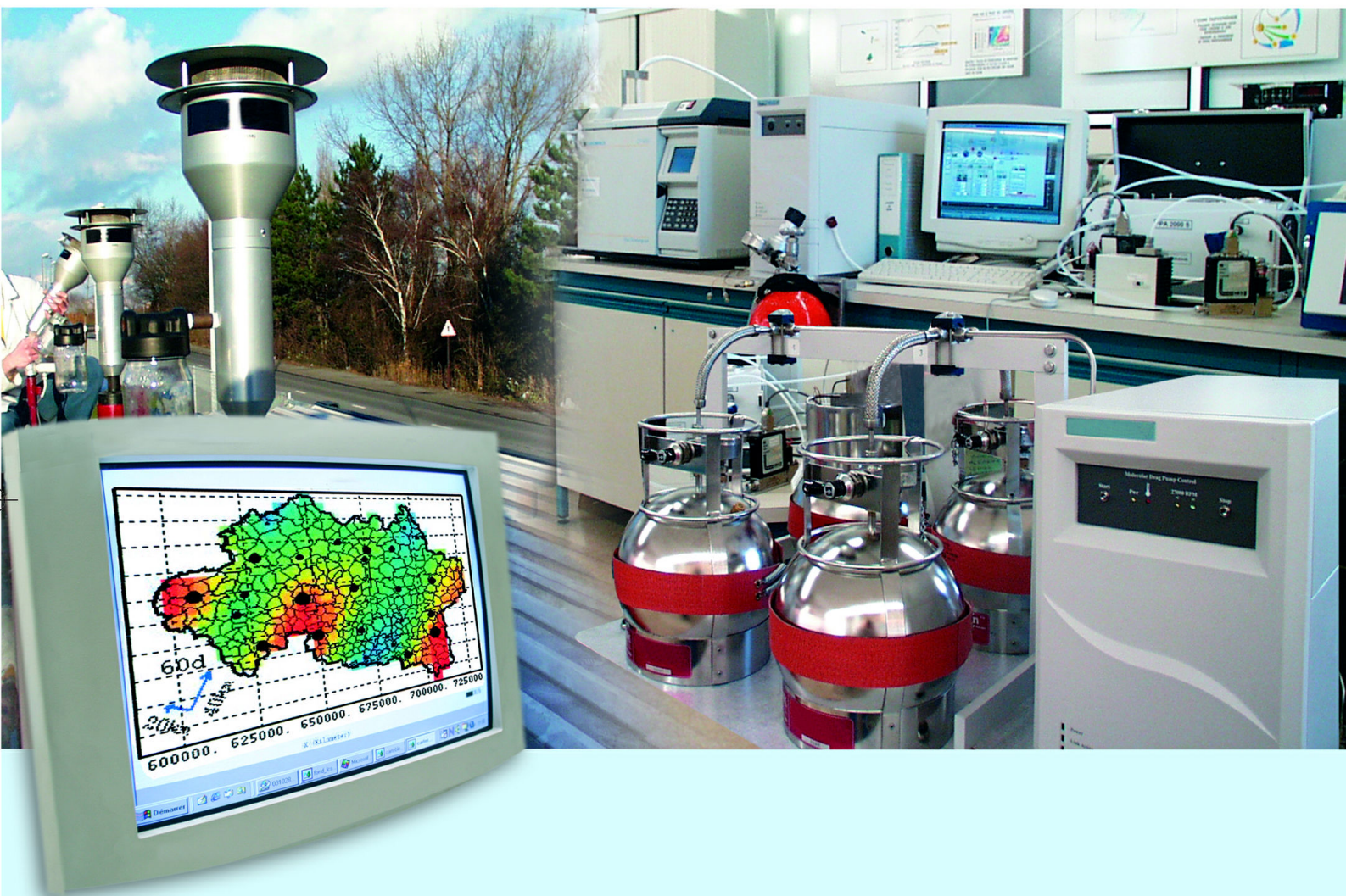




Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE DE MISE EN PLACE DE SITES MULTI-INSTRUMENTES DANS LE CADRE DE LA SURVEILLANCE DES PARTICULES DANS L'AIR AMBIANT

Décembre 2006
Version finale
O. LE BIHAN, L. RAGAVA,
F. MATHE



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

ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE DE MISE EN PLACE DE SITES MULTI-INSTRUMENTES DANS LE CADRE DE LA SURVEILLANCE DES PARTICULES DANS L'AIR AMBIANT

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)

DECEMBRE 2006

L. Ragava, F. Mathé, O. Le Bihan

Ce document comporte 50 pages (hors couverture).




	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	L. RAGAVA F. MATHE	D.SAVANNE O. LE BIHAN	M.RAMEL
Qualité	Ingénieur Intérimaire Unité Qualité de l'Air Enseignant Chercheur Ecole des Mines de Douai	Responsable de l'Unité Qualité de l'Air Ingénieur Unité Qualité de l'Air	Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIERES

RESUME DE L'ÉTUDE INERIS / EMD 2006	4
1. INTRODUCTION.....	5
2. RECENSEMENT DES BESOINS EXPRIMÉS EN EUROPE.....	6
2.1 Orientation du programme EMEP (European Monitoring and Evaluation Program)	6
2.2 Besoins émis par le programme CAFE (Clean Air For Europe)	13
2.2.1 Identité et objectifs de CAFE	13
2.2.2 Recommandations de CAFE sur le thème des particules.....	13
2.2.3 Apport du projet EURAQHEM.....	14
2.2.3.1 Mission d' EURAQHEM.....	14
2.2.3.2 Le concept de « super-régions »	14
2.2.3.3 Sélection des sites de routine.....	16
2.2.3.4 Sélection des super-régions	16
2.2.4 Apport de CAFE : conclusion.....	17
2.3 Conclusion.....	18
3. EXEMPLES DE DISPOSITIFS ET TRAVAUX PRÉALABLES	19
3.1 Exemple du « Supersites research program » de l'us epa (US Environment Protection Agency)	19
3.1.1 Contexte	19
3.1.2 Dispositif actuel.....	19
3.1.3 Définition d'une nouvelle stratégie	23
3.2 Exemples de sites multi-instrumentés en proximité de voies de circulation en Europe.....	23
3.2.1 Projet Suisse de « Suivi des mesures d'accompagnement Environnement (SMA-E) »	23
3.2.2 L'expérience allemande BundesAutoBahn (BAB II), [U.Corsmeier, 2005]25	
3.3 Travaux du Programme National de Recherche et d'Innovation dans les Transports Terrestres (PREDIT)	27
3.3.1 Contexte	27
3.3.2 Mise en place d'une stratégie de surveillance	27
3.4 Conclusions.....	28
4. PROPOSITIONS POUR UN DISPOSITIF FRANÇAIS	29
4.1 Objectifs	29
4.1.1 Impacts Sanitaires	29

4.1.2 Besoins de modélisation	29
4.2 Types de sites potentiels	30
4.2.1 En zone rurale	30
4.2.2 En zone urbaine.....	33
4.2.2.1 Site urbain de fond	33
4.2.2.2 Sites de proximité	33
4.2.2.3 Station Multi-Instrumentée Mobile	34
4.3 Exemple d'un site multi-instrumenté urbain de fond.....	34
4.3.1 Caractéristiques générales	34
4.3.2 Caractéristiques techniques	35
4.3.3 Evaluation du cout de fonctionnement.....	36
5. CONCLUSION.....	37
6. RÉFÉRENCES	39
7. LISTE DES ANNEXES	40
7.1 Annexe 1 : Document de référence de l'étude	41
7.2 Annexe 2 : Recensement et analyse des techniques retenues dans le rapport final de l'INERIS dans le cadre du programme PREDIT, classées par polluant	43

RESUME DE L'ETUDE INERIS / EMD 2006
ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE DE MISE EN PLACE DE SITES
MULTI-INSTRUMENTES DANS LE CADRE DE LA SURVEILLANCE DES
PARTICULES DANS L'AIR AMBIANT

Olivier LE BIHAN

Olivier.Le-Bihan@ineris.fr – tél. : 03 44 55 65 88

François MATHE

mathe@ensm-douai.fr – tél. : 03 27 71 26 10

RESUME

Ces dernières années ont vu l'augmentation du nombre de polluants à prendre en compte, qu'il s'agisse de surveillance réglementaire ou de réponse à des besoins de recherche, et ce notamment dans le domaine des particules en suspension dans l'air ambiant. Cependant, compte tenu de la complexité et du coût induit par certaines techniques, une logique de surveillance en continu n'est pas forcément recherchée dans la mesure où elle nécessiterait une mise en place sur un nombre suffisamment représentatif de points de mesure.

Une réponse possible au problème réside dans les « sites multi -instrumentés » (« super stations » ou « supersites ») visant un accroissement des connaissances sur la phase particulaire. Il apparaît donc nécessaire d'initier une réflexion sur la mise en place en France de sites multi - instrumentés en zone urbaine -de fond et/ ou de proximité- et en zone rurale sur la base du recensement des besoins exprimés au niveau européen.

Deux besoins majeurs ont été identifiés, il s'agit de l'évaluation de l'impact de pollution atmosphérique sur la santé et de l'amélioration de la connaissance de cette pollution, notamment en terme de dispersion sur de longues distances.

En ce qui concerne l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution de l'air, le projet CAFE (via EURAQHEM) a émis des recommandations pour la mise en place d'un réseau de surveillance harmonisé au niveau européen. Cependant, de nombreux points restent à préciser avant la réalisation effective de ce programme.

Par rapport à l'amélioration des connaissances scientifiques, le projet EMEP a lancé dès 2004 un programme ambitieux établissant avec précision le dispositif à mettre en place sur le terrain . Actuellement, vis-à-vis de ce programme, la priorité en France est à la mise en place de sites EMEP de niveau 1, élaborés à partir de stations du réseau MERA. Il est prévu de faire un état d'avancement du programme lors du Workshop de la Task Force on Measurements and Modelling organisé à Paris du 29 novembre au 1^{er} décembre 2006.

1. INTRODUCTION

Ces dernières années ont vu l'augmentation du nombre de polluants à prendre en compte, qu'il s'agisse de surveillance réglementaire ou de réponse à des besoins de recherche, et ce notamment dans le domaine des particules en suspension dans l'air ambiant. Cependant, compte tenu de la complexité et du coût induit par certaines techniques, une logique de surveillance en continu n'est pas forcément recherchée dans la mesure où elle nécessiterait une mise en place sur un nombre suffisamment représentatif de points de mesure. Le manque de connaissances sur les particules et la recherche de représentativité à l'échelle locale, nationale et continentale est à l'origine de recommandations au niveau européen (2nd Position paper du GT « particules » CAFE), voire de programmes de recherche (abouti au niveau américain - US EPA - ou en phase de lancement au niveau européen - EMEP monitoring strategy 2004/2009 -). Enfin, la révision des Directives européennes (la Directive Cadre et les 3 premières Directives Filles) prévue pour fin 2007 recommande la mise en place d'une stratégie de mesure développée sur les PM_{2.5} (mesure en zone rurale avec spéciation en carbones organique et élémentaire, anions et cations).

Une réponse possible au problème réside dans les « sites multi - instrumentés » (« super stations » ou « supersites ») visant un accroissement des connaissances sur la phase particulaire (constitution et composition, distribution spatio-temporelle, origines, effet sur la santé, validation des modèles, recherche d'indicateurs autres que la concentration massique).

Il apparaît donc nécessaire d'initier une réflexion sur la mise en place en France de sites multi - instrumentés en zone urbaine -de fond et/ ou de proximité- et en zone rurale sur la base du recensement des besoins exprimés au niveau européen. Cette réflexion doit tenir compte des différents objectifs, des possibilités de programmes de mesure qui en découlent (en fonction de l'objectif, quelle technique utiliser et sous quelle configuration ?) ainsi qu'une estimation des coûts associés (équipement et fonctionnement).

2. RECENSEMENT DES BESOINS EXPRIMES EN EUROPE

Ce chapitre permet, de dresser de manière exhaustive, un état des lieux des demandes recensées sur le sujet des « sites multi - instrumentés » en Europe.

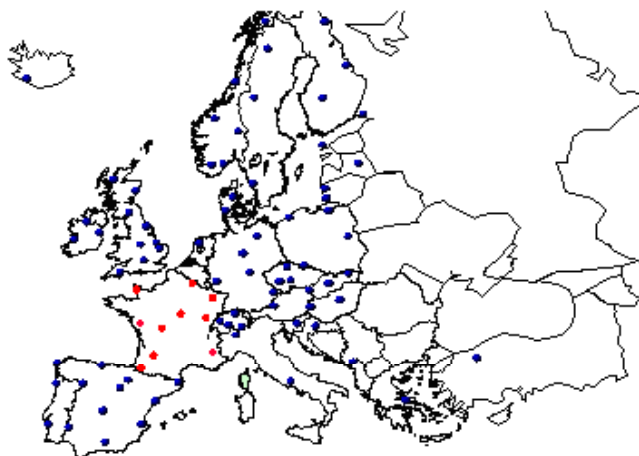
2.1 ORIENTATION DU PROGRAMME EMEP (EUROPEAN MONITORING AND EVALUATION PROGRAM)¹

En réponse à l'inquiétude internationale croissante suscitée par l'ampleur des dommages causés à l'environnement, la Commission Economique pour l'Europe des Nations Unis a élaboré en 1979 la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP). Ce texte était le premier instrument juridiquement contraignant portant sur la pollution atmosphérique dans un vaste cadre régional. Elle fixe les principes généraux de coopération régionale visant à réduire les émissions de polluants se déplaçant sur plusieurs milliers de kilomètres et par conséquent loin des sources. Les principaux objectifs de la Convention sont de progressivement réduire puis enrayer la pollution atmosphérique, y compris la pollution atmosphérique à longue distance, en développant notamment des systèmes de gestion de la qualité de l'air qui soient harmonisés en fonction des régions, des systèmes utilisant les meilleures technologies disponibles et économiquement réalisables, ainsi que la technologie peu polluante et sans déchets. Pour ce faire, la Convention a prévu un cadre institutionnel associant recherche et politique, dirigé par un organe exécutif responsable de la mise en œuvre de la Convention dans son ensemble. Depuis l'entrée en vigueur de la Convention en 1983, ses parties (50 actuellement) ont élaboré huit protocoles à la Convention. Ces protocoles concernent le financement du contrôle et de l'évaluation de la transmission à longue distance des polluants en Europe (EMEP), ainsi que le contrôle des substances qui contribuent le plus à la pollution transfrontalière et qui ont les effets les plus graves sur la santé et l'environnement (soufre, oxydes d'azote (NO_x), composés organiques volatils (COV), polluants organiques persistants (POP) et métaux lourds). Le programme de l'EMEP repose donc sur trois composantes :

- Collecte des données d'émission,
- Mesure de l'air ambiant et de la qualité des précipitations,
- Modélisation du transport atmosphérique et des dépôts de polluants.

Des bilans réguliers sont aussi réalisés afin de répondre aux objectifs suivants :

- (a)** fournir des données d'observation et de modélisation sur les concentrations de polluants, les dépôts, les émissions et les flux transfrontaliers à l'échelle régionale et identifier des tendances temporelles,
- (b)** identifier les sources de pollution et évaluer les effets de l'évolution de ces émissions;
- (c)** améliorer la compréhension des principaux processus physico-chimiques afin d'évaluer les effets de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes et la santé humaine, en lien avec le développement de stratégies de réduction des émissions
- (d)** étudier de nouvelles substances chimiques présentes dans l'environnement et susceptibles de rentrer ultérieurement dans le champ d'investigation de la Convention.



Carte du réseau EMEP

Crée en 1978, ce réseau comporte actuellement 81 sites de mesure pour les précipitations, 104 sites pour SO_2 et le soufre particulaire, 126 sites pour l'ozone, 11 sites pour les COV précurseurs photochimiques, 57 sites pour les métaux lourds, 10 sites pour les Polluants Organiques Persistants.

Les sites détaillés ci-dessus sont des sites de surveillance de la pollution de fond, ils sont complètement indépendants du réseau de surveillance de la qualité de l'air réglementé par les directives européennes.

Depuis 2004, ce programme européen de surveillance a vu son champ de prospection s'accroître sur les risques sanitaires. Une nouvelle orientation stratégique a été élaborée, devant répondre aux questions suivantes :

- (a) comment assurer une mesure en continu, suffisante sur le long terme, des concentrations et dépôts (afin de tester l'efficacité des protocoles de la Convention) ?
- (b) comment assurer une couverture spatiale adéquate sur les zones de compétence d'EMEP (actuelles et futures)?
- (c) comment assurer une résolution temporelle suffisante pour permettre l'étude des processus atmosphériques et l'amélioration des sorties de modèles, de même que l'analyse des phénomènes de pollution susceptibles d'avoir un impact sur la santé humaine et sur les écosystèmes ?
- (d) comment assurer une mesure co-positionnée et simultanée de tous les composés pertinents, avec des méthodes communes normalisées et des procédures d'assurance - qualité adéquates ?
- (e) comment donner à ce programme de mesures une dimension économiquement viable pour tous les états - membres, notamment ceux dont l'économie est en phase de transition ?

Cette nouvelle stratégie s'appuie sur un réseau de stations à 3 niveaux de complexité technique, dont l'instrumentation supplémentaire par rapport à la configuration initiale de 1978 concerne:

- les gaz (hydrocarbures légers et carbonylés) et la composition chimique des précipitations
- les particules avec notamment leur composition chimique (mesure sur l'aérosol carbone, spéciation sur les dérivés du mercure)
- la matière organique (les POP tels que les HAP, les PCB, le chlordane...)

L'objectif principal des mesures sur les sites de niveau 1 est de fournir sur le long terme des mesures chimiques et physiques de base sur les paramètres de la configuration initiale d'EMEP. La création de ce type de site sera prioritaire dans le cas de l'extension du réseau à des zones non actuellement couvertes (régions méditerranéennes, Europe de l'Est, Asie Centrale). Il est prévu de faire évoluer progressivement ces stations de niveau 1 vers le niveau 2.

Les stations de niveau 2 sont destinées à fournir des informations supplémentaires pour la compréhension des processus (ex : spéciation chimique de composés pertinents) selon des thématiques spécifiques :

- acidification & eutrophisation
- oxydants photochimiques
- métaux lourds
- Polluants Organiques Persistants (DDT, aldrine, dieldrine, lindane, hexachlorobenzène, heptachlore...)
- Particules en suspension (PM₁₀ & PM_{2.5})

Ce type de station représente donc un complément essentiel des sites de niveau 1. Le but est d'installer un total de 20 à 30 sites de niveau 2 en Europe à l'horizon 2009. Les stations de niveau 1 et 2 relèvent de l'obligation réglementaire, certains aménagements étant cependant permis (cf. p.10). Les stations de niveau 2 sont configurées selon une thématique donnée et ne doivent pas couvrir toutes les thématiques.

Un site de niveau 1 évoluant vers un site de niveau 2 (pour une thématique donnée) sera qualifié de "supersite" pour la thématique concernée. La gestion des sites de niveau 1 et 2 sera spécifiquement assurée par des instances désignées par les états membres.

Les sites de niveau 3 sont à vocation de recherche. Leur objectif principal est de développer la compréhension des principaux processus physico-chimiques en lien avec la pollution transfrontière et son contrôle. Les activités associées seront entreprises par des organismes de recherche et pourront inclure des données issues de campagnes de mesure. Ces sites sont des éléments à base volontaire du nouveau réseau.

Les sites de niveau 2 et 3 se verront appelés "supersites EMEP", cette appellation étant un facteur de motivation important et une reconnaissance pour les fournisseurs de données.

Les spécificités des différents niveaux de mesure sont les suivantes:

(a) Niveau 1: Les paramètres requis doivent refléter les aspects fondamentaux de l'acidification, l'eutrophisation, des oxydants photochimiques, des métaux lourds, des Polluants Organiques Persistants et des Particules en suspension, ainsi que leurs tendances dans le temps.

Les pré-requis concernent également les paramètres météorologiques, mais qui peuvent être obtenus d'un site de mesure météorologique adjacent, sous réserve de représentativité correcte. Les contraintes financières pour le niveau 1 sont plus faibles que pour le niveau 2. Des méthodes à coût réduit sont autorisées pour la détermination de la répartition entre les phases gazeuse et particulaire, la mesure de POP n'étant pas requise ;

(b) Niveau 2: En plus des paramètres demandés au niveau 1,

→ pour l'acidification, l'eutrophisation et la matière particulaire en suspension, une résolution temporelle fine (journalière ou par méthodes en continu), une information solide sur la distribution gaz/particule de l'azote semi-volatile, et une mesure de la concentration massique en $PM_{2.5}$ sont requises.

→ pour les oxydants photochimiques, les mesures sont étendues aux oxydes d'azote en continu, aux Composés Organiques Volatils légers et aux composés carbonylés

→ pour les métaux lourds, la priorité est donnée à la mesure de la concentration massique dans les particules en suspension dans l'air ambiant en Cd et Pb (Cu, Zn, As, Cr, Ni venant en second) et en Hg dans l'air et les précipitations. La mesure de POP est obligatoire et concerne aussi bien l'air que les précipitations;

(c) Niveau 3: les mesures relèvent du domaine de la recherche et peuvent être disponibles à des endroits autres que les sites de niveau 1 et 2. Ce type de mesure doit répondre aux objectifs fixés par EMEP. Les paramètres pertinents sont:

- (i) Les flux de dépôts secs (espèces soufrées, azotées, Ozone, Hg, autres),
- (ii) Les hydrocarbures (C_6 à C_{12}),
- (iii) Les profils verticaux en ozone et en aérosols (radio sondages ou LIDAR),
- (iv) La chimie des NO_y ,
- (v) La spéciation en Hg (Mercure Total Gazeux (MTG), Mercure Réactif Gazeux (MRG), Mercure Total Particulaire (MTP)),
- (vi) Les congénères des POP spécifiques (PCBs, HAP, PCDD et PCDF),
- (vii) L'observation des POP et du Hg dans l'air, l'eau, les sols
- (viii) La distribution en nombre et taille de particules,
- (ix) L'épaisseur optique de l'aérosol,
- (x) La spéciation chimique du Carbone Organique (CO) dans les aérosols,
- (xi) La mesure du Noir de Carbone ("black carbon") et du CO.

D'autres paramètres peuvent être ajoutés à cette liste si EMEP les juge pertinents.

Les tableaux suivants résument la configuration technique des 3 types de sites envisagés :

Tableau 1. Configuration technique pour les sites EMEP de niveaux 1 et 2 :

Programme	Parameters	Minimum time resolution	Reference methodology ¹	Notes
Level-1 sites				
Inorganic compounds in precipitation	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , H ⁺ (pH), Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Cl ⁻ (cond)	24h=Daily	Wet-only/bulk IC/AES/AAS	Needs to be complemented with low-cost denuders Continuous NOx monitors with photolytic converter may be used Gravimetric methods preferred, but monitors can be used where equivalence can be demonstrated. Low-cost alternative to basic PM speciation that provides necessary gas-particle ratios for level-1 sites. Can be taken from a representative meteorological site
Heavy metals in precipitation	Cd, Pb (1st priority), Cu, Zn, As, Cr, Ni (2nd priority)	Daily/weekly	Wet-only/bulk ICP MS or GF-AAS	
Inorganic compounds in air	SO ₂ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , HNO ₃ , NH ₄ ⁺ , NH ₃ , (sNO ₃ , sNH ₄), HCl, Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺	24h=Daily	FP-filter pack IC/AES/AAS	
NO ₂ in air	NO ₂	24h=Daily	NaI method	
Ozone in air	O ₃	Hourly	UV-abs	
PM mass in air	PM _{2.5} , PM ₁₀	Hourly/Daily	LVS-PM ₁₀ , HVS-PM ₁₀ or equivalent	
Gas particle ratios	NH ₃ , NH ₄ ⁺ , HCl, HNO ₃ , NO ₃ ⁻ (in combination with filter pack sampling)	Monthly	Low cost Denuder	
Meteorology	Precipitation amount (RR), temperature (T), wind direction (dd), wind speed (ff), relative humidity (rh), atmospheric pressure (pr)	Hourly	AWS	
Level-2 sites (additional parameters)		Level-2 sites should also measure all parameters required at level 1		
Acidification and eutrophication				
Gas particle ratio	NH ₃ /NH ₄ ⁺ , HNO ₃ /NO ₃ ⁻ (artifact-free methods, contribute also to PM)	Hourly/Daily	Manual denuders	Continuous denuders/steam-jet may also be used. Replace low cost denuders from level 1. See also PM speciation. Optional low-cost alternative to provide high spatial resolution information in emission areas, where desired.
Ammonia in emission areas (optional)	NH ₃	Monthly	Low cost denuders	
Photochemical oxidants				
NOx	NO, NO ₂	Hourly	Monitor	NOx monitors with photolytic converter Monitoring 10-15 min twice a week may also be used
Light hydrocarbons	C ₂ -C ₇	Hourly	Monitor or canister/GC	
Carbonyls	Aldehydes and ketones	8hourly twice a week	2,4 DNFH silica cartridges/HPLC	
Heavy metals				
Mercury in precipitation	Hg	Weekly	Wet-only/bulk CV-AFS	Spec. sampling of borosilicate or halocarbon
Mercury in air	Hg (total gaseous mercury)	Hourly/Daily	Monitor or gold traps CV-AFS	Sampling 1 day per week (or weekly)
Heavy metals in air	Cd, Pb (1st priority), Cu, Zn, As, Cr, Ni (2nd priority)	Daily/Weekly	HVS or LVS/ICP MS or GF-AAS	Analytical method is determined by the concentration level
Persistent organic pollutants				
POPs in precipitation	PAHs, PCBs, HCB, chlordane, HCHs, DDT/DDE	Weekly	Wet-only/bulk GC-MS/HPLC	Sampling 1 day per week (or weekly)
POPs in air	PAHs, PCBs, HCB, chlordane, HCHs, DDT/DDE	Daily/Weekly	HVS, PUR foam GC-MS/HPLC	
Particulate matter				
Major inorganics in both PM _{2.5} and PM ₁₀	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺ (Cl ⁻)	Hourly/Daily	Manual denuders or continuous monitors	Continuous denuder/steam-jet and other instruments may also be used
Mineral dust in PM ₁₀	Si	Daily/Weekly	XRF, INAA, PIXE	Reference methodology is under development
Elemental carbon (EC) Organic carbon (OC)	EC, OC	Daily/Weekly	Thermo-optical	

Tableau 2. Configuration technique pour les sites EMEP de niveau 3:

Programme	Parameters	Minimum time resolution	Reference methods ¹	Notes
Level-3 sites (monitoring at these sites does not require all level 1 and level-2 parameters)				
Dry deposition flux of sulphur and nitrogen species	SO ₂ , NH ₃ , HNO ₃ (SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻)	Hourly/Daily	-	Contributes to acidification and eutrophication EMEP programme for evaluation of effects on ecosystems and health
Dry deposition flux of O ₃	O ₃	Hourly/Daily	-	Contributes to photo-oxidant EMEP programme for evaluation of effects on ecosystems and health.
Hydrocarbons	C ₆ -C ₁₂	Hourly/Daily	-	Contributes to photo-oxidant EMEP programme for evaluation of effects on ecosystems and health.
NO _y chemistry	NO, NO ₂ , PAN, organic nitrates	Hourly/Daily	-	Contributes to photo-oxidant and particulate matter EMEP programmes for evaluation of effects on ecosystems and health.
OC speciation	Both water soluble and water insoluble OC	Hourly/Daily	-	Contributes to EMEP programme for PM evaluation of effects on health and analysis of synergies with global change
“Black carbon”	BC	Hourly/Daily	-	Contributes to EMEP programme for PM evaluation of effects on health and analysis of synergies with global change
Size/number distribution	dN/dlogDp	Hourly/Daily	-	Contributes to EMEP programme for PM evaluation of effects on health and analysis of synergies with global change
Light scattering	Aerosol optical depth	Hourly/Daily	-	Contributes to EMEP programme for PM evaluation of effects on health and analysis of synergies with global change
Vertical profiles	O ₃ soundings, PM lidar	Hourly/Daily	-	Contributes to EMEP modelling of intercontinental pollution transport
Mercury speciation	TGM, RGM and TPM	Daily/Weekly	-	Contributes to EMEP programme on heavy metals for evaluation of effects on ecosystems and health.
Congener-specific	POPs: PCBs, PAHs, PCDDs and PCDFs	Daily/Weekly	-	Contributes to EMEP programme on POPs for evaluation of effects on ecosystems and health.
Multi-compartment (air, soil, water)	POPs and Hg	Daily/Weekly	-	Contributes to EMEP programme on heavy metal and POPs for evaluation of effects on ecosystems and health.

1) Reference methods can change in time as new methods become available. AAS: Atomic Absorption Spectroscopy; CV-AFS: Cold Vapour Atomic Fluorescence Spectroscopy; GF-AAS: Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy; DNPH: Dinitrophenylhydrazine; FP: Filter Pack; PUR: Polyurethane; GC: Gas Chromatography; HPLC: High Performance Liquid Chromatography; HVS: High Volume Sampler; LVS: Low Volume Sampler; ICP-MS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry; PIXE: Proton Induced X-ray Emission; INAA: Neutron Activation Analysis; XRF: X-ray Fluorescence; IC: Ion Chromatography; AES: Atomic Emission Spectroscopy; GC-MS: Gas Chromatography- Mass Spectroscopy. AWS: Automatic Weather Station.

Les différents composés ciblés par EMEP sont intimement liés et il est important que le réseau de mesure de référence EMEP soit constitué de points de mesure co-localisés et simultanés, pour l'air et les précipitations. Il est cependant admis que les mesures de POP puissent ne pas être co-localisés sur des sites de niveau 1, dans la mesure où ce type de mesure peut être effectué dans le cadre d'autres programmes tels que OSPARCOM (**OS**lo & **PAR**is marine **COM**missions, commissions d'Oslo et de Paris régissant les problèmes de pollution du Nord-Est Atlantique), HELCOM (Commission d'Helsinki pour la protection de la mer Baltique) et AMAP (Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique). La résolution temporelle pour le programme EMEP doit être suffisante pour supporter l'analyse de caractéristiques chimiques et physiques à l'échelle de transport synoptique. Ainsi, elle ne doit pas dépasser les 24 heures. Une résolution temporelle plus fine est recommandée si des méthodes appropriées existent. Une exception est faite si l'activité de mesure requiert des moyens financiers conséquents, rendant irréaliste le prélèvement en continu intégré sur 24h. Dans ce cas, il est recommandé de maintenir la pratique courante consistant

à limiter le prélèvement à quelques séquences par semaine (2 h, 24 ou 48 h par semaine comme pour les COV, les composés carbonylés, les POP, le Carbone Élémentaire et Organique EC/OC) ou bien d'intégrer sur une semaine entière (composés inorganiques dans les $PM_{2.5}$ et Hg). Une autre exception est faite lorsque les états - membres fournissent des données à haute résolution spatiale sur les composés ciblés en site de niveau 1, tout en utilisant des temps plus longs d'intégration de l'échantillon. Les fréquences d'échantillonnage seront révisées régulièrement par la TFMM (Task Force on Measurements and Modelling, dirigée conjointement par le Royaume-Uni et l'OMS) afin de prendre en compte les exigences évoluant en fonction des besoins de la Convention.

Concernant la densité des sites, il est suggéré qu'elle soit définie à l'échelle européenne pour chaque niveau, tout en ayant une certaine flexibilité. En général, cette densité dépend du temps de séjour des polluants dans l'atmosphère et doit être la plus élevée dans les zones à forts gradients de concentration dans l'air et les dépôts. Dans le cas d'EMEP, la densité en sites recherchée varie typiquement entre 1 et 2 sites par 100.000 km^2 . Les états - membres d'une superficie supérieure à 10.000 km^2 doivent installer au moins 1 site de niveau 1.

Les activités de niveau 2 constituent le noyau additionnel essentiel du nouveau réseau EMEP. Cependant, compte tenu des dépenses supplémentaires induites, il est envisagé à court terme (jusqu'en 2009) un nombre de 20 à 30 sites de niveau 2 sur l'Europe, en exigeant pour tout état - membre de superficie supérieure à 50.000 km^2 de mettre en place au moins 1 site de niveau 2. Les possibilités de collaboration à l'échelle régionale seront à prendre en considération.

Les mesures de niveau 3 sont sur une base volontaire dans le cadre d'EMEP mais sont importantes pour l'évolution du réseau. A titre indicatif, il est proposé de 20 à 25 sites répartis de manière équilibrée sur l'Europe. Dans une certaine mesure, ce type de sites doit refléter les problèmes de pollution prioritaires dans différentes régions de l'Europe.

2.2 BESOINS EMIS PAR LE PROGRAMME CAFE (CLEAN AIR FOR EUROPE)

2.2.1 IDENTITE ET OBJECTIFS DE CAFE

Ce programme, lancé en 2001, constitue la première des stratégies thématiques annoncées dans le sixième programme d'action pour l'environnement de la commission européenne [Parlement européen, 2002]² et a abouti à des recommandations en vue du choix de la stratégie de lutte contre la pollution atmosphérique et de protection de la santé humaine et de l'environnement face aux effets de celle-ci.

2.2.2 RECOMMANDATIONS DE CAFE SUR LE THEME DES PARTICULES

Depuis 1999, la première directive fille sur la qualité de l'air ambiant (1999/30/EC) impose aux états membres la concentration massique en PM₁₀ comme indicateur principal de pollution pour ce qui concerne les particules. Elle leur demande également de mettre en place des sites de mesure de la concentration massique en PM_{2,5} et de transmettre les résultats annuellement à la commission.

Depuis cette date, la communauté scientifique a mené de nombreuses études sur les particules en Europe. Ces travaux ont notamment établi la prépondérance du PM_{2,5} dans la phase particulaire, particulièrement vis-à-vis de son impact sur la santé.

En se basant sur ces nouvelles informations, le groupe de travail sur les particules du programme CAFE a publié un rapport [Second position paper on particulate matter (CAFE), 2004]³ dans lequel il préconise que le PM_{2,5} soit désormais l'indicateur utilisé pour mesurer les taux de pollution particulaire.

Ce rapport publié fin 2004 soulignait également le manque de connaissances scientifiques au sujet des particules, et notamment du PM_{2,5}. C'est la raison pour laquelle le groupe de travail s'est positionné pour la mise en place à travers l'UE d'un réseau d'environ 20 stations réparties en zones urbaines de fond, en proximité de voie de circulation et en zones rurales ayant pour objectif d'améliorer ces connaissances. Le but de ces investigations étant de permettre une meilleure compréhension des effets des particules sur la santé humaine.

Les paramètres à mesurer ne sont pas précisés dans ce rapport mais il suggère cependant quelques pistes (notamment la composition chimique, dont le carbone élémentaire, le PM₁ et la concentration en nombre des particules ultrafines) et évoque la nécessité d'effectuer ces mesures sur le long terme. Ces stations de mesure doivent par conséquent être utilisées en continu, en utilisant des méthodes harmonisées afin de générer des données pouvant être mises en commun.

2.2.3 APPORT DU PROJET EURAQHEM

2.2.3.1 MISSION D' EURAQHEM

EURAQHEM (European Air Quality Health Effect Monitoring) est un groupe de travail financé par le programme CAFE dont l'objectif est de réfléchir sur la mise en place d'un réseau de surveillance de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique en Europe. Ce projet a été lancé consécutivement aux recommandations émises dans le rapport de CAFE de décembre 2004³.

2.2.3.2 LE CONCEPT DE « SUPER - REGIONS »

Ce groupe de travail a publié son rapport final en 2006 [EURAQHEM, 2006]⁴, il confirme dans celui-ci que l'état actuel du dispositif de mesure ne permet pas d'établir avec certitude l'exposition des populations et les sources responsables des problèmes de santé liés à la pollution atmosphérique.

Pour répondre à ce besoin, EURAQHEM propose une nouvelle approche pratique d'évaluation des effets de la pollution de l'air sur la santé basée sur la mise en place de deux types de sites de mesure :

- Des sites « routine », ayant pour objectif la surveillance de la qualité de l'air et la détermination des taux d'expositions.

Ces sites correspondent en fait au réseau de stations existantes et dans la plupart des cas, aucun aménagement ne sera demandé.

- Des sites appelés « super - stations », destinés à recueillir des activités de recherche élargies sur la qualité de l'air ambiant, en relation avec l'exposition, l'épidémiologie et la toxicologie.

Il conviendra préalablement, de délimiter des zones géographiques en Europe, de façon à représenter tous les climats et les tissus socio-économiques possibles. Chaque zone sera équipée de stations de routines sélectionnées avec précision et parmi toutes ces régions, quelques-unes accueilleront également des super - stations, elles seront dénommées « super - régions ».

Ces super - stations sont la représentation pratique des sites mentionnés par le groupe de travail sur les particules de CAFE dans son « second position paper » (chap. 2.2.2).

Elles ne concernent pas uniquement les particules mais un grand nombre de polluants atmosphériques, les paramètres à mesurer arrêtés par EURAQHEM sont présentés dans le tableau ci-dessous (cf. tableau 3). Toutefois, les résultats présentés dans le tableau 3 par EURAQHEM mettent nettement en évidence l'importance de la surveillance des particules au niveau des « super - régions ».

Pour le réseau « routine », l'attention est focalisée sur les polluants dont la surveillance est réglementée par l'UE, ou en voie de l'être.

Les autres polluants, tels que les pesticides par exemple, n'ont pas été retenus parmi les composés à surveiller. Ce qui n'est pas le cas dans les recommandations d'EMEP pour les sites de niveau 2 et 3.

Component	Suggested to have health relevance based on toxicology	Suggested to have health relevance based on epidemiology	Should be measured in routine network	Should be measured at superregion
O ₃	Yes	Yes	Yes	Yes
CO	Yes	Yes	Yes	Yes
SO ₂	Yes	Yes	Yes	Yes
NO ₂	Yes	Yes	Yes	Yes
PM ₁₀	Yes	Yes	Yes	Yes
PM _{2.5}	Yes	Yes	Yes	Yes
PM _(2.5-10)	Yes	Yes	Yes	No
PM ₁	Yes	Yes	No	No
UFP	Yes	Yes	Yes ¹	Yes
Nitrate	No information	No information	No	Yes
Sulphate	No	Yes	No	Yes
Ammonium	No information	No information	No	Yes
Soot (Black smoke)	Yes	Yes	Yes ¹	Yes
PAH	Yes	Yes	Yes ¹	Yes
Benzene	Yes	Yes	Yes ¹	Yes
Organic carbon speciation	Yes	Yes	No	Yes
Sea salt (Na, Mg, Cl)	No information	No	No	for SoAp
Ca	No	No	No	for SoAp
K	No	No	No	for SoAp
Fe	Yes	Yes	No	Yes
Ni	Yes	No information	Yes ¹	Yes
Zn	Yes	No information	No	Yes
Cu	Yes	No information	No	Yes
As	Yes	Yes	Yes ¹	Yes
Sb	No information	No information	No	for SoAp
Cd	Yes	Yes	Yes ¹	Yes
Pb	Yes	Yes	Yes ¹	Yes
Mn	Yes	No	No	Yes
Cr	Yes	No	No	Yes
Biological particles (pollen, spores, etc.)	Yes	Yes	No	Yes
Fibers and man-made nanoparticles	Yes	Yes	No	Yes

* Comme demandé par la directive correspondante

for SoAp: for source apportionment

¹ Fortement conseillé mais après la standardisation des méthodes de mesure

Tableau 3. Paramètres à mesurer dans les sites « routine » et « super - région » suggérés par EURAQHEM (cf. final report)

2.2.3.3 SELECTION DES SITES DE ROUTINE

Chaque individu est confronté à divers environnements au cours d'une journée et il est évidemment impossible de quantifier avec certitude l'exposition de chaque individu à la pollution atmosphérique. Par conséquent, il est nécessaire de faire une approximation basée sur des mesures faites en extérieur, dans chaque type d'environnement où la population est exposée à la pollution atmosphérique (proximité d'infrastructures routières et industrielles, zones urbaines, péri-urbaines et rurales).

Selon le rapport final d'EURAQHEM, le réseau de surveillance idéal devrait :

- Définir des sous-groupes (population active, enfants, personnes âgées...) dans la population et évaluer si possible leurs vulnérabilités intrinsèques
- Définir les situations d'exposition de chaque sous-groupe
- Evaluer les temps d'expositions respectifs
- Délimiter la validité spatiale des résultats obtenus
- Avoir au moins un site pour chaque type d'environnement

Cependant ce modèle semble difficile à mettre en place pour des raisons économiques et pratiques, c'est pourquoi une approche « statique » sera privilégiée. Dans cette approche, on considèrera que chaque individu est uniquement soumis à la pollution atmosphérique de sa zone de résidence, toute la journée. La méthodologie proposée est alors la suivante :

- a) Identifier les points chauds (industries et rue canyon) et modélisation de la pollution atmosphérique pour chaque région pré-sélectionnée
- b) Déterminer les groupes de zones où la pollution est similaire
- c) Etablir pour chaque groupe la présence d'une station de mesure représentative ou la nécessité d'en implanter une nouvelle
- d) Déterminer le nombre d'individus présents dans chaque zone et les polluants qui devront y être surveillés

A noter pour le b) que les caractéristiques de la pollution de l'air autour des sites industriels varient beaucoup en fonction du type d'industrie. Afin d'éviter un effort de recherche non nécessaire et de rationaliser les investissements, une sélection supplémentaire devra être faite entre les différents types de sites industriels localisés, en se basant par exemple sur le nombre d'individus exposés, afin de limiter le nombre de groupes.

2.2.3.4 SELECTION DES SUPER - REGIONS

En juin 2006, lors du congrès de l'APHEIS (Air Pollution and Health: A European Information System) à Ispra en Italie, T.A.J Kuhlbusch de l' « Institute of Energy and Environmental Technology » (ou IUTA), a plus précisément défini le concept de « super - région » [T.A.J Kuhlbusch, 2006]⁵. Il a notamment précisé que ces sites devaient être pérennes pour une durée minimale de 7 ans, afin de pouvoir réaliser des études de tendances. Il a également ajouté qu'ils devaient être disséminés sur toute l'Europe afin de représenter toutes les variantes socio-économiques, climatologiques et de pollution existantes.

De nombreuses questions restent encore en suspend, notamment au niveau du choix des implantations des super - régions, des protocoles à mettre en place (techniques et fréquences de mesure) et du financement de ce dispositif.

2.2.4 APPORT DE CAFE : CONCLUSION

En septembre 2005, la Commission européenne a tenu compte dans sa communication sur la stratégie thématique sur la pollution atmosphérique [Commission européenne, 2005]⁶ des besoins exprimés par le programme CAFE en 2004 en soulignant qu'il était nécessaire de : « lancer de nouvelles études sur les sources d'émission, la chimie de l'atmosphère, la dispersion des polluants et les effets de la pollution atmosphérique sur la santé et l'environnement, par exemple dans le cadre d'études épidémiologiques européennes à long terme ». Cependant, les recommandations d'EURAQHEM ont été communiquées après le dépôt de la nouvelle proposition de directive par la Commission européenne et la réflexion n'en est pour l'instant qu'à ces débuts.

C'est pourquoi, dans la proposition de nouvelle directive sur la pollution atmosphérique [Commission européenne, 2005]⁷ soumise au conseil et au parlement européen, la commission européenne recommande uniquement pour le moment une surveillance des niveaux de concentration de fond dans l'air ambiant de certains polluants (O₃, SO₂, NO₂ et NO_x, PM₁₀ et PM_{2,5}, Pb, CO et Benzène).

Il n'existe donc, par conséquent, aucune certitude sur l'application par la Communauté européenne des recommandations formulées par CAFE.

Toutefois, les propositions d'EURAQHEM semblent avoir susciter de l'intérêt au sein de la DG ENV (Direction Générale de l'Environnement de la commission européenne) [S. Brockett, 2006]⁸ et il sera intéressant de suivre l'évolution de ces propositions au sein de la communauté scientifique, dans l'hypothèse d'une éventuelle mise en place effective d'un réseau de sites du type « super - région ».

2.3 CONCLUSION

Le tableau 4 synthétise brièvement les besoins exprimés en matière de supersites en Europe. Il est important de noter que le programme EMEP possède une réalité physique et que son réseau est en train de se structurer en Europe. A l'inverse, les besoins exprimés par le programme CAFE ne sont pour l'instant que dans une phase de réflexion.

Origine du besoin	Objectifs	Polluants considérés	Moyens souhaités
EMEP	Développer les connaissances sur la physico-chimie de la pollution atmosphérique et améliorer la modélisation de cette pollution sur de longues distances.	Cf. tableaux 1 et 2	<ul style="list-style-type: none"> Sites de niveau 1 (priorité) pour les analyses physico-chimiques de bases Sites de niveau 2 (20 à 30) basés sur des sites de niveau 1 + analyses approfondies sur une ou plusieurs thématiques spécifiques Sites de niveau 3 (20 à 25) destinés à des projets de recherche
CAFE (EURAQHEM)	Evaluer l'impact de certains polluants atmosphériques sur la santé	Cf. tableau 3	<ul style="list-style-type: none"> Sites de routine pour les polluants réglementés Super - stations pour les analyses approfondies

Tableau 4. Synthèse des besoins exprimés en Europe en matière de supersites

3. EXEMPLES DE DISPOSITIFS ET TRAVAUX PREALABLES

Dans ce chapitre, nous considérerons les expériences déjà mises en place ou envisagées, aussi bien en Europe qu'aux Etats-Unis. Nous tirerons ensuite les enseignements apportés par ces expériences, afin de nous en inspirer pour établir des propositions pour le dispositif français.

3.1 EXEMPLE DU « SUPERSITES RESEARCH PROGRAM » DE L'US EPA (US ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY)

Un premier travail d'analyse sur le concept des supersites [M. Ramel, 2004]⁹ a été mené dans le cadre des missions permanentes du LCSQA. Ce document établit une synthèse précise du dispositif de surveillance de la qualité de l'air américain et des réflexions menées au sujet de l'évolution du « Supersites Program ». La philosophie des nouvelles orientations du dispositif a évolué depuis ce travail. Dans ce paragraphe, nous rappellerons brièvement le fonctionnement de l'actuel programme et nous présenterons le nouveau dispositif proposé.

3.1.1 CONTEXTE

En 1997, aux Etats-Unis, l'EPA a révisé les « National Ambient Air Quality Standards » (NAAQS) applicables pour les particules [EPA, 1997]¹⁰. Le bilan qui a motivé cette révision a également souligné des manques dans les connaissances scientifiques au sujet des particules en général et du PM_{2,5} en particulier. Des fonds gouvernementaux ont dès lors été engagés afin que l'EPA démarre un programme de recherche destiné à améliorer ces connaissances¹¹.

Afin de répondre à cette demande, l'EPA a donc lancé le « supersites research program », les objectifs principaux de ce programme étaient de caractériser le PM_{2,5}, de collecter des données afin d'aider les études sanitaires et d'exposition et également de tester les nouvelles méthodes de mesure.

Pour réaliser ces objectifs, l'EPA a développé le concept de « supersite » : des sites dotés des dernières technologies en matière de mesure des caractéristiques du PM_{2,5}.

3.1.2 DISPOSITIF ACTUEL

Sept des plus importantes zones urbaines du pays ont été choisies pour faire partie du supersites research program (*figure 1*), et ce par rapport à leurs caractéristiques propres, telles que l'origine de leur population, le climat, la typographie ou la présence d'industries à proximité ; mais également, en fonction de la présence d'infrastructures ou d'un réseau local pouvant minimiser le coût des investissements nécessaires.



Figure 1. US EPA Supersites research program

Chacun de ces supersites est destiné à mener des projets de recherche sur des périodes de longueur variable. Les résultats de ces recherches sont ensuite centralisés par le NARSTO (North American Research Strategy for Tropospheric Ozone) et font l'objet de communications régulières¹².

Les dispositifs techniques mis en place sont différents pour chaque supersite, ils se composent de stations fixes et/ou mobiles multi - instrumentées et d'un réseau de sites satellites utilisés par les associations de surveillance locales.

La majorité des supersites (Baltimore, St - Louis, Los Angeles, New - York et Houston) dispose d'une station mobile, ce qui leur permet d'augmenter les sites de mesure et donc l'origine des données. Les deux supersites (Fresno et Pittsburgh) qui disposent uniquement de stations fixes sont ceux qui utilisaient déjà une station très équipée.

Compte tenu des caractéristiques des sites (tant géographique qu'organisationnel puisque les sites sont gérés conjointement par l'état et par l'organisme universitaire local), des objectifs spécifiques apparaissent :

- Test/évaluation de méthodes de mesure « non routinières »
- Amélioration des connaissances des sources
- Focus spécifique sur l'aérosol organique ou les PM_{2,5} (nature, sources)
- Optimisation des sorties de modèles récepteur ou de techniques statistiques multi variables
- Evaluation de l'efficacité de nouvelles technologies de contrôle des émissions
- Complément d'informations aux études épidémiologiques

Ceci peut donc entraîner des différences dans la configuration technique entre les sites.

Une synthèse des caractéristiques techniques générales utilisées dans ces supersites est présentée ci-après, dans les tableaux 5, 6 et 7 [F. Mathé, 2005]¹³.

Concernant la métrologie, de nombreux paramètres sont mesurés sur ces supersites:

- Concernant les propriétés physiques de l'aérosol, le tableau 5 résume la configuration usuelle utilisée :

Tableau 5. Configuration technique de supersite américain pour les propriétés physiques de l'aérosol (exemple de Pittsburgh)

Appareil	Gamme de mesure	Pas de temps de mesurage
Nano SMPS	De 3 à 20 nm	5 min
SMPS	De 20 à 500 nm	5 min
COP	De 0,2 à 2 µm	5 min
APS	De 0,3 à 10 µm	5 min
CPC	> 3 µm	2 s
Charge électrique intégrale	PM _{2,5}	2 s
Néphélomètre	PM _{2,5}	2 s
Aéthéromètre	PM _{2,5}	5 min
Concentration massique	PM ₁₀ , PM _{10-2,5} , PM _{2,5} , PM ₁	1h ou 24h

- Concernant les propriétés chimiques de l'aérosol, le tableau 6 résume la configuration usuelle utilisée :

Tableau 6. Configuration technique de supersite américain pour les propriétés chimiques de l'aérosol (exemple de Pittsburgh)

Appareil	Gamme de mesure	Pas de temps de mesurage
Analyseur de sulfate	PM _{2,5}	10 min
Analyseur de nitrate	PM _{2,5}	10 min
Analyseur de C _{organique} & C _{élémentaire}	PM _{2,5}	1 h ou 24h (sur filtre)
Analyse ions + précurseurs (*)	PM _{2,5}	24 h (sur filtre)
Analyse de métaux (**)	PM ₁₀ , PM _{10-2,5} , PM _{2,5}	24 h (sur filtre)
Analyse de composés organiques (***)	PM _{2,5}	24 h (sur filtre)

(*) : SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, K⁺, Na⁺, H⁺, NH₃, HNO₂, HNO₃, SO₂ par Chromatographie Ionique

(**) : Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn par XRF / ICP-MS / GFAAS / INAAS

(***) : 121 composés (dont 27 HAP) par GC-MS

- Concernant les polluants gazeux et la météorologie, le tableau 7 résume la configuration usuelle utilisée :

Tableau 7. Configuration technique de supersite américain pour les polluants atmosphériques gazeux et la météorologie (exemple de Pittsburgh)

Appareil	Pas de temps de mesurage
Mesures météorologiques : - vitesse + direction vent - T / P / HR / radiation solaire	5 min
Analyseur automatique de gaz : - NO-NO ₂ -NO _y (faibles teneurs) - SO ₂ - CO - O ₃ - HCTnm - NH ₃ - NO _y / HNO ₃ (*)	1 h " " " " 5 min 5 min

(*) Mesures complémentaires dans certains cas : acide oxalique, l'acide formique, l'acide acétique, les peroxydes, HCl, le formaldéhyde, les COV précurseurs photochimiques

La figure 2 illustre une configuration de supersite américain :



Figure 2. Photographie du supersite de Baltimore

3.1.3 DEFINITION D'UNE NOUVELLE STRATEGIE

Une nouvelle stratégie de surveillance de la qualité de l'air aux Etats-Unis est actuellement étudiée. La dernière version de ce projet a été soumise au gouvernement¹⁴, elle propose une réorientation de la stratégie ainsi qu'un élargissement du dispositif actuel.

Cette nouvelle stratégie souligne l'importance de la surveillance de certains polluants tels que NH₃ ou les oxydes d'azote (NO_y), au sein de sites définis comme « NCORE multi polluants sites ». Ces sites de mesure sont la base de la nouvelle stratégie, ils seront destinés à surveiller un large panel de polluants : PM_{2,5}, PM_{10-2,5}, O₃, SO₂, CO, oxydes d'azote (NO/NO₂/NO_y) ; dont la plupart de façon continue, ainsi que des paramètres météorologiques basiques.

Les objectifs de l'EPA sont d'implanter 1 à 3 « NCORE sites » dans chaque état, pour aboutir à un réseau national d'environ 75 sites répartis (*tableau 8*) entre zones urbaines (environ 55 sites) et zones rurales (environ 20 sites).

	Total	Major Cities > 1.0 M	Large Cities 0.5 - 1.0 M	Medium Cities 0.25 - 0.5 M	Rural
1 per state minimum	50	TBD	TBD	TBD	TBD
added 2 in most populated states (NY, CA, TX, FI)	8	TBD	TBD	TBD	TBD
added 1 in each second tier populated states(OH, IL, PA, MI, NC)	5	TBD	TBD	TBD	TBD
additional rural sites	12	TBD	TBD	TBD	TBD
<i>total</i>	<i>75</i>	<i>32</i>	<i>13</i>	<i>10</i>	<i>20</i>

Tableau 8. Répartition proposée pour les sites multi - polluants de NCORE
(TBD= To Be Determined)

Une fois mis en place, ce dispositif permettra d'améliorer la gestion des données et l'information du public en temps réel. Il devrait également permettre de mieux déterminer les stratégies de réduction des émissions et d'apporter une aide importante pour les études portant sur la santé des populations.

3.2 EXEMPLES DE SITES MULTI - INSTRUMENTES EN PROXIMITE DE VOIES DE CIRCULATION EN EUROPE

3.2.1 PROJET SUISSE DE « SUIVI DES MESURES D'ACCOMPAGNEMENT ENVIRONNEMENT (SMA-E) »¹⁵

Dans le cadre du projet "Suivi des mesures d'accompagnement Environnement (SMA-E)", la Suisse évalue l'impact de l'accord sur les transports terrestres conclu avec l'Union Européenne ainsi que l'impact des mesures d'accompagnement sur l'environnement. Cet accord qui fait partie des accords bilatéraux entre la Suisse et l'Union Européenne libéralise le transport routier européen avec la Suisse. Ainsi, par exemple, la limite de poids admise en Suisse pour les camions sera progressivement augmentée jusqu'à 40 tonnes. L'Union Européenne reconnaît en

même temps la politique de la Suisse en matière de transports, en particulier l'objectif de transfert du trafic marchandises transalpin de la route au rail. L'accord prévoit une surveillance continue de l'évolution du trafic marchandises à travers les Alpes et de ses effets sur l'environnement. C'est l'objet du projet "Suivi des mesures d'accompagnement" dirigé par l'Office Fédéral des Transports (OFT).

Le projet "Suivi des mesures d'accompagnement (SMA)" comporte deux volets:

- le volet SMA-Trafic (SMA-T): dirigé par l'Office fédéral des transports (OFT), ce volet évalue l'évolution du trafic marchandises transalpin ainsi que l'efficacité des mesures d'accompagnement routières et ferroviaires.
- le volet SMA-Environnement (SMA-E) : dirigé par l'OFEFP (Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage), le projet SMA-E recueille, le long de l'A2 et de l'A13, des données concernant la qualité de l'air et le bruit sur 7 points de mesure (cf. figure 1.47). Ces informations sont utilisées pour des modélisations mathématiques destinées à évaluer les effets sur les régions longeant les axes nord-sud. Parallèlement à cela, le projet évalue les effets sur la nature et le paysage ainsi que sur la santé de l'homme. La coordination et le traitement des données ont été confiés à l'Office fédéral du développement territorial (ARE).

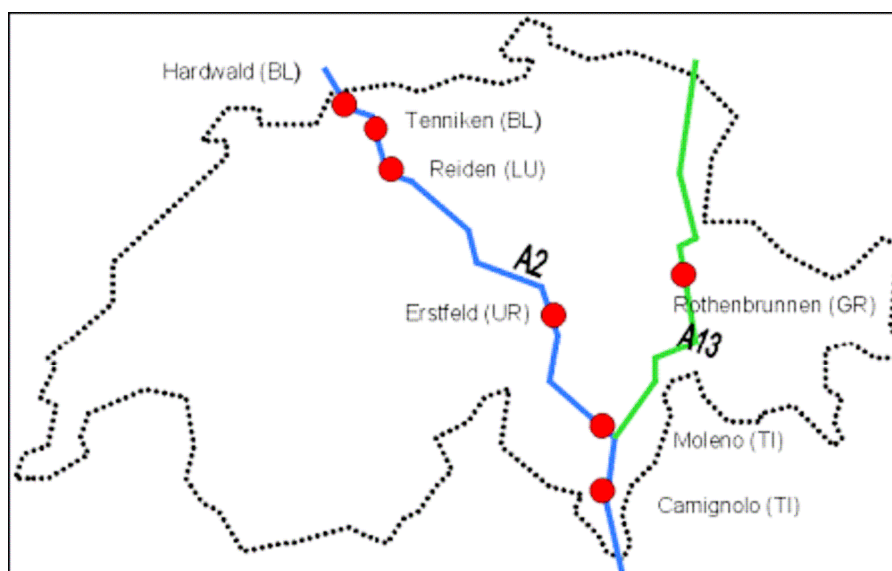


Figure 3. Emplacement des points de mesures dans le cadre du projet SMA-E

Les sept stations de mesure donnent une image représentative de la charge polluante et des nuisances sonores le long de l'A2 et de l'A13. Elles couvrent une région géographique englobant le Jura, le Plateau, les Alpes et le Tessin. Les stations sont situées dans des agglomérations (Hardwald, Tenniken, Reiden) ainsi que dans des vallées alpines (Erstfeld, Rothenbrunnen, Moleno, Camignolo).

Le programme de mesures est le suivant :

- **Gaz** : CO, NO, NO₂, NO_x, O₃ (concentrations ¼ horaires), BTX (concentrations journalières)
- **Particules en suspension** : PM₁₀ (concentrations journalières), PM₁₀ et PM_{2,5} (concentrations ¼ horaires), Carbone Black et suies (concentrations journalières), nombre de particules, HAP
- **Paramètre supplémentaire**: bruit

Figure 4. Configuration des capteurs de bruit dans le cadre du projet SMA-E

La figure 5 illustre la configuration type d'une station de mesure dans le cadre du projet SMA-E :



Figure 5. Photographie des stations de Reiden (gauche) et Rothenbrunnen (droite)

3.2.2 L'EXPÉRIENCE ALLEMANDE BUNDESAUTOBAHN (BAB II), [U.CORSMEIER, 2005]¹⁶

Le projet BAB II (Karlsruhe BundesAutoBahn ou autoroute fédérale) a pour objectif initial l'évaluation des données d'émission devant être utilisées dans les modèles de calculs d'émissions, dont les résultats servent notamment à la vérification de l'efficacité des stratégies de réduction des émissions atmosphériques automobiles. La phase de terrain effectuée en mai 2001 a consisté en des mesures simultanées des émissions gazeuses et particulaires de part et d'autre d'une autoroute (sous le vent et contre le vent). Des mesures verticales (à l'aide de 2 mâts d'une cinquantaine de mètres de hauteur) et horizontales de paramètres météorologiques, de polluants atmosphériques (CO, NO, NO_x, CO₂, O₃, COV et particules) ont été effectuées, associées à un comptage véhiculaire.

Tableau 9. Configuration technique détaillée du projet BAB II

Météorologie	
Paramètre	Moyen utilisé
Température (ambiante, humide)	PT100
Vent (vitesse à \neq hauteurs, direction à hauteur de tour)	Anémomètre-girouette
Profil vertical de vent (jusqu'à 600m)	SODAR
Bilan radiatif	Radiamètre
Mesure de gaz	
Paramètre	Moyen utilisé
NO, NO _x , CO, CO ₂ , O ₃ , SO ₂	Analyseurs automatiques
NO, NO ₂ , O ₃ , SO ₂	DOAS (chemins optiques de 700 et 840 m)
COV (hydrocarbures non méthaniques en série aliphatique et aromatiques, de C ₂ à C ₉)	- Chromatographe automatique (C ₂ à C ₉) - Tube pompé DRAEGER (C ₈ à C ₉)
Mesure de particules	
Paramètre	Moyen utilisé
Granulométrie	SMPS (10-400 nm) APS (0,2 – 10 μ m) ELPI + DC (0,03 – 10 μ m) OPC (0,3 – 20 μ m)
Concentration massique	Microbalance (PM ₁₀ et PM _{2,5}) Jauge bétâ (PM ₁₀ et PM ₁) Préleveur séquentiel (PM ₁₀ et PM _{2,5})
Carbone élémentaire / organique	Analyseur automatique (PM ₁₀ et PM _{2,5})
Carbon Black (suies)	Aéthéломètre (PM ₁₀)

Légende :

SODAR: Sound Detection And Ranging

APS: Aerodynamic Particle Sizer

DOAS: Differential Optical Absorption Spectroscopy

ELPI + DC :Electrostatic Low Pressure Impactor + Diffusion Charger

SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer

OPC: Optical Particle Counter

En complément de ces mesures, le comptage automobile est effectué de manière manuelle et automatique (aboutissant à un débit véhiculaire avec une résolution horaire, utilisant 8 classes différentes de véhicules). Une confirmation des caractéristiques des véhicules est effectuée par enregistrement vidéo des plaques minéralogiques.

3.3 TRAVAUX DU PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE ET D'INNOVATION DANS LES TRANSPORTS TERRESTRES (PREDIT)

3.3.1 CONTEXTE

Le programme PREDIT a été lancé à l'initiative des Ministères chargés de la Recherche, des Transports, de l'Environnement et de l'Industrie, de l'Ademe et de l'Anvar. Dans le cadre du groupe de travail n°7 de la phase 3 du programme PREDIT, l'INERIS a établi [E. Léo et al., 2005]¹⁷ un cahier des charges sur le thème suivant : « Surveillance et Suivi des Pollutions Atmosphériques en Proximité des Voies de Circulation ».

Les deux axes principalement développés dans ce rapport sont la sélection des polluants à surveiller en fonction des objectifs fixés et une analyse critique des techniques de mesure envisageables pour chacun de ces polluants.

A l'heure actuelle aucune surveillance n'a été mise en place sur la base des conclusions de ce rapport. Cependant, cela pourrait se révéler intéressant de s'en inspirer dans l'hypothèse de l'établissement d'une station multi - instrumentée en proximité d'une voie de circulation, du type rue canyon, comme suggéré par EURAQHEM.

3.3.2 MISE EN PLACE D'UNE STRATEGIE DE SURVEILLANCE

L'objectif d'une station multi - instrumentée en proximité d'une voie de circulation pourrait être différent de celui affiché par les supersites établis par l'US EPA, qui s'est focalisé dans un premier temps sur l'étude du PM_{2,5}.

Une telle station de mesure s'inscrirait alors plus dans la nouvelle stratégie de stations « multi - polluants » actuellement développée aux Etats-Unis ou dans le concept des super - régions, développé par EURAQHEM. Dans le rapport de l'INERIS cité précédemment, la liste finale des polluants qu'il est proposé de retenir est la suivante : NO₂, SO₂, benzène, particules (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁), formaldéhyde, acétaldéhyde, 1,3-butadiène, cadmium, plomb, cuivre, zinc, benzo(a)pyrène, monoxyde de carbone et platine.

L'analyse critique des techniques de mesure retenues pour chacun de ces polluants a été réalisée sur la base de divers paramètres tels que : les avantages et les inconvénients, la robustesse, la représentativité temporelle, la limite de détection, l'existence de références normatives et le coût estimé. Les résultats de cette analyse sont présentés dans l'annexe 2.

Cette liste a été établie en tenant compte de nombreux paramètres (Impacts sanitaires et environnementaux ; critères réglementaires et technologiques). Il apparaît dès lors comme une possibilité de sélectionner certains des polluants de cette liste, en fonction d'un objectif plus précis, afin de réduire les coûts d'investissements et de fonctionnement nécessaires.

3.4 CONCLUSIONS

Le tableau 10 présente une synthèse des exemples et travaux préalables détaillés dans le chapitre 3.

Dispositif	Objectifs	Polluants considérés	Moyens utilisés ou souhaités
US EPA	Projets de recherche sur certains polluants atmosphériques et évaluation de nouveaux instruments de mesure	<u>Initialement</u> : PM _{2,5}	7 supersites urbains
		<u>En projet</u> : PM _{2,5} , PM _{10-2,5} , O ₃ , SO ₂ , CO, oxydes d'azote (NO/NO ₂ /NO _y)	Environ 75 sites multi-polluants (55 urbains et 20 ruraux)
SMA-E (Suisse)	Modélisation de la pollution atmosphérique à proximité des routes et évaluation des effets de cette pollution sur l'homme et la nature	CO, NO, NO ₂ , NO _x , O ₃ , BTX, PM ₁₀ , PM _{2,5} , Carbone Black, suies, HAP, bruit	7 stations en proximité d'une autoroute
BAB II (Allemagne)	Evaluation de la politique de réduction des émissions atmosphériques automobile	NO, NO _x , CO, CO ₂ , O ₃ , particules, COV, SO ₂	1 site en proximité d'une autoroute
PREDIT (France)	Surveillance des axes routiers interurbains	NO ₂ , SO ₂ , CO, benzène, PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM ₁ , formaldéhyde, acétaldéhyde, 1,3-butadiène, cadmium, plomb, cuivre, zinc, benzo(a)pyrène, et platine	

Tableau 10. Synthèse des exemples de dispositifs et des travaux préalables sur le thème des sites multi - instrumentés

4. PROPOSITIONS POUR UN DISPOSITIF FRANÇAIS

Dans ce chapitre, nous évaluerons les intérêts respectifs de chaque type de site multi - instrumenté envisageable dans un dispositif français, cette réflexion étant fondée sur les besoins exprimés et les exemples concrets recensés précédemment.

4.1 OBJECTIFS

4.1.1 IMPACTS SANITAIRES

En dépit des améliorations constatées, la pollution atmosphérique continue à porter préjudice à la santé et à la qualité de vie des habitants de l'UE, ainsi qu'au milieu naturel. Il est donc nécessaire d'optimiser la stratégie de réduction des émissions, ce qui passe notamment par une meilleure connaissance de ces composantes et de l'exposition de la population [(CAFE, 2004)³ ; (Commission européenne, 2005)⁶]. Dans cette optique, la commission européenne précise d'ailleurs qu'il est nécessaire de développer des projets de recherche, dans le cadre d'une stratégie à long terme en vue de l'amélioration de la qualité de l'air. Le programme CAFE semble orienter cette démarche vers la création d'un réseau de sites urbains, trafics et industriels destinés à mener des activités de recherche sur de nombreux polluants (cf. tableau 3).

Afin de pouvoir traiter l'aspect sanitaire, ces travaux devront absolument être menés de façon pluriannuelle. Une pérennité de 7 ans semble être la durée minimale nécessaire à la tenue d'études épidémiologiques [T.A.J Kuhlbusch, 2006]⁵.

La liste des polluants à surveiller vis-à-vis de leur impact sur la santé regroupe : des métaux, des particules biologiques, les HAP, le Benzène, O₃, NO₂, SO₂, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁, les particules ultrafines, les sulfates, le carbone organique et le carbone élémentaire.

Afin de générer des données de qualité, la représentativité de la population doit être un paramètre important dans le choix des sites, afin d'évaluer l'impact réel de la pollution atmosphérique.

4.1.2 BESOINS DE MODELISATION

L'intérêt pour les techniques de modélisation est grandissant, elles permettent de prévoir les évolutions de la pollution de l'air de façon locale ou régionale, ce qui est important vis-à-vis des efforts souhaités dans le domaine de l'information du public [Conseil européen, 1999]¹⁸. La modélisation permet également de valider la compréhension des phénomènes de diffusion de la pollution atmosphérique. Enfin, utiliser des modèles pourrait permettre, à terme, de réduire les coûts de fonctionnement du dispositif de surveillance de la qualité de l'air [Commission européenne, 2005]⁷.

Afin de les optimiser et de s'assurer de leur efficacité, il faut générer des données brutes avec des mesures sur site. Dans ce cas, les stations de mesure doivent être situées dans des zones non influencées par une source de pollution atmosphérique prédominante.

Par exemple, les stations situées en zone périurbaine ou rurale, représentatives d'une pollution de fond, présenteraient un intérêt tout particulier dans le cadre des développements de modèles.

Dans ces conditions, 2 à 3 ans d'observations peuvent suffire à caler un modèle performant.

4.2 TYPES DE SITES POTENTIELS

4.2.1 EN ZONE RURALE

Pour répondre aux engagements pris par la France au plan international dans le cadre de la Convention de Genève, le Ministère chargé de l'Environnement et l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) ont développé un programme de surveillance de la qualité de l'air en zones rurales. Ce programme, initié en 1984 et intitulé initialement **RENAMERA** (**RE**seau **NA**tional de **ME**sures des **Re**tombées **At**mosphériques) puis **MERA** (**ME**sures des **Re**tombées **At**mosphériques), a donné lieu à la création d'une dizaine de stations de mesures implantées sur tout le territoire national destinées à une surveillance de la pollution atmosphérique de fond à long terme afin de dégager des tendances et d'évaluer l'efficacité des mesures prises en matière de réduction des émissions polluantes. Le choix des emplacements de ces stations ainsi que des équipements nécessaires à leur fonctionnement est basé sur les recommandations du programme EMEP mis en place suite à la CLRTAP.

Le dispositif MERA est constitué de plusieurs stations régionales de prélèvement et de mesure couvrant l'ensemble du territoire national. Les sites retenus doivent être représentatifs d'une région donnée, en ce sens que les masses d'air atteignant la station doivent correspondre aux différents flux météorologiques touchant cette région. Ces stations ne doivent pas être sous l'influence directe de sources de pollution locales qu'elles soient d'origines urbaine, industrielle ou agricole. La quasi-totalité des stations du dispositif MERA font désormais partie intégrante du réseau européen de l'EMEP.

L'ensemble des informations collectées au sein du dispositif MERA permet de caractériser sur le territoire français la pollution de fond et ainsi de suivre l'évolution à long terme des polluants mais aussi de servir de référence aux mesures effectuées en zone urbaine et industrielle par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Les AASQA sont désormais impliquées dans la gestion technique de l'ensemble des stations du dispositif MERA relevant de leur secteur géographique. Les paramètres mesurés dans ces stations sont précisés dans le Tableau 11. La localisation géographique des différentes stations du dispositif MERA depuis sa création est présentée sur la Figure 2. Les caractéristiques géographiques et les dates d'ouverture et de fermeture des stations sont résumées dans le Tableau 12.

Vis à vis de la stratégie EMEP, l'objectif à moyen terme est de disposer de 8 stations de niveau 1.....

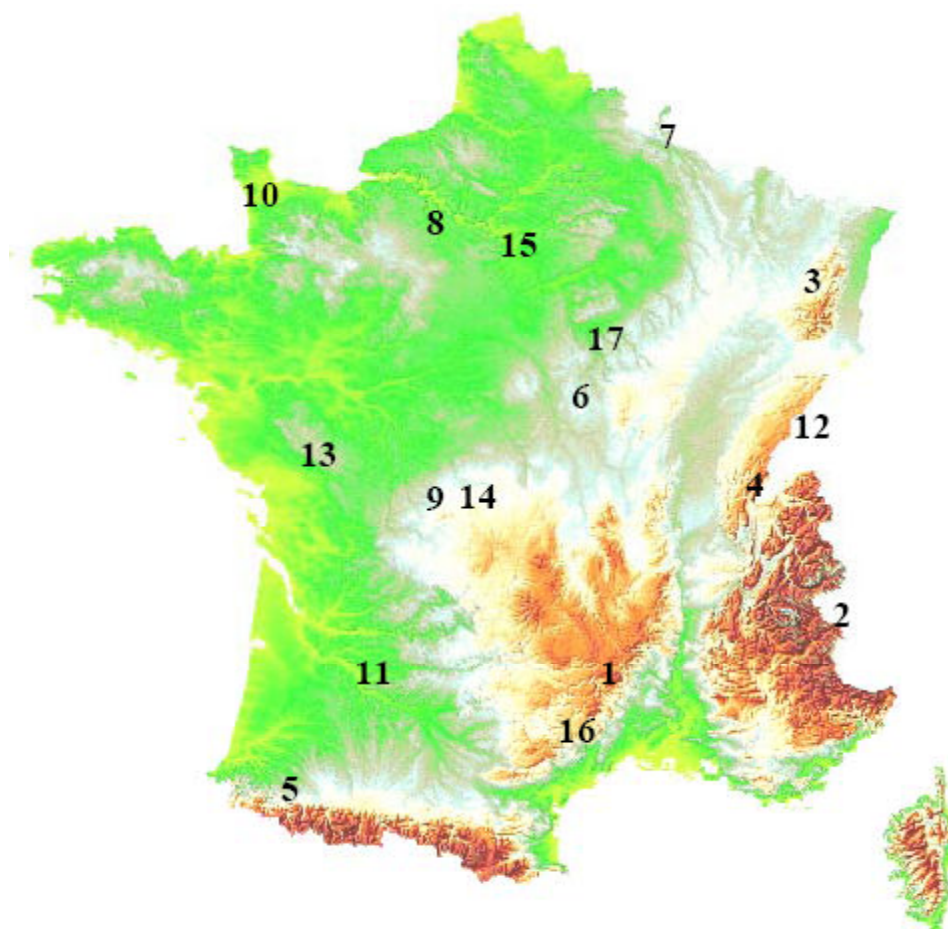


Figure 2 : Localisation géographique des stations du dispositif MERA (période 1979 à 2005)

Tableau 11 : Programme de surveillance du dispositif MERA (2005)

Précipitation	Gaz	Aérosol	Gaz + Aérosol	Météorologie
- pH, conductivité (γ) - ions majeurs (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) - Métaux lourds (Hg, Pb, Cd, Zn, Ni, Cr, As, Cu)	O_3 , SO_2 , NO_2 , Hg, COV (50 espèces), Composés carbonylés (15 espèces)	Soufre particulaire, Métaux lourds (Pb, Cd, Zn, Ni, Cr, As, Cu)	HNO_3 + NO_3^- particulaire, NH_3 + NH_4^+ particulaire	Pression, température, humidité, hauteur de pluie, vitesse et direction du vent, rayonnement UV

Station	Département	Région	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Topologie	Gestionnaire	Ouverture	Fermeture
Aigoual	Lozère	Languedoc Roussillon	44°07'	3°34' E	1544	Montagne	Météo France / PN Cévennes	12-1989	1993
Le Casset	Htes Alpes	Provence Alpes Côte d'Azur	44°56'	6°31' E	1750	Moyenne Montagne	Atmo Rhône Alpes / PN Ecrins	12-1989	
Donon	Bas Rhin	Alsace	48°30'	7°08' E	775	Montagne	ASPA	12-1989	
Bonnevaux Iraty	Doubs	Franche Comté	46°49'	6°11' E	836	Plateau	ARPAM	12-1989	1998
	Pyrénées Atlantiques	Aquitaine	43°02'	1°05' O	1300	Montagne	CDERE / AIRAQ	12-1989	
Morvan	Côte d'Or	Bourgogne	47°16'	4°05' E	620	Plateau	Atmosfair Bourgogne Centre Nord	12-1989	
Revin	Ardennes	Champagne Ardennes	49°54'	4°38' E	390	Moyenne Montagne	Atmo Champagne Ardennes	12-1989	
Brottonne	Seine Maritime	Haute Normandie	49°26'	0°41' E	115	Plaine	Air Normand	12-1989	
La Crouzille	Haute Vienne	Limousin	45°50'	1°16' E	497	Moyenne Montagne	CEA / COGEMA / LIMAIR	1978	2003
La Hague	Manche	Basse Normandie	49°37'	1°50' O	133	Plaine / côtier	CEA / COGEMA	1979	2003
Peyrusse Vieille	Gers	Midi Pyrénées	43°22'	0°06' E	200	Plaine	ORAMIP	1995	
Montandon	Doubs	Franche Comté	47°18'	6°30' E	746	Plateau	ARPAM	04-1998	
La Tardière	Vendée	Pays de la Loire	46°20'	0°45' O	133	Plaine	Air Pays de Loire	07-2001	
Le Montfranc	Creuse	Limousin	45°48'	2°03' E	810	Moyenne Montagne	LIMAIR	11-2003	
Vert le Petit	Essonne	Ile de France	48°32'	2°22' E	64	Plaine	IRCHA	10-1979	1998
Lodève	Hérault	Languedoc Roussillon	43°42'	3°20' E	252	Moyenne Montagne	CEA	10-1979	1984
Valduc	Côte d'Or	Bourgogne	47°35'	4°52' E	470	Plateau	CEA	01-1978	1984

Tableau 12. Caractéristiques géographiques et dates d'exploitation des stations du réseau MERA

4.2.2 EN ZONE URBAINE

Pour les zones urbaines, la seule demande recensée en termes de sites multi - instrumentés en Europe correspond aux super - régions proposées par EURAQHEM. Toutefois, ce concept est à l'heure actuelle en phase de définition et il comporte encore de nombreux points d'interrogations.

Les objectifs sanitaires et de modélisation décrits précédemment (cf. paragraphe 4.1) s'appliquent en zone urbaine. Les divers sites urbains envisageables sont présentés dans les paragraphes suivants.

4.2.2.1 SITE URBAIN DE FOND

Un site de fond urbain a pour vocation de représenter la qualité de l'air respiré par la majorité de la population d'une ville ou d'une agglomération. C'est un critère important afin d'évaluer l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique.

Il existe en France de nombreux sites urbains de fond. Ils présentent l'avantage d'être déjà équipés de certains instruments de mesure de la qualité de l'air, ce qui réduirait les investissements à réaliser pour le développement d'une station multi - instrumentée.

En effet, la plupart des stations de surveillance de la qualité de l'air de ce type, exploitées en France par les AASQA (Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air) depuis plusieurs années, possèdent l'équipement nécessaire pour effectuer les mesures des polluants réglementés par l'UE.

Mettre en place un site multi - instrumenté à partir d'un site urbain de fond pourrait également présenter un intérêt pour le développement de la modélisation de la pollution atmosphérique. Il pourrait en effet participer à une meilleure compréhension des phénomènes chimiques à l'origine de certains types de polluants ; et ainsi permettre une meilleure approche des tendances d'évolution de ceux-ci.

4.2.2.2 SITES DE PROXIMITE

Les sites de proximité, tels que des zones industrielles ou des voies de circulation, ne répondent pas aux critères définis pour les besoins de développement de modèles. En effet, ces zones sont affectées par des sources de pollution prédominantes.

En revanche, ces « points chauds » sont considérés comme étant des éléments très importants dans le dispositif proposé par EURAQHEM. En effet, bien que ces zones représentent une faible partie de la population, l'exposition à la pollution de ces points chauds pourrait être la cause principale des nuisances pour la santé.

Parmi ces sites de proximité, la rue "canyon avec risque d'accumulation" est définie à l'aide du rapport entre la hauteur H des bâtiments et la largeur D de la voirie ($H/D > 0.7$). Les caractéristiques de la pollution atmosphérique sont similaires pour toutes les rues canyons.

Un objectif supplémentaire pour un site localisé en proximité d'une rue canyon pourrait être l'évaluation de l'évolution de la pollution provenant de la circulation, parallèlement à l'évolution du parc automobile français.

4.2.2.3 STATION MULTI - INSTRUMENTEE MOBILE

C'est un concept qui a largement été utilisé dans le dispositif utilisé par l'US EPA et qui permet de multiplier les sites de mesure, par le biais de l'aménagement d'une remorque de camion avec plusieurs instruments de mesure.

Diverses entités (LCSQA, AASQA...) disposent déjà de ce type de stations mobiles de surveillance de la qualité de l'air mais celles-ci ne sont pas équipées pour mesurer tous les polluants simultanément. Ces moyens mobiles sont utilisés dans le cadre de nombreuses campagnes de mesure limitées dans le temps, sur toute la France.

L'utilisation d'une station mobile multi - instrumentée pourrait alors se faire plutôt dans le cadre de projets de recherche menés sur des périodes variables. Ce qui par ailleurs n'apparaît pas compatible avec la mise en œuvre d'études sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique, qui nécessiteraient des programmes pluriannuels.

Cependant, la flexibilité apportée par une station mobile pourrait être intéressante, en complément d'un site multi - instrumenté principal fixe. Elle permettrait en effet de focaliser des équipements autour de problématiques précises, différentes de celle mise en place dans le site principal.

4.3 EXEMPLE D'UN SITE MULTI - INSTRUMENTE URBAIN DE FOND

Parmi les sites présentés ci-dessus, le site de fond apparaît comme étant une solution cohérente vis-à-vis des objectifs fixés. Les caractéristiques nécessaires à la mise en place d'un tel site sont présentées ci-après.

4.3.1 CARACTERISTIQUES GENERALES

Un tel site devra respecter les caractéristiques suivantes :

- Etre situé au sein d'un tissu urbain affecté par des sources classiques de pollution de l'air telles que les trafics automobile et aérien, le chauffage urbain et les sources industrielles fixes, et ce, sans être influencé par une source importante en particulier.
- Etre situé à proximité des laboratoires d'analyses chargés de traiter ses prélèvements.
- Mesurer de façon continue les composés prédéfinis, en suivant les recommandations réglementaires lorsqu'elles existent.
- Etre intégré dans des outils de modélisation de la pollution atmosphérique.
- Etre financé en partie par les autorités locales, notamment pour ce qui relève de la surveillance réglementaire.
- Etre une plate-forme ouverte permettant la tenue de projets de recherche, notamment avec des partenariats locaux et européens.
- Fonctionner de façon uniforme en relation avec les autres sites dans le cas de la mise en place d'un réseau européen.

4.3.2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Les principales missions que devra remplir ce site sont présentées ci-dessous :

- Caractériser la pertinence des effets sur la santé de polluants non réglementés (particules ultrafines, particules biologiques...).
- Contribuer à identifier les sources de pollution responsables des effets sur la santé.
- Déterminer l'exposition de la population à la pollution atmosphérique.

Les équipements nécessaires pour les mesures à effectuer (cf. tableau 3) sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Composé à surveiller	Instrumentation recommandé	Coût approximatif
O ₃	Analyseur automatique	12 K€
CO	Analyseur automatique	10 K€
SO ₂	Analyseur automatique	12 K€
NO/NO ₂ /NO _x	Analyseur automatique	12 K€
Benzène	Analyseur automatique	15 K€
PM ₁₀	TEOM/FDMS	25 K€
PM _{2,5}	TEOM/FDMS	25 K€
UFP	SMPS	75 K€
Nitrate	Analyseur automatique	40 K€
Sulfate	Préleveur	15 K€
Ammonium	Préleveur	15 K€
HAP	Préleveur	15 K€
Carbone organique et élémentaire	Préleveur	15 K€
Sels marins (Na, Mg, Cl)	Préleveur	15 K€
Métaux particuliers (Hg, Ca, K, Fe, Ni, Zn, Cu, As, Sb, Cd, Pb, Mn, Cr)	Préleveur	15 K€
Particules biologiques (pollen, spores...)	Bio-collecteur	A déterminer

Tableau 13. **Instruments nécessaires pour la surveillance de l'air ambiant dans les stations multi - instrumentées**

Pour la plupart des polluants, cette sélection a été effectuée en se basant sur le rapport final de l'INERIS dans le cadre du projet PREDIT [Léoz et al., 2005]¹⁷. Le travail effectué à ce sujet a abouti à une analyse poussée des diverses techniques envisageables pour la surveillance de ces polluants (cf. Annexe 2). Il apparaît par exemple très clairement dans ces tableaux que les analyseurs automatiques sont

des instruments très intéressants en termes de fréquence de mesure, de coût et de limite de détection.

Simultanément à la surveillance des polluants atmosphériques, il est nécessaire de mesurer les paramètres météorologiques suivants au niveau de la station :

- ⇒ Le vent, sa force et sa direction,
- ⇒ La température, à deux niveaux de hauteur, 1m et 10m,
- ⇒ La pluviométrie,
- ⇒ L'ensoleillement.

4.3.3 EVALUATION DU COUT DE FONCTIONNEMENT

L'acquisition des instruments de mesure nécessaires pour cette station représente un montant total d'environ 300 K€. A cette somme, il conviendra d'ajouter les coûts d'aménagement de la station, d'achat des consommables (filtres, gaz témoins...), d'analyse des prélèvements et de maintenance.

Une première évaluation de la DG ENV estime que le coût global pour construire et exploiter 6 à 9 stations de ce type sur une durée de 7 ans s'approcherait de 100 millions d'euros [S. Brockett, 2006]⁸.

Afin de réduire ce coût, il conviendra de compléter les équipements d'une station opérationnelle existante plutôt que d'en construire une nouvelle.

5. CONCLUSION

A l'heure actuelle, il existe en Europe un réel intérêt pour le développement de sites multi - instrumentés de surveillance de la qualité de l'air. Deux besoins majeurs ont été identifiés, il s'agit de l'évaluation de l'impact de pollution atmosphérique sur la santé et de l'amélioration de la connaissance de cette pollution, notamment en terme de dispersion sur de longues distances.

Par rapport à ce second point, le projet EMEP a lancé dès 2004 un programme ambitieux établissant avec précision le dispositif à mettre en place sur le terrain (cf. chapitre 2.1). Actuellement, vis-à-vis de ce programme, la priorité en France est à la mise en place de sites EMEP de niveau 1, élaborés à partir de stations du réseau MERA. Il est prévu de faire un état d'avancement du programme lors du Workshop de la Task Force on Measurements and Modelling organisé à Paris du 29 novembre au 1^{er} décembre 2006.

La situation ambiguë d'EMEP est la suivante : d'une part, il est souhaité une extension du nombre de paramètres à mesurer, accompagné d'une augmentation de la densité des sites de façon à avoir une meilleure résolution spatiale pour :

- l'évaluation de l'apport régional aux zones urbaines et suburbaines
- l'estimation de l'impact sur les écosystèmes
- une meilleure compréhension des phénomènes de transport à l'échelle hémisphérique et du comportement de la matière particulaire atmosphérique,

d'autre part, les coûts induits par ces recommandations sont élevés et nécessiteront une approche par coopération avec d'autres programmes (notamment le programme Global Atmosphere Watch – GAW – en ce qui concerne les particules).

Il est donc acquis que ce programme nécessitera d'être réorganisé en fonction des réponses aux questions suivantes :

- Les particules constituent-elles réellement un problème transfrontière ?
- Dans l'état actuel des connaissances, peut on correctement évaluer la variabilité de l'aérosol atmosphérique en Europe (tant sur le plan de la concentration que de la composition chimique) ?
- Avons nous suffisamment d'informations sur les composés majeurs des particules et sur leurs origines? sur l'importance des sources naturelles ? sur la contribution des sources en dehors de l'Europe?
- Quelle est la contribution régionale dans les niveaux observés en zone urbaine?
- La liaison à l'aide des modèles atmosphériques entre les sources et les niveaux observés est elle bien effectuée?
- Quelles sont les incertitudes des mesures et des sorties de modèles ?
- Quelles améliorations sont nécessaires dans le domaine de la mesure, de la modélisation et de l'interprétation des phénomènes pour l'évaluation de l'impact des particules sur la santé et le climat ?

En ce qui concerne l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution de l'air, le projet CAFE (via EURAQHEM) a émis des recommandations pour la mise en place d'un réseau de surveillance harmonisé au niveau européen (cf. chapitre 3.2). Cependant, de nombreux points restent à préciser avant la réalisation effective d'un tel programme, dont notamment :

- La répartition spatiale des super - régions
- La définition des programmes de mesure
- Le financement du programme.

Actuellement, les recommandations formulées semblent être très ambitieuses, notamment vis-à-vis de certains pays pour lesquels le coût d'un tel projet pourrait être rédhibitoire. Ainsi, il est fort probable que certaines de ces recommandations soit rediscutées.

En attendant que ces points soient précisés, il semble intéressant de lancer dès à présent une consultation auprès des entités impliquées dans la gestion des réseaux de surveillance en France (MEDD, ADEME, AASQA) et des partenaires éventuels (Universités, autorités locales), afin notamment de déterminer avec plus de précision les coûts de fonctionnement et les financements envisageables pour la mise en place d'un site multi - instrumenté.

Après cette consultation, il sera plus aisé d'évaluer et de comparer les divers sites potentiels pouvant accueillir un tel projet, sur la base des recommandations établies dans ce rapport (cf. chapitre 4).

A ce stade et en fonction de l'état d'avancement des différents programmes européens (poursuite d'EMEP, suites données à EURAQHEM), il sera peut être utile d'avoir une phase de réflexion :

- doit on entamer une démarche purement nationale ?
- orientation vers une démarche entre états voisins, mettant en commun des moyens en vue d'une surveillance sur une zone de représentativité « inter - régionale » élargie (à comparer avec les recommandations données dans le cadre de la Démonstration d'Equivalence) ?
- quelle sera alors la stratégie de mesure la plus adaptée à adopter : le recours à des campagnes ponctuelles récurrentes sur site(s) de référence donné(s) ou équipement d'un nombre limité de sites à vocation « suivi en continu pérenne » ?

6. RÉFÉRENCES

- ¹ **Convention on Long-range Transboundary Air Pollution**, Octobre 2004, Cooperative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe (EMEP) "EMEP Assessment Part I: European Perspective" (ISBN 82-7144-032-2 Oslo)
- ² **Parlement européen, 2002**, Décision No 1600/2002/EC of the european parliament and of the council of 22 July 2002 laying down the Sixth Community Environment Action Programme.
- ³ **CAFE working group on particulate matter**, Décembre 2004, Second position paper on particulate matter.
- ⁴ **EURAQHEM, 2006**, Analysis and design of local air quality measurements , Final Report.
- ⁵ **T.A.J Kuhlbusch**, Juin 2006, Conducting Pan-European Studies on Air Quality and Health : The Superregion-Concept, APHEIS Meeting.
- ⁶ **Commission européenne**, Septembre 2005, Stratégie thématique sur la pollution atmosphérique, COM(2005) 446 final.
- ⁷ **Commission européenne**, Septembre 2005, Proposition de directive du parlement européen et du conseil concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, COM(2005) 447 final.
- ⁸ **S. Brockett**, Juin 2006, Review of Environment and Health information under the EU E&H Action Plan 2004-2010 : Work on ambient air, APHEIS Network Meeting
- ⁹ **M. Ramel**, Novembre 2004, Stations multi - nstrumentées, INERIS DRC-04-55271-AIRE-n°1075-Mra.
- ¹⁰ **EPA administrator**, Juillet 1997, National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Federal Register / Vol. 62, No. 138.
- ¹¹ **EPA**, PM supersites program background ;www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/super/ssback.pdf
- ¹² Exemple : Particulate Matter Supersites Program and Related Studies ; Special Issue of the Journal of the air & waste management association ; Avril 2006
- ¹³ **F. Mathé, 2005**, « Surveillance et suivi des pollutions atmosphériques en proximité des voies de circulation », Rapport final de l'EMD, dans le cadre du GT7 du programme PREDIT
- ¹⁴ **Office of Air Quality Planning and Standards**, Décembre 2005, DRAFT - National Ambient Air Monitoring Strategy.
- ¹⁵ **OFEFP** : Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, 2002, Fiche d'information sur le Suivi des Mesures d'accompagnement: Environnement
- ¹⁶ **U. Corsmeier**, M. Kohler, B. Vogel, H. Vogel, F. Fiedler, 2005 «The Karlsruhe Autobahn-Campaign BAB II : a project to evaluate the accuracy of real-world traffic emissions for a motorway» - Atmospheric Environment, Volume 39, Issue 31, p.5627-5641
- ¹⁷ **E. Léoz**, C. Mandin, M. Ramel, L. Rouïl, 2005, « Surveillance et suivi des pollutions atmosphériques en proximité des voies de circulation », Rapport final de l'INERIS, dans le cadre du GT7 du programme PREDIT
- ¹⁸ **Conseil européen, 1999**, Directive1999/30/CE

7. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Document de référence de l'étude	2 A4
Annexe 2	Recensement et analyse des techniques retenues dans le rapport final de l'INERIS dans le cadre du programme PREDIT, classées par polluant	8 A4

7.1 ANNEXE 1 : DOCUMENT DE REFERENCE DE L'ETUDE

MISSIONS GENERALES DU LCSQA

Etude 34 : ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE DE MISE EN PLACE DE SITES MULTI-INSTRUMENTES DANS LE CADRE DE LA SURVEILLANCE DES PARTICULES DANS L'AIR AMBIANT

INERIS/EMD

OBJECTIFS

- Lancement d'une réflexion nationale tenant compte des orientations européennes actuelles (CAFE, EMEP) et à venir (révision des directives prévue pour fin 2007)
- Elaboration de cahiers des charges sur la mise en place de sites multi - instrumentés en zones urbaines et rurales

CONTEXTE

Ces dernières années ont vu l'augmentation du nombre de polluants à prendre en compte, qu'il s'agisse de surveillance réglementaire ou de réponse à des besoins de recherche, et ce notamment dans le domaine des particules en suspension dans l'air ambiant. Cependant, compte tenu de la complexité et du coût induit par certaines techniques, une extension à un nombre important de stations dans une logique de surveillance en continu n'est pas forcément recherchée. Cette problématique de manque de connaissances sur les particules et de recherche de représentativité à l'échelle locale, nationale et continentale est à l'origine d'une réflexion au niveau américain (US EPA) et européen (Position paper du GT « particules » CAFE, EMEP monitoring strategy 2004-2009). Une réponse possible au problème réside dans les « sites multi - instrumentés » (« super - stations » ou « supersites ») visant un accroissement des connaissances sur la phase particulaire (constitution et composition, distribution spatio-temporelle, origines, effet sur la santé, validation des modèles, recherche d'indicateurs autres que la concentration massique). Enfin, la révision des Directives européennes (la Directive Cadre et les 3 premières Directives Filles) prévue pour fin 2007 recommande la mise en place d'une stratégie de mesure développée sur les PM_{2.5} (mesure en zone rurale avec spéciation en carbones organique et élémentaire, anions et cations)

TRAVAUX PROPOSES POUR 2006

En réponse à ces besoins, le LCSQA (INERIS & Mines de Douai) propose la rédaction de cahiers des charges techniques et financiers relatifs à la mise en place de sites multi - instrumentés en zone urbaine -de fond et/ ou de proximité- (INERIS) et zone rurale (EMD) sur la base du recensement des besoins exprimés au niveau européen. Ces cahiers couvriront divers aspects : les objectifs, les propositions de programmes de mesure (quelle technique utiliser ? sous quelle configuration ?), les coûts (équipement et fonctionnement). L'expérience déjà acquise à l'étranger (Europe, Etats-Unis) en la matière sera à prendre en considération. Enfin, la réflexion pourra être étendue aux zones de proximité (points chauds industriels, infrastructures de transport majeures).

COLLABORATIONS

- MEDD & ADEME

- Réseaux de surveillance de la qualité de l'air
- Constructeurs

DUREE DES TRAVAUX

Ces travaux sont pluriannuels.

PERSONNEL EN CHARGE DES TRAVAUX

- INERIS : 200 h ingénieur (O. LE BIHAN, I. FRABOULET)
- EMD : 200 h ingénieur (F. MATHE, S. SAUVAGE)

7.2 ANNEXE 2 : RECENSEMENT ET ANALYSE DES TECHNIQUES RETENUES DANS LE RAPPORT FINAL DE L'INERIS DANS LE CADRE DU PROGRAMME PREDIT, CLASSEES PAR POLLUANT

Formaldéhyde	Avantages	Inconvénients	Robustesse	Représentativité temporelle	Limites de détection	Références normatives	Coût
GC portable *	Grande quantité de données Bonne représentativité temporelle	Disposer de : Abri climatisé Ligne d'échantillonnage ventilée. Gaz de zéro et d'échelle raccordés Maintenance tous les 15jrs Unités d'œuvre pour vérifier les chromatogrammes	Non publié	Quelques minutes	< 50 ppt	Directive 2002/3/CE	Environ 35000 €
Tubes actifs	bas coût	Nécessité de travailler avec une pompe	Non publié	24 heures (700 ml/min)	0.1 µg/m ³		environ 100 €/tube achat+analyse
Tubes passifs	bas coût peu d'entretien possibilité de couvrir une surface importante	influence de la température ambiante influence de la vitesse de l'air influence de l'humidité relative	Incertitude entre 13.8 et 26%	de 8 heures à 7 jours	0.1 µg/m ³ (7 jours)	NF EN 13528 –1, 2 et 3	environ 100 €/tube achat+analyse
DOAS	Représentativité spatiale de la mesure Analyseur multipolluants	Installation difficile Interférences (humidité /brouillard) Maintenance délicate	Non validée	1 à 3 minutes Période de mesure sans intervention : 6 mois	~ 10 µg.m ⁻³ pour trajet optique ~ 200m	VDI DIN 4202 NF X20-300 CEN en cours WG18	Environ 100 000 €
LIDAR	Représentativité spatiale de la mesure Mesure en altitude Analyseur multipolluants	Coût achat élevé Coût maintenance élevé Utilisation et maintenance délicate	Non validée	1 à 3 minutes Rendu opérationnel en voie d'amélioration Période de mesure sans intervention: 1mois	10-15 µg.m ⁻³ donnée non validées à ce jour	VDI DIN 4210 NF X20-300 CEN en cours WG18	Environ 700 000 €

*Référence : Application note 101. ENTECH. Formaldehyde and VOCs in indoor air quality : determination by GC/MS

(a) Comparatif des méthodes disponibles pour le formaldéhyde

Acétaldéhyde	Avantages	Inconvénients	Robustesse	Représentativité temporelle	Limites de	Références normatives	Coût
--------------	-----------	---------------	------------	-----------------------------	------------	-----------------------	------

					détection	
Tubes actifs	<ul style="list-style-type: none"> bas coût 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité de travailler avec une pompe 	<ul style="list-style-type: none"> Non publié 	<ul style="list-style-type: none"> 24 heures (700 ml/min) 	<ul style="list-style-type: none"> 0.1 µg/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> environ 100 €/tube achat+analyse
Tubes passifs	<ul style="list-style-type: none"> bas coût peu d'entretien possibilité de couvrir une surface importante 	<ul style="list-style-type: none"> influence de la température ambiante influence de la vitesse de l'air influence de l'humidité relative 	<ul style="list-style-type: none"> Incertitude entre 15.9 et 26% 	<ul style="list-style-type: none"> de 8 heures à 7 jours 	<ul style="list-style-type: none"> 0.1 µg/m³ (7 jours) 	<ul style="list-style-type: none"> NF EN 13528 –1, 2 et 3 environ 100 €/tube achat+analyse

(b) Comparatif des méthodes disponibles pour l'acétaldéhyde

	Avantages	Inconvénients	Robustesse	Représentativité temporelle	Limites de détection	Références normatives	Coût
1,3- butadiène							
Tubes actifs	<ul style="list-style-type: none"> tubes réutilisables plus de 100 fois 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité de travailler avec une pompe 	<ul style="list-style-type: none"> Non publié 	<ul style="list-style-type: none"> 14 jours (10 ml/min) 	<ul style="list-style-type: none"> 0.02 µg/m³ (pour 14 jours) 	<ul style="list-style-type: none"> Directive 2002/3/CE 	<ul style="list-style-type: none"> environ 100 €/tube achat+analyse
Tubes passifs	<ul style="list-style-type: none"> bas coût peu d'entretien possibilité de couvrir une surface importante tubes réutilisables plus de 100 fois 	<ul style="list-style-type: none"> influence de la température ambiante influence de la vitesse de l'air influence de l'humidité relative 	<ul style="list-style-type: none"> Non publié 	<ul style="list-style-type: none"> de 7 jours à 14 jours 	<ul style="list-style-type: none"> 0.2 µg/m³ (pour 7 jours) 	<ul style="list-style-type: none"> NF EN 13528 –1, 2 et 3 environ 100 €/tube achat+analyse 	
Canister	<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de faire plusieurs analyses du même échantillon 	<ul style="list-style-type: none"> coût élevé encombrant nettoyage des Canisters difficile 	<ul style="list-style-type: none"> Non publié 	<ul style="list-style-type: none"> 24 heures max 	<ul style="list-style-type: none"> 0.5 µg/m³ 		

(c) Comparatif des méthodes disponibles pour le 1,3-butadiène

Benzène	Avantages	Inconvénients	Robustesse	Représentativité temporelle	Limites de détection	Références normatives	Coût
---------	-----------	---------------	------------	-----------------------------	----------------------	-----------------------	------

GC portable		Disposer de :	Répétabilité à 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Répétabilité à la limite annuelle $< \pm 5\%$	Possibilité de choisir un appareil dont le temps d'échantillonnage couvre la mesure quart-horaire	0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ paramétrable selon le cycle de prélèvement	Directive 2000/69/CE Directive 2002/3/CE NF EN 14662 (en projet)	Appareil = 15.000€ Abri gaz étalons = 1000 € Lignes = 3000 € Acquisition = 10000 € Unités d'œuvre importante
Tubes actifs	Grande quantité de données	<ul style="list-style-type: none"> Disposer de : Abri climatisé Ligne d'échantillonnage ventilée. Gaz de zéro et d'échelle raccordés Maintenance tous les 15jrs Unités d'œuvre pour vérifier les chromatogrammes 	<ul style="list-style-type: none"> Répétabilité à 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Répétabilité à la limite annuelle $< \pm 5\%$ 	<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de choisir un appareil dont le temps d'échantillonnage couvre la mesure quart-horaire 	<ul style="list-style-type: none"> 0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ paramétrable selon le cycle de prélèvement 	<ul style="list-style-type: none"> Directive 2000/69/CE Directive 2002/3/CE NF EN 14662 (en projet) 	<ul style="list-style-type: none"> Appareil = 15.000€ Abri gaz étalons = 1000 € Lignes = 3000 € Acquisition = 10000 € Unités d'œuvre importante
	<ul style="list-style-type: none"> tubes réutilisables plus de 100 fois bas coût peu d'entretien possibilité de couvrir une surface importante tubes réutilisables plus de 100 fois 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité de travailler avec une pompe influence de la température ambiante influence de la vitesse de l'air influence de l'humidité relative 	<ul style="list-style-type: none"> Incertitude de 11.5% 33 % (7 jours avec tubes radiello 445) 	<ul style="list-style-type: none"> de 24 heures à 14 semaines de 24 heures à 7 jours 	<ul style="list-style-type: none"> 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour 5 l d'air prélevés) 0.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour 7 jours) 	<ul style="list-style-type: none"> NF EN 13528 –1, 2 et 3 NF EN 14662 (en projet) 	<ul style="list-style-type: none"> environ 100 €/tube achat+analyse environ 100 €/tube achat+analyse
DOAS	<ul style="list-style-type: none"> Représentativité spatiale de la mesure Analyseur multipolluants 	<ul style="list-style-type: none"> Installation difficile Maintenance délicate 	<ul style="list-style-type: none"> Non validée 	<ul style="list-style-type: none"> 1 à 3 minutes Période de mesure sans intervention : 6 mois 	<ul style="list-style-type: none"> ~ 10 $\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$ pour trajet optique ~ 200m 	<ul style="list-style-type: none"> VDI DIN 4202 NF X20-300 CEN en cours WG18 	<ul style="list-style-type: none"> Environ 100000 €
	<ul style="list-style-type: none"> Représentativité spatiale de la mesure Mesure en altitude Analyseur multipolluants 	<ul style="list-style-type: none"> Coût élevé Coût maintenance élevé Utilisation et maintenance délicate 	<ul style="list-style-type: none"> Non validée 	<ul style="list-style-type: none"> 1 à 3 minutes Rendu opérationnel en voie d'amélioration Période de mesure sans intervention : 1 mois 	<ul style="list-style-type: none"> ~ 10 $\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$ pour trajet optique ~ 200m portée mesure ~ 1500m 	<ul style="list-style-type: none"> VDI DIN 4210 NF X20-300 CEN en cours WG18 	<ul style="list-style-type: none"> Environ 700000 €

(d) Comparatif des méthodes disponibles pour le benzène

NO ₂	Avantages	Inconvénients	Robustesse	Représentativité temporelle	Limites de détection	Références normatives	Coût
Analyseur	<ul style="list-style-type: none"> Grande quantité de données 	Disposer de : <ul style="list-style-type: none"> Abri climatisé Ligne d'échantillonnage ventilée. Gaz de zéro et d'échelle raccordés Maintenance tous les 15jrs+vérif linéarité et rendement du convertisseur/1fois an Système d'acquisition de données 	<ul style="list-style-type: none"> Ecart-type de répétabilité ≤ 3 ppb 	<ul style="list-style-type: none"> Toutes les 30 sec. 	<ul style="list-style-type: none"> Gamme 0 – 1000 ppb paramétrable en dessous et au dessus (max 2000 ppb) 	<ul style="list-style-type: none"> Directive 1999/30/CE NF EN 14211 	<ul style="list-style-type: none"> Appareil = 12.000€ Abri gaz étalons = 1000 € Lignes = 3000 € Acquisition = 10000 €
Tubes passifs	<ul style="list-style-type: none"> bas coût peu d'entretien possibilité de couvrir une surface importante 	<ul style="list-style-type: none"> influence de la température ambiante influence de la vitesse de l'air problème des blancs 	<ul style="list-style-type: none"> Non publié 	<ul style="list-style-type: none"> de 1 à 4 semaines 	<ul style="list-style-type: none"> 0.4 µg/m³ (1 semaine) 	<ul style="list-style-type: none"> NF EN 13528 –1, 2 et 3 	<ul style="list-style-type: none"> environ 60 €/tube achat+analyse
DOAS	<ul style="list-style-type: none"> Représentativité spatiale de la mesure Analyseur multipolluants 	<ul style="list-style-type: none"> Installation difficile Maintenance délicate 	<ul style="list-style-type: none"> Non validée 	<ul style="list-style-type: none"> 1 à 3 minutes Période de mesure sans intervention : 6 mois 	<ul style="list-style-type: none"> ~ 10 µg.m⁻³ pour trajet optique ~ 200m 	<ul style="list-style-type: none"> VDI DIN 4202 NF X20-300 CEN en cours WG18 	<ul style="list-style-type: none"> Environ 100 000 €
LIDAR	<ul style="list-style-type: none"> Représentativité spatiale de la mesure Mesure en altitude Analyseur multipolluants 	<ul style="list-style-type: none"> Coût achat élevé Coût maintenance élevé Utilisation et maintenance délicate 	<ul style="list-style-type: none"> Non validée 	<ul style="list-style-type: none"> 1 à 3 minutes Rendu opérationnel en voie d'amélioration Période de mesure sans intervention : 1mois 	<ul style="list-style-type: none"> 10-15 µg.m⁻³ donnée non validées à ce jour 	<ul style="list-style-type: none"> VDI DIN 4210 NF X20-300 CEN en cours WG18 	<ul style="list-style-type: none"> Environ 700 000 €

(e) Comparatif des méthodes disponibles pour le dioxyde d'azote

SO ₂	Avantages	Inconvénients	Robustesse	Représentativité temporelle	Limites de détection	Références normatives	Coût
-----------------	-----------	---------------	------------	-----------------------------	----------------------	-----------------------	------

Analyseur	Grande quantité de données	Disposer de : <ul style="list-style-type: none"> Abri climatisé Ligne d'échantillonnage ventilée. Gaz de zéro et d'échelle raccordés Maintenance tous les 15jrs+vérif linéarité et rendement du convertisseur/1fois an Système d'acquisition de données 	<ul style="list-style-type: none"> Ecart-type de répétabilité ≤ 3 ppb 	<ul style="list-style-type: none"> Toutes les 30 sec. 	<ul style="list-style-type: none"> Gamme 0 – 1000 ppb paramétrable en dessous et au dessus (max 2000 ppb) 	<ul style="list-style-type: none"> Directive 1999/30/CE NF EN 14212 	<ul style="list-style-type: none"> Appareil = 10.000€ Abri gaz d'étalonnage = 1000 € Ligne d'échantillonnage = 3000 € Acquisition de données = 10000 €
Tubes passifs	<ul style="list-style-type: none"> bas coût peu d'entretien possibilité de couvrir une surface importante 	<ul style="list-style-type: none"> influence de la température ambiante influence de la vitesse de l'air influence de l'humidité relative 	<ul style="list-style-type: none"> Non publiée 	<ul style="list-style-type: none"> de 1 à 4 semaines 	<ul style="list-style-type: none"> 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 semaine) 	<ul style="list-style-type: none"> NF EN 13528 – 1, 2 et 3 	<ul style="list-style-type: none"> environ 70 €/tube achat+analyse
DOAS	<ul style="list-style-type: none"> Représentativité spatiale de la mesure Analyseur multipolluants 	<ul style="list-style-type: none"> Installation difficile Maintenance délicate 	<ul style="list-style-type: none"> Non validée 	<ul style="list-style-type: none"> 1 à 3 minutes Période de mesure sans intervention : 6 mois 	<ul style="list-style-type: none"> $\sim 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour trajet optique $\sim 200\text{m}$ 	<ul style="list-style-type: none"> VDI DIN 4202 NF X20-300 CEN en cours WG18 	<ul style="list-style-type: none"> Environ 100 000 €
LIDAR	<ul style="list-style-type: none"> Représentativité spatiale de la mesure Mesure en altitude Analyseur multipolluants 	<ul style="list-style-type: none"> Coût achat élevé Coût maintenance élevé Utilisation et maintenance délicate 	<ul style="list-style-type: none"> Non validée 	<ul style="list-style-type: none"> 1 à 3 minutes Rendu opérationnel en voie d'amélioration Période de mesure sans intervention : 1mois 	<ul style="list-style-type: none"> $\sim 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour trajet optique $\sim 200\text{m}$ 	<ul style="list-style-type: none"> VDI DIN 4210 NF X20-300 CEN en cours WG18 	<ul style="list-style-type: none"> Environ 700 000 €

(f) Comparatif des méthodes disponibles pour le dioxyde de soufre

CO	Avantages	Inconvénients	Robustesse	Représentativité temporelle	Limites de détection	Références normatives	Coût
----	-----------	---------------	------------	-----------------------------	----------------------	-----------------------	------

Analyseur	Disposer de :	Ecart-type de répétabilité ≤ 0.3 ppm	Toutes les 30 sec.	Gamme 0 – 50ppm	<ul style="list-style-type: none"> Directive 2000/69/CE NF EN 14626 	<ul style="list-style-type: none"> Appareil = 10.000€ Abri gaz d'étalonnage = 1000 € Ligne d'échantillonnage = 3000 € Acquisition de données = 10000 €
	<ul style="list-style-type: none"> Grande quantité de données 	<ul style="list-style-type: none"> Abri climatisé Ligne d'échantillonnage ventilée. Gaz de zéro et d'échelle raccordés au LNE Maintenance tous les 15jrs+vérif linéarité et rendement du convertisseur/1fois an Système d'acquisition de données 	<ul style="list-style-type: none"> Ecart-type de répétabilité ≤ 0.3 ppm 	<ul style="list-style-type: none"> Toutes les 30 sec. 	<ul style="list-style-type: none"> Gamme 0 – 50ppm 	<ul style="list-style-type: none"> Appareil = 10.000€ Abri gaz d'étalonnage = 1000 € Ligne d'échantillonnage = 3000 € Acquisition de données = 10000 €

(g) . Comparatif des méthodes disponibles pour le monoxyde de carbone

PM ₁₀	Avantages	Inconvénients	Robustesse	Représentativité temporelle	Limites de détection	Références normatives	Coût
Prélèvement sur filtre + pesée	<ul style="list-style-type: none"> Reconnaissance normative et réglementaire. 	<ul style="list-style-type: none"> Faible représentativité temporelle Coût (unités d'œuvre) Information obtenue après coup Rôle majeur du contrôle en température du filtre, le long de toute la chaîne Privilegier installation sous abri Disposer d'une salle de pesée avec contrôle en température et humidité : investissement lourd. 	<ul style="list-style-type: none"> Non publiée 	<ul style="list-style-type: none"> 24 H 	<ul style="list-style-type: none"> dépendant de la durée du prélèvement et de la balance 	<ul style="list-style-type: none"> Directive 1999/30/CE EN 12341 	<ul style="list-style-type: none"> Appareil : 15 k€ HT
Microbalance TEOM	<ul style="list-style-type: none"> Outil reconnu sur site trafic 	<ul style="list-style-type: none"> Impossibilité d'obtenir une reconnaissance réglementaire. 	<ul style="list-style-type: none"> A fait ses preuves en AASQA. 	<ul style="list-style-type: none"> 15 minutes, voire moins. 	<ul style="list-style-type: none"> Non validée 		<ul style="list-style-type: none"> 20 k€ HT
TEOM-FDMS	<ul style="list-style-type: none"> Reconnaissance réglementaire en bonne voie. 		<ul style="list-style-type: none"> Test sur du monitoring long terme en AASQA en 2006. 	<ul style="list-style-type: none"> Horaire. 	<ul style="list-style-type: none"> Non validée 		<ul style="list-style-type: none"> 30 k€ HT
Méthodes optiques		<ul style="list-style-type: none"> Mesure indicative uniquement. Sensibilité vis-à-vis de l'humidité 	<ul style="list-style-type: none"> Non publié 	<ul style="list-style-type: none"> 15 minutes voire moins. 	<ul style="list-style-type: none"> Non publiée 		<ul style="list-style-type: none"> 5 à 60 k€.

(h) Comparatif des méthodes disponibles pour les particules PM₁₀

Pour le PM_{2,5} le tableau reste essentiellement le même. La référence normative en vigueur est la norme EN 14907, à noter qu'une révision de cette dernière est d'ores et déjà prévue.

Particules submicroniques	Avantages	Inconvénients	Robustesse	Représentativité temporelle	Limites de détection	Références normatives	Coût
Prélèvement sur filtre + pesée (concentration massique PM1)	-	Absence de référence dans le domaine. A priori, problème de limite de détection.	Non publiée		dépendant de la durée du prélèvement et de la balance		
Microbalance (concentration massique PM1)	-	Absence de référence. Problème possible au niveau de la limite de détection.	Non publiée		Non publiée		
Jauge Beta (concentration massique PM1)	-	Problème majeur prévisible au niveau de la limite de détection.	Non publiée		Non publiée		
Compteur de noyaux de condensation (concentration en nombre)	<ul style="list-style-type: none"> Facilité de mise en œuvre. Simplicité de l'information fournie (concentration en nombre). 	<ul style="list-style-type: none"> L'utilisation de ce matériel en continu est en cours d'évaluation (Zurich) ; ex. de point considéré : eau dans butanol. 	<ul style="list-style-type: none"> Cf. point précédent. 	<ul style="list-style-type: none"> Très bonne avec a minima une mesure par minute 	<ul style="list-style-type: none"> < 1 p/cc Excellent au regard des niveaux rencontrés 	<ul style="list-style-type: none"> Projet Suisse concernant la mesure à l'émission (automobile) 	<ul style="list-style-type: none"> 25 à 50 K€
Granulomètre (Analyseur de mobilité électrique ou SMPS) (distribution en taille et concentration en nombre)	<ul style="list-style-type: none"> Existence de référence pour des campagnes de mesure de plusieurs semaines, à plusieurs mois. 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité d'explicitier les mesures à travers des indicateurs compréhensibles (ex. travail INERIS/LCSQA avec diagramme génétique). 	<ul style="list-style-type: none"> Non publiée 	<ul style="list-style-type: none"> Valeurs horaires, éventuellement 30 minutes. 	<ul style="list-style-type: none"> < 1 p/cc excellent 	-	<ul style="list-style-type: none"> 55 à 75 K€
Granulomètre (Impacteur électrique ELPI) (distribution en taille et concentration en nombre)	-	<ul style="list-style-type: none"> Instrument très documenté sur les mesures à l'émission ; extrêmement peu en air ambiant. Problème attendu en terme de sensibilité. A évaluer : fréquence de maintenance, et comportement face à l'humidité. 	<ul style="list-style-type: none"> Non publiée 	<ul style="list-style-type: none"> Une mesure à la seconde. 	<ul style="list-style-type: none"> Supérieure à 1000 p/cc Moyenne à insuffisante. 		
Mesure de surface spécifique		<ul style="list-style-type: none"> Instrumentation émergente, de type recherche / laboratoire. A considérer sur des actions ponctuelles. 	<ul style="list-style-type: none"> Non publiée 		<ul style="list-style-type: none"> Non publiée 		<ul style="list-style-type: none"> Un produit à 15 k€.

(i) Comparatif des méthodes disponibles pour les particules submicroniques

Métaux	Avantages	Inconvénients	Robustesse	Représentativité temporelle	Limites de détection	Références normatives	Coût
--------	-----------	---------------	------------	-----------------------------	----------------------	-----------------------	------

LVS	Appareils peu bruyants Longues durées de prélèvements possibles	Faible quantité de matière prélevée	Cd : incertitude inférieure à 40% Pb : exactitude inférieure à 25%	24 heures à une semaine	Cd : 0.5 ng/m ³ Pb : 0.1 µg/m ³	Directive 2004/107/CE (Cd) Directive 1999/30/CE (Pb)	Environ 30 000€ Analyse : 120-140 € / filtre
HVS	Grande quantité de matière prélevée	Filtre de grande dimension à traiter Appareil bruyant	Cu : Zn : Pt :	24 heures	Cu : 27 ng/filtre (analytique) Zn : 27 ng/filtre (analytique) Pt : 13 ng/filtre (analytique)	NF EN ISO 11885 (Cd, Pb, Cu, Zn) NF EN 14902 (en projet) ISO 9855 (Pb)	Environ 30 000€ Analyse : 120-140 € / filtre
Dépôts	<ul style="list-style-type: none"> bas coût Pas besoin d'électricité 	<ul style="list-style-type: none"> pas de référence réglementaire 	<ul style="list-style-type: none"> Incertitude inférieure à 70% (As) 	<ul style="list-style-type: none"> 1 semaine à un mois 	<ul style="list-style-type: none"> Cd : 26 ng/support (analytique) Pb : 27 ng/support (analytique) µg/m³ Cu : 27 ng/support (analytique) Zn : 27 ng/support (analytique) Pt : 13 ng/support (analytique) 	CEN au vote (Cd et Pb) air ambiant CEN en préparation (dépôts)	<ul style="list-style-type: none"> Analyse : 120-140 € / filtre

(j) . Comparatif des méthodes disponibles pour les métaux

B(a)P	Avantages	Inconvénients	Robustesse	Représentativité temporelle	Limites de détection	Références normatives	Coût
LVS	Appareils peu bruyants	Faible quantité de matière prélevée Besoin de récupérer le filtre rapidement	Incertitude inférieure à 50%	24 heures à une semaine	0.1 ng/m ³ (2.4 ng/filtre) pour 24 h.	Directive 2004/107/CE ISO 12884 NF X 43-025	Environ 30 000€ Analyse : 200 €/filtre
HVS	Grande quantité de matière prélevée	Appareil bruyant Besoin de récupérer le filtre rapidement		24 heures	0.1 ng/m ³ (36 ng/filtre)	ISO/CD 16362 (en préparation) CEN (en préparation)	Environ 30 000€ Analyse : 200 €/filtre
Dépôt total	Peu coûteux	Pas de référence réglementaire	Incertitude inférieure à 70%	1 semaine à un mois	0.1 ng/support (analytique)	NF X 43-014 NF EN ISO 17993	Analyse : 200 €/filtre

(k) . Comparatif des méthodes disponibles pour le benzo(a)pyrène