte	Tubes Radiello : Code 165	1 ou 2 semaines	HPLC-UV	FSM Atmo Picardie LIC (ASPA) LASAIR (AIRPARIF)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 0,1 à 0,9	- Facilité d'utilisation, de mise en oeuvre - Bonne représentativité spatiale - Faible encombrement - Silencieux - Coût (peu onéreux) - Possibilité de multiplier les points de mesure	- Faible représentativité temporelle - Pas de dynamique de la mesure - Mise en place délicate dans les lieux recevant du public - Durée échantillonnage souvent trop importante (vs comparaison avec valeurs OMS)
			1 semaine					
			48 h à 1 semaine					
			4,5 jours					
			4 jours					
			48 h					
	24 h ou 48 h							
	Tube actif Mesure indirecte	Cartouche DNPH (Fournisseurs : Arelco et SKC)	30min, 2h, 8h (0,5 ou 1 L/min)	HPLC-UV	Micro-polluant	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 0,03	- Installation facile avec batteries de faible poids	NR
			Cartouche Lp-DNPH S10L (Fournisseur : Supelco)	30 min ou 2h (1L/min)	HPLC-UV	LIC (ASPA)	NR	NR

3.2.2 ALDEHYDES⁵

Le détail des réponses obtenues est consigné dans le Tableau 3. Les aldéhydes sont très majoritairement prélevés sur tubes passifs (Radiello code 165), avec une durée d'échantillonnage comprise entre 24 h et 2 semaines, la durée la plus fréquente étant d'une semaine, comme pour les COV. Les analyses sont ensuite réalisées par HPLC-UV et sont soit sous-traitées à la Fondation Salvatore Maugeri (FSM) en Italie ou confiées au laboratoire d'une d'AASQA, tel que le LIC de l'ASPA, le LASAIR d'Airparif ou encore Atmo Picardie. Le principe du dispositif étant le même que pour les COV, les avantages et inconvénients identifiés sont identiques.

La méthode alternative pour la mesure des aldéhydes est le prélèvement actif sur cartouches de dinitrophénylhydrazine (DNPH), sur une durée d'échantillonnage comprise entre 30 min et 8 h à un débit variant de 0,5 à 1 L/min. Comme pour les tubes passifs, l'analyse se fait par HPLC-UV.

3.2.3 PM₁₀

Le détail des réponses obtenues est consigné dans les Tableaux 4 et 5.

Les PM₁₀ sont majoritairement mesurées à l'aide du TEOM 1400 (microbalance) distribué par Ecomesure (Tableau 4). Les retours d'expérience des AASQA sur l'utilisation de cet appareil en environnement intérieur montrent qu'il a l'avantage de permettre une réponse "rapide", avec un temps de réponse de quelques minutes et une fréquence de mesure "programmable". Il est ainsi possible d'avoir un suivi dynamique de la concentration en PM₁₀. En revanche, les contraintes liées au bruit et à l'encombrement, impliquent de l'utiliser dans des lieux présentant des pièces de grand volumes (gare, hall d'aéroport, ...). Par ailleurs, son coût est élevé.

D'autres dispositifs "automatiques" sont également mentionnés pour la mesure des PM₁₀ (Tableau 4) : le pDR 1200 (néphélomètre) et le Grimm 1.108 (*aerosol spectrometer*). Contrairement au TEOM, ils sont petits, relativement silencieux et moins onéreux. S'ils permettent également un suivi dynamique de la concentration, la mesure fournie reste indicative et le manque de précision et de justesse du résultat a été souligné.

Le dernier type de mesure mentionné est la mesure gravimétrique (Tableau 5), avec un prélèvement sur filtre grâce à un préleveur associé à une tête de mesure suivi d'une pesée. Différents types de préleveurs ont été utilisés (Chempass, Mini-Partisol, Partisol, Digitel DA 80), ayant des débits de prélèvements très variés (1 L/min à 30 m³/h). Le choix du préleveur est donc à faire en fonction de l'objectif de l'étude, les préleveurs à plus grosse capacité (Partisol, Digitel DA 80) étant destinés aux lieux présentant des pièces de grand volume et facilement accessibles (leur poids rendant leur déplacement difficile). Quel que soit le préleveur utilisé, la mesure indirecte ne permet pas un suivi dynamique de la concentration.

⁵ Des travaux sont en cours, dans le cadre du LCSQA, concernant la mesure du formaldéhyde :

- Rapport LCSQA INERIS-DRC-07-85132-16587A. Mesure du formaldéhyde : Comparaison de différentes méthodes de prélèvement des aldéhydes, en présence d'ozone, en conditions réelles et simulées. 2007 (<http://www.lcsqa.org/thematique/metrologie/mesure-du-formaldehyde>).
- Rapport LCSQA INERIS-DRC-08-94304-15167A. Mesure du formaldéhyde. 2008.

Tableau 4 : Retours techniques des AASQA sur la mesure directe des PM₁₀, des NO et du CO

Polluant	Type de mesure	Fournisseur Constructeur	Modèle Principe de Mesure	Temps de réponse Fréquence mesure	Ld	Avantages	Inconvénients
PM ₁₀	Mesure directe Automatique	Ecomesure (R&P)	TEOM 1400 Microbalance	Fréquence de mesure programmable	NR	- Bonne réactivité - Dynamique du polluant (t) - Valeurs ponctuelles permettant une comparaison aux valeurs de référence - Réponse immédiate - Mesure normée	- Encombrement, poids - Bruit - Etalonnage - Coûts - Impossible de multiplier les points de prélèvements
		Ecomesure (Thermo)	pDR1200 Néphélomètre	Fréquence de mesure programmable	NR	NR	NR
		Intertek, BPI Inst. (Grimm)	Grimm 1.108 Spectromètre	Fréquence de mesure programmable	NR	- Petit - Silencieux - Bon indicateur de la dynamique	- Manque de précision - Non normé - Sous estimation
NOx	Mesure directe Analyseur	Environnement SA	AC 31 M ou AC 32 M Chimiluminescence	Temps de réponse < 2 min Fréquence de mesure programmable	0,04 ppb (acquisition 15 min)	- Bonne représentativité temporelle - Dynamique du polluant (t) - Valeurs ponctuelles permettant une comparaison aux valeurs de référence - Précision - Lien avec l'extérieur	- Encombrement - Bruit - Faible représentativité spatiale - Etalonnage : utilisation bouteilles, pb de sécurité - Coûts - Impossible de multiplier les points de prélèvements
		Ecomesure	Airpointer Chimiluminescence	Fréquence de mesure programmable	0,4 ppb	Multi-polluants	Usage limité aux lieux publics à grand volume
		SERES	NOx 2000G Chimiluminescence	Fréquence de mesure programmable	NR	Réponse immédiate	- Encombrement - Bruit
CO	Mesure directe Analyseur	Environnement SA	CO 11M Infrarouge	Temps de réponse : < 180 sec Fréquence de mesure programmable	(ppb) 50 à 100	- Bonne représentativité temporelle - Lien avec mesure en extérieur - Précision - Dynamique du polluant (t) - Comparaison possible à des valeurs de référence court-terme	- Encombrement - Bruit - Faible représentativité spatiale - Etalonnage "lourd" (bouteilles) - Coût - Impossible de multiplier les points de prélèvements
		Ecomesure	Airpointer Infrarouge	Fréquence de mesure programmable	40 ppb	Multi-polluants	Usage limité aux lieux publics à grand volume
		SERES	CO 2000G Infrarouge	Fréquence de mesure programmable	NR	Réponse immédiate	- Encombrement - Bruit
		Dräger	Modèle non précisé Electrochimie	NR	NR	- Petit - Léger - Silencieux	NR

Tableau 5 : Retours techniques des AASQA sur la mesure indirecte des PM₁₀ et des NO_x

Polluant	Prélèvement			Analyse			+/-	
	Technique	Types de support utilisés	Durée prélèvement (Débit)	Type d'analyse	Prestataire	Ld	Avantages	Inconvénients
PM ₁₀	Gravimétrie Mesure indirecte	Filtre téflon (Chempass)	48 heures 1 L/min	Pesée	NR	NR	Faible encombrement	Bruit (ronronnement pompe)
		Filtre (DIGITEL DA 80)	24 heures 30 m3/h	Pesée	NR	NR	Haut débit	Encombrement
		Filtre (Mini-Partisol)	NR	Pesée	NR	NR	Faible encombrement	Bruit
		Filtre (Cyclone KTL + Partisol)	48 heures 4 L/min	Pesée	NR	NR	NR	NR
NO ₂	Tube passif Mesure indirecte	Tubes de Palmes (Passam AG) Absorbant = triéthanolamine	2 semaines (Débit = 0.8536 mL/min à 9°C)	Réaction de Saltzmann Colorimétrie (540 nm)	Atmo Poitou-Charentes Passam AG	1.22 µg/m3	- Facilité d'utilisation, de pose - Bonne représentativité spatiale - Faible encombrement - Silencieux - Discret	- Faible représentativité temporelle - Pas de dynamique de la mesure
			1 à 2 semaines			NR		
			4,5 jours			NR		
			24 ou 48 h			NR		

3.2.4 NO_x

Le détail des réponses obtenues est consigné dans les Tableaux 4 et 5.

Les NO_x sont le plus souvent mesurés à l'aide des analyseurs automatiques destinés à l'air ambiant (Tableau 4), notamment le modèle AC31M d'Environnement SA qui est utilisé majoritairement. D'autres analyseurs automatiques sont également utilisés tels que le NO_x 2000G de SERES et l'Airpointer, distribué par Ecomesure. Dans tous les cas, le principe de mesure est basé sur la chimiluminescence.

Les retours d'expérience des AASQA sur ce type de dispositif vis-à-vis des contraintes liées à la problématique de l'air intérieur montrent que ces derniers ont l'avantage de permettre une réponse "rapide", avec un temps de réponse de quelques minutes et une fréquence de mesure "programmable". Il est ainsi possible d'avoir un suivi dynamique de la concentration en NO_x, permettant d'avoir une bonne représentativité temporelle. En revanche, le bruit et l'encombrement liés à leur utilisation ne permettent pas de les utiliser dans n'importe quel type d'environnement intérieur. Par ailleurs, du fait de l'encombrement et de leur coût important, ces analyseurs ne permettent pas de multiplier les points de prélèvements (à l'instar des échantillonneurs passifs pour les COV et les aldéhydes), impliquant ainsi une faible représentativité spatiale. A noter également que lors de l'utilisation de ce type d'analyseur, des quantités non négligeables d'ozone peuvent être émises.

La méthode alternative pour la mesure du NO₂ est le prélèvement par tubes passifs (Tableau 5), pendant une durée d'échantillonnage comprise entre 24 heures et 2 semaines, avec analyse par colorimétrie (réaction de Saltzman)⁶. Ils présentent des avantages et inconvénients similaires à ceux identifiés pour les tubes passifs destinés à la mesure des COV et des aldéhydes.

3.2.5 CO

Le détail des réponses obtenues est consigné dans le Tableau 4.

Le CO est principalement mesuré à l'aide des analyseurs automatiques destinés à l'air ambiant (Tableau 4), notamment le modèle CO11M d'Environnement SA qui est utilisé majoritairement. De même que pour les NO_x, d'autres analyseurs sont également utilisés tels que le CO 2000G de SERES et l'Airpointer. Dans tous les cas, le principe de mesure est basé sur l'absorption infrarouge.

Les retours d'expérience des AASQA sur l'utilisation de ce type de dispositif pour l'air intérieur sont identiques à ceux identifiés pour les NO_x, puisque, hormis le principe de mesure, leurs propriétés sont similaires.

Beaucoup plus ponctuellement, des analyseurs portatifs de chez Dräger ont également été utilisés (Tableau 4). Ils offrent ainsi l'avantage d'être petits, silencieux et légers. Cette fois-ci, le principe de mesure est basé sur l'électrochimie, ce qui implique que des interférences sont possibles. Les limites de détection, de l'ordre de la ppm, sont plus élevées que pour les analyseurs par absorption infrarouge.

⁶ Des travaux ont été réalisés, dans le cadre du LCSQA, concernant la mesure du NO₂ par échantillonnage passif : Rapport LCSQA EMD. Étude des performances en chambre d'exposition des tubes à diffusion NO₂. 2000 (http://www.lcsqa.org/system/files/Etude6_0.pdf).

3.2.6 AUTRES POLLUANTS

Le détail sur l'ensemble des retours techniques des dispositifs utilisés pour les autres polluants mesurés par les AASQA en environnement intérieur se trouve en Annexe 3 qui comprend deux tableaux récapitulatifs. L'un concerne les appareils permettant une mesure directe, l'autre concerne les dispositifs incluant une phase de prélèvement préalable à l'analyse.

De manière générale, les retours d'expérience des AASQA confirment que le type de matériel à mettre en œuvre dans le cas de mesurages en environnement intérieur est dépendant de l'étude à mener et varie selon le type d'environnement intérieur étudié (espace public à grand volume, lieu plus confiné tel un logement ou une école) et les objectifs de l'étude (suivi de variations de concentrations, détermination d'une concentration moyenne, détermination de sources, ...).

Il ressort que les analyseurs automatiques (CO, NOx, ...) ainsi que le TEOM, destinés à l'air ambiant, sont largement utilisés. Bien qu'ils offrent un suivi dynamique du polluant au cours du temps, ils sont bruyants, volumineux et lourds. De plus, leur coût ne permet pas une multiplication des points de prélèvement. S'ils doivent être utilisés pour des mesures en environnement intérieur, cela concernera principalement les lieux publics fortement fréquentés et présentant de vastes espaces.

Les échantillonneurs passifs, en revanche, semblent plus adaptés à la problématique de la QAI de par leur facilité d'utilisation, leur faible encombrement, leur aspect silencieux et leur portabilité. Cependant, ils n'offrent pas de suivi dynamique et ne sont pas adaptés à la recherche de sources.

3.3 VEILLE METROLOGIQUE POUR LES POLLUANTS MESURES MAJORITAIREMENT PAR LES AASQA

Ce travail, au-delà du recensement des appareils utilisés par les AASQA, avait également pour objectif d'effectuer une veille française et étrangère sur les appareils mis récemment sur le marché et dédiés à la mesure en environnement intérieur.

La veille présentée ici ne concerne que les polluants mesurés majoritairement par les AASQA et ne reprend pas les appareils utilisés et répertoriés précédemment.

N'ont été retenus que les appareils peu encombrants, relativement silencieux, adaptés à des mesures de terrain et dont les gammes de mesure sont compatibles avec les concentrations mesurées en air intérieur. Les caractéristiques de l'ensemble des appareils identifiés sont consignées dans le Tableau 6.

Les appareils identifiés pour la mesure du formaldéhyde permettent un suivi "on-line" de ce composé. De plus amples informations sont disponibles dans le rapport LCSQA 2008 dédié à la mesure de ce composé, avec notamment un état des lieux des techniques disponibles pour la mesure du formaldéhyde en continu ainsi que des tests en conditions réelles et simulées sur une sélection d'appareils qui permettent d'avoir un premier retour d'expérience sur ces dispositifs (Rapport LCSQA INERIS-DRC-08-94304-15167A).

Tableau 6 : Veille métrologique : Caractéristiques des appareils identifiés

Composés analysés	Marque	Nom produit	Principe de mesure	Limite détection / Gamme mesure	Résolution	Incertitude de mesure
CO	BAPI	CO sensor	Cellule électrochimique	Gamme : 1-100 ppm ou 1-300 ppm (en option)	1 ppm	+/- 5 ppm
CO	Aircuity	SEN-COM-1	Cellule électrochimique	Gamme : 0-150 ppm	1 ppm	+/- 5%
CO	Dräger	Pac 1000 à 7000	Cellule électrochimique	Gammes : Pac 1000 : 0-1000 ppm Pac 3000 et 5000 : 0-500 ppm Pac 7000 : 0-1999 ppm	NR	NR
CO	Aeroqual *	Série 500	Semi-conducteur	Gamme : 0-500 ppm	1 ppm	< ± 10%
CO, CO ₂ , T, HR	TSI	IAQ-Calc 7545	Infrarouge non dispersif (CO ₂) Électrochimie (CO)	Gamme CO ₂ : 0-5000 ppm T : 0-60°C ; HR : 5-95% CO : 0-500 ppm	CO ₂ : 1 ppm CO : 0.1 ppm	CO ₂ : +/- 3% CO : +/- 3%
CO, CO ₂ , T, HR, COV Totaux, Formaldéhyde, NO ₂	Yestek	Yes-Air	CO ₂ : Infrarouge non dispersif COV Totaux (COVT) : Photo ionisation CO, Formaldéhyde (HCHO) NO ₂ : Electrochimie	Gammes : CO ₂ : 0-5000 ppm T : 0-50°C ; HR : 0-100% COVT : 0-20 ppm, CO : 0-50 ppm HCHO : 0-30 ppm, NO ₂ : 0-5 ppm	CO ₂ : 40 ppm, CO : 0.5 ppm COVT : 0.01 ppm NO ₂ : 0.02 ppm HCHO : 0.05 ppm	NR
CO, CO ₂ , T, HR, COV Totaux, 1 gaz spécifique	Graywolf Wolfsense	IQ-610	COVT : PID CO ₂ : Infra rouge non dispersif CO : Electrochimie	Gammes : T : -10 à 70°C HR : 0 à 100% COVT : 20 ppb à 20 ppm CO ₂ : 0 à 10000 ppm CO : 0 à 500 ppm	NR	COV : NR CO ₂ : +/- 50 ppm CO : +/- 2 ppm si < 50 sinon +/- 3% T : +/- 0.3°C HR : < +/- 3%
COV Totaux	Dräger	Multi-PID 2	Photo ionisation	Gammes : 0-2000 ppm Option : 0-20000 ppm	NR	NR
COV Totaux	Aircuity	PID (SEN-TVC-2)	Photo ionisation	Gamme : 0 - 20 ppm	10 ppb	+/- 2.5 %
COV Totaux	Rae Systems	ppBRAE 3000	Photo ionisation (lampe 11.7 eV possible)	Gamme : 1 ppb-10000 ppm	Dépend gamme : 1 ppb jusqu'à 10 ppm	NR
COV/aldéhydes	MCZ	MicroPNS	Échantillonneur séquentiel avec cartouches adsorbantes	Dépend de l'adsorbant et du volume prélevé	Dépend de l'adsorbant et du volume prélevé	Débit : ± 2% lecture
Formaldéhyde	Equipement Scientifique	Formaldemeter htV	Électrochimie	Gamme : 0-10 ppm	10 ppb	NR
Formaldéhyde	Interscan Corporation	Analyseur portable Série 4000	Électrochimie	Gamme : 0-500 ppb Limite détection : 5ppb	1 ppb	NR
Formaldéhyde	Riken Keiki	FP-30 model	Photométrie photoélectrique	5 ppb	5 ppb	NR
PM10 (masse)	TSI	Dust Trak DRX 8533 et 8534	Photométrie	Gamme : 0.001 à 150 mg/m3	±0.1% de lecture	NR
PM10 (masse)	Thermo	pDR-1500	Néphélométrie	Gamme : 0.001 à 400 mg/m3	0.001 mg/m3	NR
PM10 (masse)	R&P	Microvol	Gravimétrie	NR	NR	Débit : ± 2% lecture

* Capteur dédié au NO₂ en développement.

Tableau 6 (suite) : Veille métrologique : Caractéristiques des appareils identifiés

Composés analysés	Nom produit	Temps réponse	Stockage des données	Portabilité / bruit	Autonomie (Énergie)	Prix	Informations complémentaires
CO	CO sensor	t _{90%} ⁺ : < 40 s	NR	Faible encombrement	Alimentation 14-27 V	310 €	T opérationnelles : -10 à 40°C HR opérationnelle : 15-90 %
CO	SEN-COM-1	60 s	NR	Faible encombrement	NR	NR	
CO	Pac 1000 à 7000	< 30 secondes	Pac 5000 et 7000 (Capacités différentes)	Portabilité : 0.11 kg	Batterie : 2400 à 10400 heures	NR	T opérationnelles : -30 à 50°C HR opérationnelle : 10-90 %
CO	Série 500	T ₉₀ : < 150 s	Capacité : 8000 points	Portabilité : 0.46 kg	Batterie : 7 heures	NR	T opérationnelles : 0 à 70°C HR opérationnelle : 5-95 %
CO, CO ₂ , T, HR	IAQ-Calc 7545	CO ₂ : 20 s CO : 60 s (t _{90%}) ⁺	Capacité : 26900 points	Portabilité : 0.27 kg	Batteries ou adaptateur	1595 € HT	T opérationnelles : 5 à 45°C Logiciel transfert données fourni
CO, CO ₂ , T, HR, COV Totaux, Formaldéhyde, NO ₂	Yes-Air	CO ₂ < 120 s (t _{90%}) ⁺ Autres gaz, variable (< 2 min)	Stockage des données possible	Portabilité : 0.52 kg Pompe interne	- Série : piles alcalines (7 h d'autonomie) - Option : batterie (14h d'autonomie)	~3400 € HT	Interférences significatives entre le CO et le formaldéhyde.
CO, CO ₂ , T, HR, COV Totaux, 1 gaz spécifique	IQ-610	t _{90%} ⁺ < 1min	Pocket PC fourni. Logiciel fourni.	Portabilité : 0.7 kg	Fonctionne sur batterie 14 h autonomie	NR	Tête de détection pour gaz spécifique à prévoir en plus.
COV Totaux	Multi-PID 2	NR	Capacité : 15000 points	Portabilité : 0.86 kg	Batterie Nickel-Cadmium 8h d'autonomie	NR	T opérationnelles : 0 à 40°C HR opérationnelle : 0-95 %
COV Totaux	PID (SEN-TVC-2)	30 s	NR	Faible encombrement	NR	NR	
COV Totaux	ppbRAE 3000	3 s	Capacité : 6 mois (pas de temps : 1 min)	Portabilité : 0.74 kg Pompes intégrées	12h avec batteries alcalines	~8000 € HT	T opérationnelle : -20 à 50°C HR opérationnelle : 0-95 % Correction humidité / température
COV/aldéhydes	MicroPNS	Mesure en différé	Non	Faible encombrement	Alimentation secteur	~12000 € HT (8 voies échantillonnage)	Gamme débit : 0-1,5 L/min
Formaldéhyde	Formaldemeter htV	60 s	Pas de stockage des données	Faible encombrement	Piles alcalines	1350 € HT	
Formaldéhyde	Analyseur portable Série 4000	~1 min	NR	Faible encombrement	Fonctionne sur batterie	~4500 € HT	
Formaldéhyde	FP-30 model	30 min	Capacité : jusqu'à 99 points	Portabilité : 0.5 kg	12 heures	~630 € HT	T opérationnelles : -10-40°C HR : < 90 %
PM10 (masse)	Dust Trak DRX 8533 et 8534	Fréquence mesure programmable	NR	Portabilité : 2 kg	Batteries rechargeables (6 heures)	NR	T opérationnelle : 0-50°C, HR HR opérationnelle : 0-95% Débit aspiration : 3 L/min Possibilité de mesurer plusieurs fractions en simultané
PM10 (masse)	pDR-1500	Fréquence mesure programmable	Capacité : 50000 points	Portabilité : 1.2 kg	Batterie (24h) et secteur	~4420€ HT (TSP et 1 cyclone (PM ₁₀))	T opérationnelle : -10-50°C Débit aspiration : 1 à 3.5 L/min Pompe intégrée
PM10 (masse)	R&P	Mesure en différé	Non	Faible encombrement	Batterie 12V et secteur	~2600 € HT	Thermomètre : 0-45°C ± 1°C Manomètre : 600 à 900 ± 4 mm de mercure Débit aspiration : 1 à 4.5 L/min

⁺ t_{90%} : Temps de réponse à partir duquel une valeur mesurée représente 90 % de sa valeur finale.

Concernant la mesure des particules en masse (PM_{10}), un bilan détaillé des appareils disponibles sur le marché et basés sur une mesure optique indicative des particules avait été réalisé en 2006 (Rapport LCSQA INERIS-DRC/AIRE-74754-0654). Ne sont mentionnés dans le Tableau 6 que les nouveaux indicateurs optiques identifiés par rapport au bilan de 2006 (Dust Trak DRX et pDR-1500), l'ensemble des indicateurs optiques disponibles étant donné en Annexe 4. Par ailleurs, un examen détaillé d'une sélection de ces matériels est disponible dans le rapport LCSQA dédié à l'étude sur les indicateurs optiques pour la mesure des particules (Rapport LCSQA INERIS-DRC-08-94302-15168A).

Un préleveur a également été identifié (Microvol, R&P). Il s'agit du remplaçant du Mini-Partisol de chez R&P qui sera testé en 2009, dans le cadre de l'étude LCSQA sur les méthodes alternatives à la méthode de référence pour la mesure des particules en air ambiant.

4. BESOINS METROLOGIQUES DES AASQA POUR LE SUIVI DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR

En complément du bilan des matériels disponibles au sein des AASQA pour le suivi de la qualité de l'air intérieur et du retour d'expérience des AASQA sur l'utilisation de certains d'entre eux, cette étude avait également pour objectif d'analyser les besoins métrologiques des AASQA spécifiques à la mesure des polluants de l'air intérieur, en cherchant à définir les attentes par rapport aux appareillages concernés.

4.1 CRITERES D'UTILISATION DES MATERIELS EN AIR INTERIEUR

L'enquête réalisée auprès des AASQA a permis de confirmer l'importance des critères spécifiques des matériels destinés à l'évaluation de la QAI et de les hiérarchiser, en fonction des retours d'expérience sur le terrain. Pour ce faire, les items suivants ont été classés selon une échelle de 1 à 4 (1 : très important ; 2 : important ; 3 : moyennement important ; 4 : peu important) :

- peu bruyant ;
- portabilité (< 1.5 kg) ;
- mobilité (< 5 kg) ;
- rapidité d'installation ;
- mesure instantanée ou temps de réponse rapide ;
- mesure en continu sur plusieurs heures ;
- suivi de plusieurs composés simultanément ;
- limite de détection (< 1 ppb) ;
- précision (< 1 ppb) ;
- autonomie en énergie ;
- possibilité de laisser l'appareil sur site ;
- prix.

La synthèse des réponses obtenues est présentée dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Classement par ordre d'importance des AASQA des caractéristiques qu'un matériel destiné au suivi de la QAI doit présenter

	Peu bruyant	Portabilité (<1.5 kg)	Mobilité (<5 kg)	Rapidité installation	Mesure instantanée	Mesure continue	Multi polluants	Ld < ppb	Précision < ppb	Autonomie	Laisser sur site	Prix
Très important	81%	13%	25%	25%	20%	60%	21%	13%	20%	53%	81%	36%
Important	19%	31%	50%	50%	40%	40%	36%	53%	60%	27%	19%	55%
Moyennement important	0%	38%	19%	19%	27%	0%	43%	33%	13%	13%	0%	0%
Peu important	0%	19%	6%	6%	13%	0%	0%	0%	7%	7%	0%	9%

Note : chaque pourcentage est calculé sur la base des AASQA ayant répondu à l'enquête et ayant donné un classement d'importance à l'item identifié.

Il en ressort que majoritairement, il est très important que les appareils destinés au suivi de la QAI :

- soient peu bruyants et puissent être laissés sur site (pour 81% des AASQA⁷) ;
- permettent un suivi en continu sur plusieurs heures (pour 60% des AASQA⁷) ;
- soient autonomes en énergie (pour 53% des AASQA⁷) avec un souhait d'une durée minimale d'autonomie d'une semaine principalement.

Il en ressort également que majoritairement, il est important que les appareils destinés au suivi de la QAI :

- aient une précision inférieure au ppb (pour 60% des AASQA⁷) ;
- aient une limite de détection inférieure au ppb (pour 53% des AASQA⁷) ;
- soient mobiles (< 5 kg) et puissent être installés rapidement (pour 50% des AASQA⁷).

De plus, le prix du matériel apparaît comme un facteur important pour 55 % des AASQA⁷.

Par ailleurs, 40% des AASQA⁷ ont jugé comme important la possibilité d'avoir une mesure instantanée ou un temps de réponse rapide.

Ont été jugé comme moyennement important la possibilité de mesurer plusieurs polluants simultanément (43% des AASQA⁷) et le fait que le matériel soit portatif (38% des AASQA⁷).

Par ailleurs, d'autres critères, non listés dans le questionnaire, ont été mentionnés comme à prendre en considération dans le choix d'un matériel destiné au suivi de la QAI. Il s'agit de l'encombrement, de la sécurité des personnes pouvant évoluer à proximité des dispositifs de mesure (protection électrique, chocs), de la fiabilité du matériel et de la convivialité de son interface d'utilisation, de sa maniabilité.

Enfin, l'intérêt d'avoir des moyens de mesures instantanés et peu onéreux a été souligné, afin de pouvoir établir un premier "diagnostic" de la QAI du site pour ensuite y placer du matériel plus complet et précis.

4.2 BESOINS D'EVALUATION D'APPAREILS

Le dernier volet de l'enquête réalisée auprès des AASQA a porté sur les attentes d'évaluation des performances d'appareils.

Les demandes récurrentes portent sur les moyens de mesures dédiés aux particules et aux aldéhydes.

Pour les aldéhydes, l'attente a été exprimée de voir évaluer des appareils de mesure en continu ainsi que des moyens de prélèvement actifs et passifs.

Le rapport LCSQA 2008 sur la mesure du formaldéhyde (Rapport LCSQA INERIS-DRC-08-94304-15167A) apporte des éléments de réponse sur cette thématique puisque des tests complémentaires à ceux réalisés en 2007 ont été réalisés sur tubes passifs et actifs. Par ailleurs, quelques dispositifs de suivi en continu du formaldéhyde ont également été testés. Ce travail sera poursuivi en 2009.

Concernant les particules, le besoin a été exprimé de voir évaluer des préleveurs (type MicroVol, Chempass) ainsi que des compteurs optiques (type Grimm).

Dans le cadre de l'étude LCSQA 2008 sur les indicateurs optiques pour la mesure des particules (Rapport LCSQA INERIS-DRC-08-94302-15168A), une sélection d'indicateurs optiques a été testée sur des aérosols de combustion, dont le Grimm 1.108. Des tests

⁷ Pourcentage des AASQA ayant répondu à l'enquête et ayant jugé ce critère.

complémentaires sont prévus en 2009, dans un environnement de type gare. Des tests sont également envisagés sur le MicroVol en 2009, dans le cadre d'une étude sur les méthodes alternatives à la méthode de référence pour la mesure des particules en air ambiant.

Plus ponctuellement, des demandes d'évaluation de préleveurs automatiques séquentiels (SyPAC de TERA, MicroPNS de MCZ) ainsi que d'appareils de mesure du CO₂ (Q-Track 7565 de TSI ou AQ 5001 d'Arelco) ont été faites.

Enfin, des demandes isolées ont été exprimées concernant des moyens de mesure dédiés aux moisissures, allergènes, acariens ainsi qu'aux HAP et aux pesticides.

5. CONCLUSION

L'enquête réalisée auprès des AASQA a montré que parmi les mesures réalisées en environnement intérieur, les composés majoritairement étudiés⁸ sont les composés organiques volatils dont les BTX, les PM₁₀ (en masse), les aldéhydes dont le formaldéhyde, les oxydes d'azote (NOx) dont le dioxyde d'azote (NO₂) et le monoxyde de carbone (CO).

Les infrastructures de transport sont les environnements intérieurs les plus étudiés⁹ par les AASQA, suivis par les lieux de vie des enfants et les ambiances de travail.

De manière générale, les retours d'expérience de terrain des AASQA sur les mesurages en environnement intérieur confirment que le type de matériel à mettre en œuvre est dépendant de l'étude à mener et varie selon le type d'environnement intérieur étudié (espace public à grand volume, lieu plus confiné tel un logement ou une école) et les objectifs de l'étude (suivi de variations de concentrations, détermination d'une concentration moyenne, détermination de sources, ...).

Il ressort que les analyseurs automatiques (CO, NOx, ...) ainsi que le TEOM, destinés à l'air ambiant sont largement utilisés. Bien qu'ils offrent un suivi dynamique du polluant au cours du temps, ils sont bruyants, volumineux et lourds. De plus, leur coût ne permet pas une multiplication des points de prélèvement. Leur utilisation en air intérieur semble se limiter aux lieux publics fortement fréquentés et présentant de vastes espaces.

Les échantillonneurs passifs, en revanche, sont plus adaptés à la problématique de la QAI de par leur facilité d'utilisation, leur faible encombrement, leur aspect silencieux et leur portabilité. Cependant, ils n'offrent pas de suivi dynamique et ne sont pas adaptés à la recherche directe de sources.

Les matériels dédiés à l'évaluation de la QAI doivent en priorité être peu bruyants, permettre un suivi en continu des concentrations sur plusieurs heures et être autonomes en énergie. Ces matériels doivent présenter des performances métrologiques adaptées (précision et limite de détection inférieures au ppb) et pouvoir être installés facilement et rapidement. En vue de multiplier les points de prélèvements sur site, le prix a également été mentionné comme un critère de choix. La possibilité d'avoir une mesure instantanée ou un temps de réponse rapide a également été jugée importante.

Cette liste des critères à prendre en considération dans l'évaluation des matériels destinés à la QAI ainsi que le poids à accorder à chacun d'entre eux sont pris en compte dans les évaluations de matériels dédiés à cette thématique.

⁸ En nombre d'AASQA ayant mesuré ces composés et non en nombre d'études portant sur ces composés.

⁹ En nombre d'AASQA ayant étudié ce type de lieu et non en nombre d'études portant sur ce type de lieu.

Enfin, les principales attentes en terme d'évaluation métrologique ont été exprimées. La priorité doit porter sur les moyens de mesures dédiés aux particules et aux aldéhydes :

- pour les aldéhydes, évaluation des appareils de mesure en continu ainsi que des moyens de prélèvement actifs et passifs ;
- pour les particules, évaluation des préleveurs (type MicroVol, Chempass) ainsi que des compteurs optiques (type Grimm).

Les travaux LCSQA 2008 sur le formaldéhyde et les indicateurs optiques pour la mesure des particules (qui seront poursuivis en 2009) contribuent à répondre à ces deux attentes principales.

Plus ponctuellement, des besoins d'évaluation de préleveurs automatiques séquentiels ainsi que d'appareils de mesure du CO₂ ont été exprimés.

6. REFERENCES

Rapport LCSQA EMD. Étude des performances en chambre d'exposition des tubes à diffusion NO₂. **2000** (http://www.lcsqa.org/system/files/Etude6_0.pdf).

Rapport LCSQA INERIS-DRC/AIRE-74754-0654. Mesures indicatives des particules : Recensement des appareils disponibles sur le marché; besoins et retours d'expérience des AASQA. **2006** (http://www.lcsqa.org/system/files/Recensement_Appareils_Mesures_Particules_vf.pdf).

Rapport LCSQA EMD-INERIS. Mesure du benzène 2/3 : Projet de Guide de recommandations concernant la mesure du benzène dans l'air ambiant. **2007** (<http://www.lcsqa.org/thematique/metrologie/mesure-du-benzene>).

Rapport LCSQA INERIS-DRC-07-85132-16587A. Mesure du formaldéhyde : Comparaison de différentes méthodes de prélèvement des aldéhydes, en présence d'ozone, en conditions réelles et simulées. **2007** (<http://www.lcsqa.org/thematique/metrologie/mesure-du-formaldehyde>).

Rapport LCSQA INERIS-DRC-08-94302-15168A. Indicateurs optiques pour la mesure des particules. **2008**.

Rapport LCSQA INERIS-DRC-08-94304-15167A. Mesure du formaldéhyde. **2008**.

7. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Fiche LCSQA 2008	1 A4
Annexe 2	Questionnaire adressé aux AASQA	5 A4
Annexe 3	Retours techniques des AASQA : appareils de mesure pour les composés mesurés "ponctuellement"	2 A4
Annexe 4	Bilan des indicateurs optiques disponibles pour la mesure des particules	2 A4

THEME 7 : AIR INTERIEUR

Évaluation des performances métrologiques des appareils de mesure spécifiques de l'air intérieur

Responsable de l'étude : INERIS

Contexte et objectif

La métrologie des polluants de l'air intérieur nécessite de tenir compte de nombreux paramètres et contraintes propres aux environnements clos.

Ainsi, les appareils de mesure doivent être silencieux (l'expérience montrant que les pompes de prélèvement sont parfois stoppées par les occupants des locaux investigués), peu encombrants (compte tenu de l'espace limité, dans un logement, ou déjà largement occupé, cas des écoles et gymnases par exemple) et ainsi avoir un impact minimal sur le confort des occupants.

On se propose de faire un point, pour plusieurs polluants majeurs de l'air intérieur dans un premier temps, des matériels disponibles et adaptés et de leurs performances au regard des objectifs spécifiques des études d'évaluation ou de suivi de la qualité de l'air intérieur.

Travaux proposés pour 2008

En 2008, un **recensement des appareils disponibles** pour la mesure des polluants majeurs de l'air intérieur sera réalisé. Cette liste sera élaborée en début d'année sur la base des résultats de la campagne « Logements » de l'OQAI.

Pour ces appareils, les applications et les performances, avantages et inconvénients, selon les objectifs spécifiques des mesures pour lesquelles ils sont mis en œuvre, seront inventoriées. Les conditions et contraintes d'utilisation seront recensées. Les synergies avec les appareillages utilisés pour le suivi de la qualité de l'air ambiant seront identifiées. Une veille sur les nouveaux appareils mis sur le marché dédiés à la mesure en environnement intérieur sera effectuée.

Ce travail bénéficiera du retour d'expérience du CSTB pour la mise en œuvre de la campagne nationale 2003-2005. Une enquête auprès des AASQA et des autres acteurs nationaux de la QAI (LHVP, LCPP...) sera également réalisée.

Ce travail permettra d'identifier les besoins prioritaires d'évaluation de matériel pour 2009, sachant que parallèlement seront poursuivis en 2008 les travaux déjà engagés sur l'évaluation (laboratoire et terrain) des appareils de mesures automatiques des particules et du formaldéhyde (cf. autres études sur l'air intérieur).

Collaboration

Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)

Renseignements synthétiques

Titre de l'étude	Evaluation des performances métrologiques des appareils de mesure spécifiques de l'air intérieur		
Travaux	pluri-annuels (nouveau)		
Durée des travaux pluriannuels	3 ans		
Collaboration AASQA	Les AASQA seront sollicitées pour leur retour d'expérience		
Heures d'ingénieur	EMD : -	INERIS : 180	LNE : -
Heures de technicien	EMD : -	INERIS : -	LNE : -
Document de sortie attendu	Rapport		
Lien avec le tableau de suivi CPT	Thème 2 : Métrologie		
Lien avec un groupe de travail	-		
Matériel acquis pour l'étude	-		

ENQUETE "Performances métrologiques des appareils spécifiques de l'air intérieur"

Objet : Demande de retour d'expérience et attentes

Page 1 : Présentation de la démarche

Pages 2, 3, 4, 5 : Questionnaire

CONTEXTE

La métrologie des polluants de l'air intérieur nécessite de tenir compte de nombreux paramètres et contraintes propres aux environnements clos.

Ainsi, les appareils de mesure doivent être silencieux (l'expérience montrant que les pompes de prélèvement sont parfois stoppées par les occupants des locaux investigués), peu encombrants (compte tenu de l'espace limité, dans un logement, ou déjà largement occupé, cas des écoles et gymnases par exemple) et ainsi avoir un impact minimal sur le confort des occupants.

OBJECTIFS

L'étude LCSQA intitulée "Evaluation des performances métrologiques des appareils spécifiques de l'air intérieur" a pour objectif de faire un bilan, pour plusieurs polluants majeurs de l'air intérieur dans un premier temps, des matériels disponibles et adaptés ainsi que de leurs performances au regard des spécificités des études d'évaluation ou de suivi de la qualité de l'air intérieur (QAI).

Pour cela :

- un recensement des appareils disponibles sur le marché est en cours, répertoriant leurs applications, performances, conditions d'utilisation ainsi que leurs avantages et inconvénients ;
- nous vous adressons ce questionnaire afin de :
 - **recenser les travaux réalisés sur la mesure des polluants de l'air intérieur** en vue de disposer et de **capitaliser un retour d'expérience technique** sur les différents appareillages utilisés (en complément des bilans d' E. Révélat sur la contribution des AASQA à une meilleure connaissance de la QAI) ;
 - réaliser une **analyse des besoins métrologiques** spécifiques à la mesure des polluants de l'air intérieur, en cherchant à **définir les attentes par rapport aux appareillages concernés** et à identifier les **synergies possibles** avec les dispositifs utilisés pour le **suivi de la qualité de l'air ambiant**.

Ce travail permettra ainsi d'identifier les besoins prioritaires d'évaluation de matériel.

Je vous remercie par avance pour l'accueil que vous voudrez bien réserver à cette demande.

Cordialement,
Caroline Marchand, LCSQA/INERIS.

Tel. : +33 3 44 55 63 24 Fax : +33 3 44 55 63 02 E-mail : caroline.marchand@ineris.fr
--

Destinataires : responsables techniques des AASQA françaises.

Annexe 2 - Questionnaire adressé aux AASQA

1. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LA MESURE DES POLLUANTS DE L'AIR INTERIEUR

1.1. Par le passé, avez-vous déjà mesuré des polluants de l'air intérieur ? Oui Non

Si oui,

1.2. Dans quel contexte s'inscrivaient les mesures effectuées ?

Objectifs :

Etudes ou prospection Oui Non

Intervention suite à des plaintes ou gênes Oui Non

Autre (merci de préciser) :

Lieux :

Habitations Oui Non

Lieux de loisirs Oui Non

Si oui, merci de préciser

Lieux de vie des enfants Oui Non

Si oui, merci de préciser (école, crèche, etc.)

Infrastructures de transport Oui Non

Si oui, merci de préciser (aéroport, parking, etc.)

Ambiances de travail Oui Non

Si oui, merci de préciser

Autre (merci de préciser) :

1.3. Quels polluants de l'air intérieur ont été mesurés ?

CO Oui Non

NOx Oui Non

O₃ Oui Non

Composés soufrés Oui Non

Si oui, merci de préciser lesquels

.....

COV Oui Non

Si oui, merci de préciser lesquels

.....

Réponse par mail (à : caroline.marchand@ineris.fr) ou fax (03 44 55 63 02) avant le 22 mars.

2/5

Annexe 2 - Questionnaire adressé aux AASQA

Aldéhydes Oui Non

Si oui, merci de préciser lesquels

Pesticides Oui Non

Si oui, merci de préciser lesquels

HAP Oui Non

Si oui, merci de préciser lesquels

Particules en suspension Oui Non

PM 10 Oui Non

PM 2.5 Oui Non

PM 1 Oui Non

Si oui, merci de préciser (masse, nombre, distribution en taille, ...)

Métaux particuliers Oui Non

Si oui, merci de préciser lesquels

Fumées noires Oui Non

Autres Oui Non

Si oui, merci de préciser lesquels

1.4. Pour chaque composé ou famille de composés étudié, merci de renseigner le tableau de la page suivante :

(si une famille de composés correspond à une seule technique de mesure, merci de ne pas détailler par composé)

Annexe 2 - Questionnaire adressé aux AASQA

COMPOSE ou FAMILLE DE COMPOSES mesurés									
Echantillonnage									
Mesure ponctuelle <u>ou</u> Intégrée dans le temps ?									
Nombre de points de mesures nécessaires									
Méthode de prélèvement									
<u>Si</u> mesure directe									
Temps de réponse de l'appareil									
<u>Si</u> mesure indirecte									
Prélèvement actif ou passif ?									
Type de support									
Durée de prélèvement									
Débit de prélèvement									
Appareils de mesure utilisés									
Type d'appareil									
Modèle									
Fournisseur									
Limite de détection									
Limite de quantification									
Avantages									
Intérêts									
Contraintes d'utilisation									
Limitations									

Réponse par mail (à : caroline.marchand@ineris.fr) ou fax (03 44 55 63 02) avant le 22 mars.

Annexe 2 - Questionnaire adressé aux AASQA

1.5. De manière générale, quels appareillages utilisés pour le suivi de la qualité de l'air ambiant vous semblent adaptés pour le suivi de la qualité de l'air intérieur (QAI) ?

.....
.....
.....

2. IDENTIFICATION DES BESOINS METROLOGIQUES SPECIFIQUES A LA MESURE DES POLLUANTS DE L'AIR INTERIEUR

Compte tenu de votre expérience des interventions sur le terrain,

2.1. Quels aspects vous semblent importants concernant les appareillages utilisés pour le suivi de la QAI ? (1 : très important ; 2 : important ; 3 : moyennement important ; 4 : peu important)

- | | | | | | |
|--------|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 2.1.1 | Peu bruyant | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2.1.2 | Portabilité (<1.5 kg) | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2.1.3 | Mobilité (<5 kg) | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2.1.4 | Rapidité d'installation | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2.1.5 | Mesure instantanée ou temps de réponse rapide | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2.1.6 | Mesure en continu sur plusieurs heures | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2.1.7 | Suivi de plusieurs composés simultanément | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2.1.8 | Limite de détection (inférieure au ppbv) | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2.1.9 | Précision (inférieure au ppbv) | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2.1.10 | Autonomie en énergie (batterie)
Autonomie souhaitée (heures) : | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2.1.11 | Possibilité de le laisser sur site | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |
| 2.1.12 | Prix
Quelle somme au maximum : | 1 <input type="checkbox"/> | 2 <input type="checkbox"/> | 3 <input type="checkbox"/> | 4 <input type="checkbox"/> |

Souhaitez-vous apporter des précisions sur les aspects cités ci-dessus ou d'autres aspects non mentionnés vous paraissent-ils à prendre en considération ? :

.....
.....

2.2. Quels appareillages souhaiteriez-vous voir évalués pour la mesure spécifique de l'air intérieur dans le cadre des activités du LCSQA ?

.....
.....
.....
.....

Coordonnées de la personne interrogée

.....

Réponse par mail (à : caroline.marchand@ineris.fr) ou fax (03 44 55 63 02) avant le 22 mars.

5/5

Annexe 3 - Retours techniques des AASQA : composés mesurés "ponctuellement"

Tableau A3-1 : Mesure directe

Polluant	Type de mesure	Fournisseur Constructeur	Modèle Principe de Mesure	Temps de réponse Fréquence mesure	Ld	Avantages	Inconvénients
PM _{2.5}	Mesure directe Automatique	Ecomesure (R&P)	TEOM 1400 Microbalance	Fréquence de mesure programmable	NR	- Bonne réactivité - Dynamique du polluant (t) - Valeurs ponctuelles permettant une comparaison aux valeurs de référence - Réponse immédiate - Mesure normée	- Encombrement, poids - Bruit - Etalonnage - Coûts - Impossible de multiplier les points de prélèvements
		Ecomesure (Thermo)	pDR1200 Néphélomètre	Fréquence de mesure programmable	NR	NR	NR
		Intertek, BPi Inst. (Grimm)	Grimm 1.108 Spectromètre	Fréquence de mesure programmable	NR	- Petit - Silencieux - Bon indicateur de la dynamique	- Manque de précision - Non normé - Sous estimation
<i>Le Grimm et le pDR1200 ont également été utilisés pour faire de la mesure en nombre sur différentes fractions de particules</i>							
Ozone	Mesure directe Analyseur	Environnement SA	AC 41 M Absorption UV	Temps de réponse < 2 min Fréquence de mesure programmable	NR	- Dynamique du polluant (t) - Lien avec l'extérieur	- Encombrement - Bruit
		Ecomesure	Airpointer Absorption UV	Fréquence de mesure programmable	0,5 ppb	Multi-polluants	Usage limité aux lieux publics à grand volume
SO ₂	Mesure directe Analyseur	SERES	SO2 2000G	Fréquence de mesure programmable	NR	Réponse immédiate	Bruit
		Ecomesure	Airpointer Fluorescence UV	Fréquence de mesure programmable	1 ppb	Multi-polluants	Usage limité aux lieux publics à grand volume
H ₂ S	Mesure directe Analyseur	EnvironnementSA	CH2S/AF21M	NR	NR	NR	NR
CO ₂	Mesure directe Analyseur	TSI	Q-Track 7565 Infrarouge	<30 secondes	1 ppm	- Dynamique du polluant (t) - Petit - Silencieux - Facilité d'utilisation	- Coût - Pas de système d'attache - Format de fichier extrait
			Q-Track Plus 8552 Infrarouge	<30 secondes	1 ppm	NR	NR

Annexe 3 - Retours techniques des AASQA : composés mesurés "ponctuellement"










Tableau A3-2 : Mesure indirecte

Polluant	Prélèvement			Analyse			+/-	
	Technique	Types de support utilisés	Durée prélèvement Débit	Type d'analyse	Prestataire	Ld	Avantages	Inconvénients
PM _{2.5}	Gravimétrie Mesure indirecte	Filtre téflon (têtes Chempass + Préleveur)	48 heures 1 L/min	Pesée	NR	NR	Faible encombrement	Bruit
		Filtre (Mini-Partisol)	NR	Pesée	NR	NR	Faible encombrement	Bruit
		Filtre (Cyclone KTL + Partisol)	48 heures 4 L/min	Pesée	NR	NR	NR	NR
Métaux particulaires	Prélèvement actif Mesure indirecte	Filtre téflon (Chempass)	48 heures 1 L/min	ICP-MS	INERIS	NR	Faible encombrement	Bruit (ronronnement pompe)
		Fibres en quartz (Mini-Partisol)	1 semaine 5 L/min	ICP-MS	NR	NR	- Faible encombrement - Peu bruyant - Interface simple	- Beaucoup de pannes - Fin commercialisation - Pas d'automatisation de changement de filtre
		Filtre (DIGITEL DA 80)	24 heures 30 m3/h	ICP-MS	LUBW (Allemagne)	NR	Haut débit	- Encombrement, poids - Usage limité aux lieux publics à grand volume
		Filtre à quartz (Partisol Plus)	24 heures 1 m3/h	ICP-MS	Micro-Polluant	NR	NR	- Encombrement, poids - Bruit - Alimentation secteur - Peu adapté à la QAI
HAP	Prélèvement actif Mesure indirecte	Filtre téflon (Chempass)	48 heures 1 L/min	HPLC-Fluorimétrie	INERIS	NR	Faible encombrement	Bruit (ronronnement pompe)
		Fibres en quartz (Partisol 2000 adapté)	1 semaine 1 m3/h	NR	NR	NR	NR	- Encombrement - Bruit - Précision (débit trop faible)
		Filtre (DIGITEL DA 80)	24 heures 30 m3/h	HPLC-Fluorimétrie	LUBW (Allemagne)	NR	NR	NR
			30 min, 1h, 2h 30 m3/h	NR	NR	NR	- Haut débit - Méthode de référence	- Encombrement - Encrassage du filtre
H ₂ S	Prélèvement passif Mesure indirecte	Tube Radiello : Code 170	3 jours	Spectrométrie visible	FSM	NR	- Adéquat pour la QAI - Mise en place facile	Réponse en différé
Trichloramine	Prélèvement actif Mesure indirecte	Cassette avec 2 filtres en quartz imprégnés de carbonate de sodium et de trioxyde de diarsenic	3 heures 0,5 à 1 L/min	Chromatographie ionique	ENSP-LERES	NR	NR	NR
NH ₃	Prélèvement passif Mesure indirecte	Tube Radiello : Code 168	3 jours	Chromatographie ionique	FSM	NR	- Adéquat pour la QAI - Mise en place facile	Réponse en différé

Annexe 4 - Bilan des indicateurs optiques disponibles pour la mesure des particules

Appareil	Constructeur	Revendeur	Gamme de concentration (mg/m3)	Type de mesure (nombre et/ou masse)	Gamme diamètre (µm)	Débit d'aspiration (L/min)	Résolution (mg/m3)	Incertitude de mesure	Alimentation/ Autonomie (h)	Pas de temps	Poids (kg)	Mesure simultanée de différentes fractions
Dust Trak DRX 8533 et 8534	TSI	- TSI France - ICS (Intertek)	de 10 ⁻³ à 150	masse	0,1 - 15	3	0,001	Débit ± 5%	1 batterie (6h) et secteur	1 à 60 s	8533 : 1,6 à 2,5 (1 ou 2 batteries) 8534 : 1,3	oui
Sidepak	TSI	- TSI France - ICS (Intertek)	de 10 ⁻³ à 20	masse	0,1 - 10	0,7 à 1,8	0,001	NR	batterie (4-23h) et secteur	1 à 60 s	0,46 à 0,54	non
Grimm 1.108 Grimm 1.109	Grimm	ICS (Intertek)	de 10 ⁻³ à 100	masse et nombre	0,23 - 20 0,25 - 32	1,2	0,001	Débit ± 3%	batterie (7h) et secteur	min. 6 s	3	oui
DataRAM4	Thermo	Ecomesure	de 10 ⁻⁴ à 400	masse	0,08 - 10	1 à 3	0,0001	± 3%	batterie (20h) et secteur	1 à 60 s	5,3	non
pDR-1500	Thermo	Ecomesure	de 10 ⁻³ à 400	masse	NR	1 à 3,5	0,001	NR	batterie (6h à 3,5 L/min ; 24h à 1,2 L/min) et secteur	1 à 60 s	1,2	non
pDR 1000	Thermo	Ecomesure	de 10 ⁻³ à 400	masse	0,1 - 10	0 Analyseur passif	0,001	± 5%	batterie (20h)	1 à 60 s	0,5	non
Osiris	Turnkey	Equipement Scientifique	de 10 ⁻⁴ à 6	masse et nombre	0,5 - 20	0,6	0,0001	NR	batterie et secteur	1 s à 4 h	3,5	oui
Dustmate	Turnkey	Equipement Scientifique	de 10 ⁻⁴ à 6	masse et nombre	0,5 - 20	0,6	0,0001	NR	batterie et secteur	1 s à 4 h	1,2	oui

Annexe 4 - Bilan des indicateurs optiques disponibles pour la mesure des particules

Appareil	Distinction des différentes fractions de PM (Têtes de coupure) Si oui, lesquelles ?	Prix HT (€)	Applications possibles	Stockage des données ?	Informations complémentaires	Visuel
Dust Trak DRX 8533 et 8534	TSP, PM-10, PM-2.5, PM-4, PM-1	8400 (8533) 6700 (8534)	- évaluation de l'exposition des personnes - intervention suite à un accident/une plainte (8534) - surveillance de sites industriels (8533)	60000 points	T opérationnelles : 0 à 50°C HR opérationnelles : 0 à 95% 8533 : Possibilité de prélèvement sur filtre (contrôle gravimétrique)	8533  8534 
Sidepak	Impacteurs intégrés : - TSP (aucune coupure) - PM-10, PM-2.5, PM-1	3 520	- évaluation de l'exposition des personnes - intervention suite à un accident/une plainte - cartographie	31000 points	T opérationnelles : 0 à 50°C	
Grimm 1.108 Grimm 1.109	Fractions granulométriques : de 8 à 15 canaux (1.108) de 8 à 31 canaux (1.109)	14000 (1.108) 18000 (1.109)	- évaluation de l'exposition des personnes - surveillance de sites industriels	oui	T opérationnelles : -5 à 45°C 1 à 2000000 particules/L Possibilité de prélèvement sur filtre (contrôle gravimétrique)	
DataRAM4	- Tête TSP seule - TSP et impacteur : PM-10, PM-2.5 - TSP et impacteur : PM-10, PM-2.5 et adaptateur PM-1	11500 12220 12450	- évaluation de l'exposition des personnes - surveillance de sites industriels	50000 points	T opérationnelles : -10 à 50°C HR opérationnelles : 10 à 95% Compense effets HR Indication du diamètre médian	
pDR-1500	- Tête TSP seule - TSP et 1 cyclone : PM-10, PM-4 ou PM-2.5, PM-1 - TSP et 2 cyclones : PM-10, PM-4 et PM-2.5, PM-1	3950 4420 4850	- évaluation de l'exposition des personnes - intervention suite à un accident/une plainte - cartographie	50000 points	T opérationnelles : -10 à 50°C Sondes T et P : régulation débit volumique Sonde HR : correction des effets de l'HR Possibilité de prélèvement sur filtre (contrôle gravimétrique)	
pDR 1000	PM-10 uniquement	3700	- intervention suite à un accident/une plainte - cartographie	13300 points	T opérationnelles : -10 à 50°C HR opérationnelles : 10 à 95%	 
Osiris	TSP, PM-10, PM-2.5, PM-1	6500	- évaluation de l'exposition des personnes - surveillance de sites industriels	oui	T opérationnelles : -5 à 40°C Possibilité de prélèvement sur filtre (contrôle gravimétrique) Boîtier pour utilisation extérieure	
Dustmate	TSP, PM-10, PM-2.5, PM-1	4400	- évaluation de l'exposition des personnes - intervention suite à un accident/une plainte	oui	T opérationnelles : -5 à 40°C Possibilité de prélèvement sur filtre (contrôle gravimétrique)	