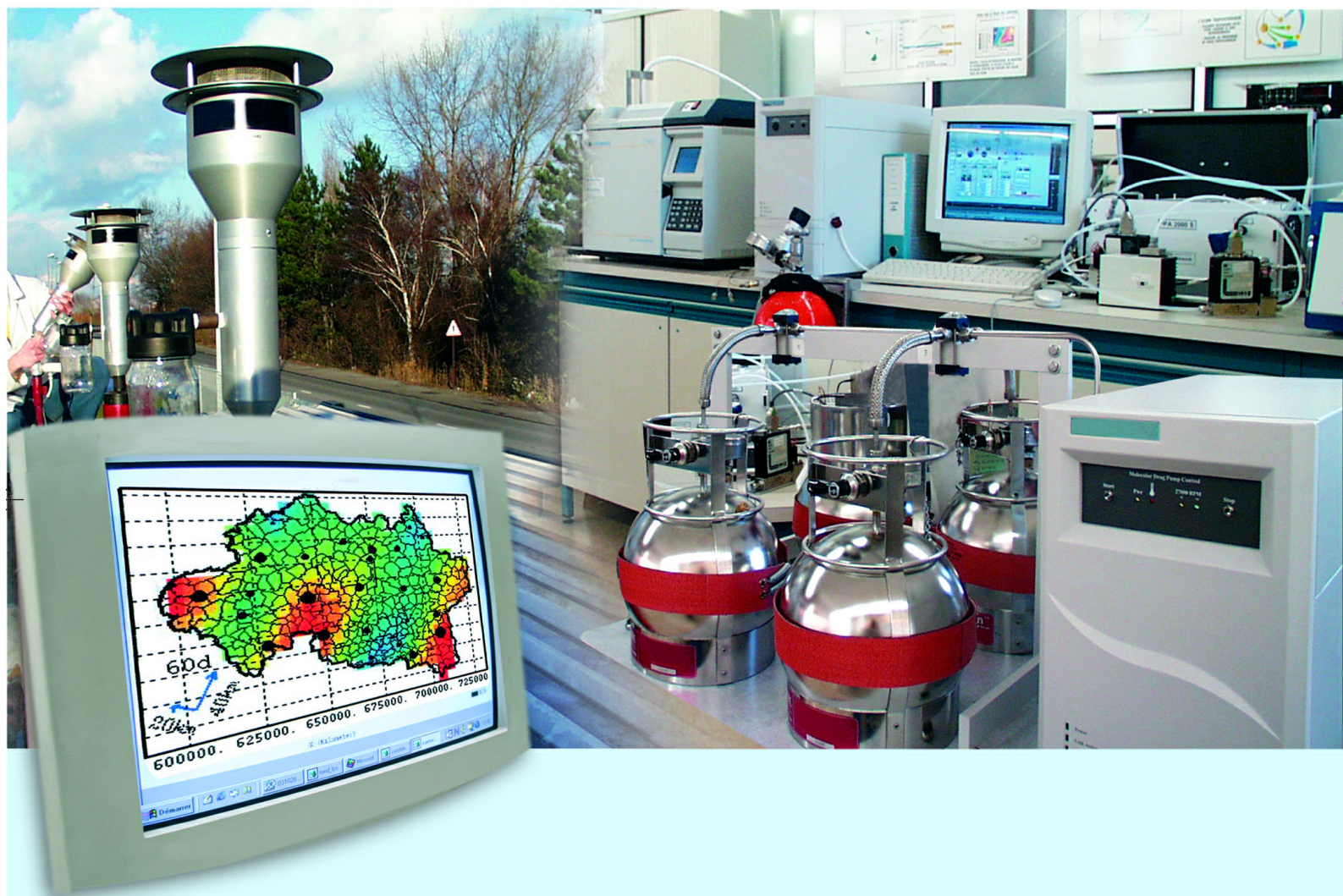




## Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Mission permanente du LCSQA

**Utilisation des microcapteurs : bilan et retours d'expérience**

Décembre 2006

*Version finale*

Cécile RAVENTOS





Ministère de l'Ecologie  
et du Développement Durable

## PREAMBULE

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

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

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



Ministère de l'Ecologie  
et du Développement Durable

## Utilisation des microcapteurs : bilans et retours d'expérience

Laboratoire Central de Surveillance  
de la Qualité de l'Air



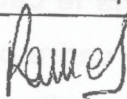
### Mission permanente du LCSQA

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

Décembre 2006

**C. RAVENTOS**

Ce document comporte 31 pages (hors couverture et annexes).

	<b>Rédaction</b>	<b>Vérification</b>	<b>Approbation</b>
<b>NOM</b>	C. RAVENTOS	J. POULLEAU	M. RAMEL
<b>Qualité</b>	Ingénieur unité AIRE  Direction des Risques Chroniques	Responsable de l'unité AIRE  Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA/INERIS  Direction des Risques Chroniques
<b>Visa</b>			





## TABLE DES MATIERES

<b>1. RESUMÉ.....</b>	<b>2</b>
<b>2. INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>3. QUELQUES RAPPELS DES ETUDES DU LCSQA REALISÉES ENTRE 1999 ET 2002 .....</b>	<b>5</b>
3.1 Veille technique sur les capteurs de gaz (2000).....	5
3.2 Utilisation de microcapteurs (2001).....	7
3.3 Utilisation de microcapteurs (2002).....	10
<b>4. ETUDE RÉALISÉE PAR AIR APS EN 2006 .....</b>	<b>13</b>
4.1 Campagne de mesurages à Chamonix (station à 1038 m d'altitude) et à l'Aiguille du Midi (station à 3850 m d'altitude) .....	14
4.2 Campagne de mesurages sur les sites du Plan du Lac (2400 m d'altitude) et de Saint-Jean de Maurienne (500 m d'altitude).....	16
4.3 Campagne de mesurages sur les sites du Plan du Lac (2400 m d'altitude) et du Brévent (station à 2500 m d'altitude).....	16
4.4 Détermination de la courbe de calibrage.....	17
4.5 Comparaison entre les mesures par microcapteurs et par tubes passifs ....	17
4.6 Campagne de mesurages sur 5 sites à différentes altitudes .....	17
<b>5. JOURNÉE TECHNIQUE SUR LES MICROCAPTEURS DU 12/12/06 ORGANISÉE PAR AIR NORMAND .....</b>	<b>18</b>
5.1 Objet de la journée .....	18
5.2 Présentation du dispositif de calibrage de airnormand.....	18
5.3 Campagne de mesurages réalisée par Air Normand (Michel Bobbia) .....	19
5.4 Essais réalisés au JRC (Michel Gerboles) .....	22
5.5 Campagne de mesurage effectuée par Air APS .....	25
5.6 Echanges .....	26
5.6.1 Présentation du nouveau microcapteur développé par MiCS : OMC3.....	26
5.6.2 Discussions, actions/études futures.....	26
<b>6. CONCLUSION.....</b>	<b>29</b>
<b>7. LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>31</b>

## **1. RESUME**

L'objet du rapport est :

- De présenter l'étude d'Air APS en 2006, sur la mesure d'ozone par microcapteurs dans des stations d'altitude ;
- Et de faire le compte rendu de la journée technique sur les microcapteurs organisée par Air Normand le 12 décembre 2006.

Compte tenu de l'intérêt que portent plusieurs AASQA à la technique de mesurage par microcapteur, comme l'a témoignée la journée technique à Air Normand, organisée en décembre 2006 par Air Normand, il nous a semblé qu'il pouvait être utile de rappeler les travaux qui avaient été réalisés par le LCSQA entre 1999 et 2002. Ces travaux avaient notamment permis d'évaluer les performances de quelques microcapteurs pour la mesure d'ozone en laboratoire et de tester le capteur OMC2 du fabricant MiCS sur site.

Ces mêmes capteurs ont été mis en œuvre lors de plusieurs campagnes de mesurages par Air Normand depuis 2003, et en 2006 par Air APS. Certaines difficultés de mise en œuvre rencontrées avaient déjà été mises en avant lors des essais en 2002.

Il paraît utile aujourd'hui, alors que de nouvelles AASQA envisagent de s'équiper en microcapteurs, de rappeler ou présenter les résultats de ces études, les tests qui ont été effectués, les précautions d'usage qui peuvent être tirées de ces premières expériences et les points qu'il conviendrait encore de tester.

Parmi les enseignements apportés par les différentes campagnes de mesurage réalisées avec des capteurs OMC2, il convient que les utilisateurs prennent notamment en compte les points suivants :

- La nécessité du vieillissement des capteurs, la courbe de calibrage se stabilisant au cours du temps ;
- La sensibilité des microcapteurs à l'humidité ;
- La nécessité d'effectuer les calibrages des microcapteurs avec une génération d'ozone en air humide, les microcapteurs ne supportant en général pas de travailler sur de longues périodes en air sec ;
- Une meilleure corrélation est obtenues entre mesures par microcapteur et mesures par analyseur à photométrie UV (méthode de référence pour la mesure d'ozone), lorsque le calibrage est effectué à partir des données de site, par comparaison avec les mesures d'un analyseur placé en parallèle, que lorsque le calibrage est effectué en laboratoire. Toutefois le calibrage sur site est limité dans le cas d'une faible variation des conditions de température et concentration en ozone, car il est alors nécessaire de faire une extrapolation pour les conditions qui ne rentreront pas dans ces intervalles de variation ; ceci peut conduire à un biais important compte tenu de la forme polynomiale de la fonction de calibrage.
- La nécessité de ne pas débrancher le microcapteur pour que la courbe de calibrage reste valide, car il semble que la réponse du capteur change après un arrêt prolongé du capteur.

Lors de la journée technique à Air Normand, il a également été présenté les essais en cours au JRC, visant à évaluer plusieurs microcapteurs d'ozone, dont celui de MiCS. L'évaluation des microcapteurs permettra notamment de définir si cette technique peut être utilisée comme méthode indicative ou comme méthode de référence (la Directive 2002/3/CE relative à la mesure d'ozone fixe comme objectifs de qualité de la mesure des seuils d'incertitude de mesure de 15% pour les mesures en continu selon la méthode de référence, et de 30% pour les mesures indicatives).

Enfin lors de cette même journée technique, le représentant de la société MiCS a annoncé qu'il est prévu la commercialisation, très prochainement, d'une nouvelle version du capteur d'ozone : OMC3.

Les principales différences des nouveaux capteurs par rapport à la version OMC2 OMC2 sont les suivantes :

- Le module microcapteur intègre : un double capteur d'ozone (l'un est dédié au mesurage, l'autre permet de prendre en compte la dérive du capteur), un capteur de température, un capteur d'humidité ;
- Le boîtier du capteur intègre un régulateur de tension ;
- La concentration est directement donnée en ozone ;
- Le boîtier est équipé d'une batterie ;
- Les données sont stockées en mémoire et peuvent être récupérées par une liaison radio.
- Le calibrage devra être effectué en faisant varier à la fois la concentration en ozone, la température ambiante et la teneur en humidité.

Il est apparu nécessaire aux participants de la journée technique, de faire des comparaisons sur site de cette nouvelle version et de la version OMC2. Une réponse du fabricant est attendue quant au prêt de capteurs OMC3 pour des tests en stations par des AASQA.





## **2. INTRODUCTION**

L'objet du présent rapport était :

- De présenter l'étude d'Air APS en 2006, sur la mesure d'ozone par microcapteurs dans des stations d'altitude ;
- Et de faire le compte rendu de la journée technique sur les microcapteurs organisée par Air Normand le 12 décembre 2006.

Compte tenu de l'intérêt que portent plusieurs AASQA à la technique de mesurage par microcapteur, comme l'a témoignée la journée technique à Air Normand, il nous a semblé qu'il pouvait être utile de rappeler les travaux qui avaient été réalisés par le LCSQA entre 1999 et 2002. Ces travaux avaient notamment permis d'évaluer les performances de quelques microcapteurs pour la mesure d'ozone en laboratoire et de tester le capteur OMC2 du fabricant MiCS sur site.

Ces mêmes capteurs ont été mis en œuvre lors de plusieurs campagnes de mesurages par Air Normand depuis 2003, et en 2006 par Air APS. Certaines difficultés de mise en œuvre rencontrées avaient déjà été mises en avant lors des essais en 2002.

Il paraît utile aujourd'hui, alors que de nouvelles AASQA envisagent de s'équiper en microcapteurs, de rappeler ou présenter les résultats de ces études, les tests qui ont été effectués, les précautions d'usage qui peuvent être tirées de ces premières expériences et les points qu'il conviendrait encore de tester.

## **3. QUELQUES RAPPELS DES ETUDES DU LCSQA REALISEES ENTRE 1999 ET 2002**

Entre 1999 et 2002, des études sur les microcapteurs ont été menées par le LCSQA-INERIS suite à l'évolution de cette technologie et à l'intérêt qu'elle pouvait présenter pour les mesurages de la qualité de l'air par les AASQA.

En 1999-2000, l'étude a permis de recenser les différentes techniques mises en œuvre et les polluants pouvant être mesurés dans l'air ambiant.

En 2001, des microcapteurs de mesure d'ozone ont été testés en laboratoire.

En 2002, parmi les microcapteurs de mesure d'ozone testés en laboratoire, ceux du fabricant MiCS ont été testés sur site.

### **3.1 VEILLE TECHNIQUE SUR LES CAPTEURS DE GAZ (2000)**

(rapport LCSQA -00-23446-AIRE-rap567-3.doc-IZd)

La veille technique effectuée en 1999-2000 avait été proposée suite au constat, dans les dix années précédentes, de l'amélioration progressive de la sensibilité des capteurs, rendant possible l'emploi de ces technologies pour le mesurage de certains polluants atmosphériques.

Il semblait que ces capteurs pouvaient fournir un appoint utile aux analyseurs en continu utilisés par les AASQA. La miniaturisation de l'élément sensible de ces capteurs permettait en effet d'envisager d'appliquer ces techniques à :

- la localisation d'une source ponctuelle de pollution,
- la recherche d'un nouvel emplacement pour une station fixe,
- la mise en œuvre d'une surveillance limitée dans le temps, le mesurage de l'exposition des personnes,
- et la réalisation de cartographies de polluants, rendue possible par la multiplication des points de mesurage.

Le but de l'étude étant de faire l'état des lieux des développements de ces techniques, tant en France qu'à l'étranger, le LCSQA-INERIS a :

- rencontré des équipes françaises qui développaient des capteurs gaz et qui exploraient les applications à la mesure de polluants gazeux, et en particulier celles qui étaient déjà en contact avec des AASQA ;
- effectué une recherche bibliographique dans les bases de données classiques ;
- effectué une recherche sur Internet.

Le nombre croissant d'articles publiés sur les microcapteurs entre 1995 (2-3 articles) et 1999 (une vingtaine) montrait déjà le potentiel de développement et d'applications envisagé par les chercheurs pour ces techniques.

Le rapport (décembre 2000) explicite les principes des principales techniques existantes :

- capteurs électrochimiques,
- capteurs semi-conducteurs organiques ou métalliques, en couche épaisse ou en couche mince,
- capteurs résonnants (piézo-électriques),
- capteurs optiques : diodes laser, fibres optiques, diodes d'onde, interféromètres,
- biocapteurs.

Les capteurs développés par les laboratoires ou industriels rencontrés ou contactés sont décrits.

En France en 2000, les développements portaient surtout sur les techniques semi-conducteurs (oxydes métalliques ou couches minces organiques). Les techniques optiques également intéressantes, étaient plus développées à l'étranger.

Il est apparu que si quelques laboratoires avaient déjà commercialisé leurs capteurs, certains universitaires avec des développements très prometteurs n'avaient en revanche aucun contact particulier avec des industriels susceptibles de fabriquer un appareil commercialisable.

**L'application la plus avancée était la détection de gaz oxydants comme l'ozone et les oxydes d'azote**, dont les concentrations dans l'air ambiant paraissaient détectables par ces techniques.

Comme il était difficile de juger des performances réelles des techniques développées à la simple lecture des articles, il est apparu nécessaire de tester certains dispositifs, afin notamment d'évaluer la sensibilité aux gaz mesurés, la sélectivité de la technique de mesurage et la durée de vie.

Il a été envisagé de réaliser des essais en laboratoire et sur site.

### **3.2 UTILISATION DE MICROCAPTEURS (2001)**

(rapport LCSQA INERIS-DRC-01-27582-AIRE-cr-796.DOC)

*Il est à noter que les résultats des tests présentés ci-dessous sont valables pour les capteurs tels que fournis par les fabricants lors de l'étude et que certains d'entre eux ont pu évoluer depuis.*

La veille technologique réalisée en 2001 a permis d'identifier plusieurs développements assez prometteurs de microcapteurs sensibles à l'ozone dans une gamme correspondant aux concentrations mesurées en air ambiant.

En 2001 il a donc été proposé de tester, dans le cadre des travaux du LCSQA, les capteurs de type semi-conducteurs suivants :

- deux capteurs de type semi-conducteur métallique SnO<sub>2</sub> dopé :
  - 1 appareil miniaturisé « EcoSensor » fabriqué aux Etats-Unis et intégrant un capteur fabriqué par la société suisse Microchemical Systems (MiCS) ; il était commercialisé par plusieurs sociétés américaines et distribué en Europe par une société Suisse « Ozone CH » ;
  - 4 capteurs MiCS ;
- 3 capteurs de type semi-conducteur organique à phtalocyanine, provenant du laboratoire du LASMEA, laboratoire mixte entre l'université de Clermont Ferrand associé au CNRS ; la technique repose sur une couche mince de phtalocyanine contenant un atome de métal ; le signal enregistré lors de la présence de polluants est une variation de la résistivité du capteur ; il a été fourni 2 capteurs contenant un atome de cuivre (PcCu), chauffés respectivement à 50 et 120°C, et 1 capteur contenant un atome de zinc (PcZn) ;
- 1 capteur de type semi-conducteur monocristallin à InP (phosphure d'indium) provenant également du LASMEA.

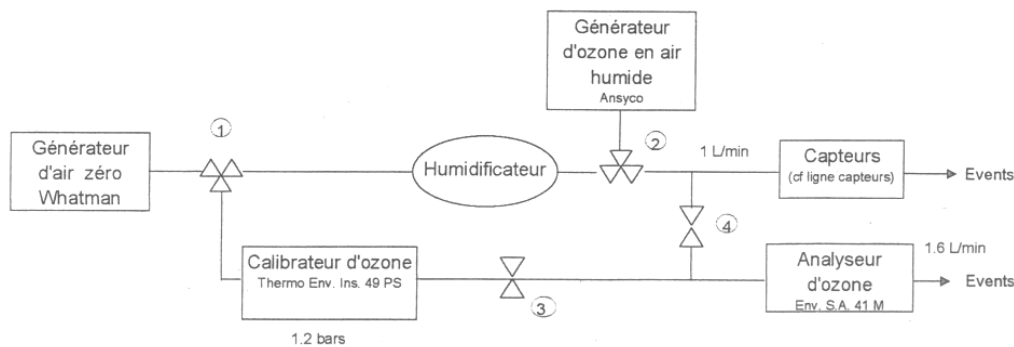
#### Caractéristiques testées :

- Sensibilité du capteur et stabilité de la réponse pour différents niveaux d'ozone (25 à 150 ppbv),
- Sensibilité à des interférents potentiels : NO et NO<sub>2</sub>.

## Méthodologie pour les tests en laboratoire :

**Les microcapteurs ne supportant en général pas de travailler sur de longues périodes en air sec, les tests ont été effectués avec une génération d'ozone en air humide.** Il a pour cela été utilisé un générateur de marque ANSYCO qui génère l'ozone à partir d'air ambiant purifié sur du charbon actif, mais non séché. L'humidité relative du flux d'ozone, était de l'ordre de 40 à 50 % pendant les essais.

Le banc d'essai mis en œuvre à l'INERIS est schématisé ci-dessous :



Des chambres d'essai adaptées à la géométrie de chaque capteur ont été conçues.

Les paramètres enregistrés étaient les suivants :

- La concentration en ozone générée avec un analyseur calibré tous les 15 jours,
- La température et l'humidité relative avec une sonde placée en amont des chambres d'exposition,
- La pression différentielle en aval de la dernière chambre pour s'assurer que tous les capteurs sont balayés par le mélange d'ozone,
- La pression atmosphérique,
- Les signaux des capteurs.

## Résultats :

Des résultats exploitables ont été obtenus :

- Pour les 4 capteurs MiCS ( $\text{SnO}_2$ ) pendant 3 mois : deux mois pour les essais sous ozone et un pour les essais d'influence des  $\text{NO}_x$ ,
- Pour l'appareil EcoSensor à capteur  $\text{SnO}_2$  pendant 2 mois : un mois sous ozone et un mois pour les essais d'influence des  $\text{NO}_x$ ,
- Pour les 4 capteurs du LASMEA pendant 1 mois : essais sous ozone uniquement ; la stabilisation de la réponse n'a été obtenue que pour 1 capteur à phtalocyanine de cuivre chauffé à  $120^\circ\text{C}$  ; les autres ont montré des signaux bruités et une sensibilité décroissante dès les premiers jours.

Les réponses obtenues avec les capteurs type phtalocyanine (PcCu) et à phosphore d'indium (InP) étant très différentes de celle des capteurs à  $\text{SnO}_2$ , les analyses des réponses ont été effectuées séparément pour les deux types de capteurs.

### Capteurs MiCS et EcoSensor

- Essais de stabilité et sélectivité pour différents niveaux d'ozone : comparaison de la réponse (en mV) à l'exposition des capteurs à différentes concentrations d'ozone pendant des paliers de 45 minutes, avec retour à zéro entre les paliers de concentrations puis sans retour à zéro :
  - pas d'écart notable de réponse entre les 2 séries d'essais pour les capteurs MiCS et EcoSensor ;
  - **stabilité de la réponse dans le temps à partir de la deuxième semaine d'essais : il semblerait que quelques jours soient nécessaires pour que les capteurs atteignent toute leur sensibilité ;**
  - en revanche comportements différents entre capteurs MiCS et EcoSensor :
    - après une exposition sans ozone durant la nuit, l'EcoSensor a montré un temps long de stabilisation qui a conduit à effectuer des périodes de conditionnement sous 100 ppb d'ozone avant les tests ; la société MICS avait indiqué qu'il pouvait s'agir d'un problème de diffusion sur la membrane qui protège le capteur de l'EcoSensor ;
    - signal instable de l'Ecosensor pour les concentrations les plus élevées ; il a été supposé que cela était lié à l'amplification du signal ;
    - les deux types de capteurs ne fournissent pas une réponse linéaire en fonction de la concentration : les capteurs MiCS semblent saturer vers les concentrations élevées (réponse de forme logarithmique) alors que l'EcoSensor a une réponse qui a tendance à augmenter avec la concentration (réponse de forme exponentielle).
- Tests d'influence des oxydes d'azote : génération d'ozone seul, puis en présence de NO, de NOx et de NO<sub>2</sub>. Les concentrations en NOx ont été mesurées à l'aide d'un analyseur à chimiluminescence.
  - **l'ensemble des capteurs est insensible au NO ;**
  - la comparaison **des réponses en présence d'O<sub>3</sub> seul, en présence de NO<sub>2</sub> seul et en présence d'O<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>** montre que le signal mesuré dans ce dernier cas est supérieur à la réponse calculée sur la base des réponses obtenues en présence d'O<sub>3</sub> seul puis NO<sub>2</sub> seul ; **ceci laisse supposer un phénomène d'adsorption compétitive favorable à l'ozone**, ce qui signifie qu'en présence de concentrations d'ozone non nulles, la présence de NO<sub>2</sub> n'influera que très peu sur la réponse de ces capteurs ; donc la réponse des capteurs au NO<sub>2</sub>, qui est déjà très faible par rapport à la réponse à des concentrations équivalentes en ozone, est encore plus basse lorsque ces deux gaz sont en mélange.

### Capteurs du LASMEA

Essais de stabilité et sélectivité pour différents niveaux d'ozone : comparaison de la réponse (en mV) à l'exposition des capteurs à différentes concentrations d'ozone pendant des paliers de 45 minutes, avec retour à zéro entre les paliers de concentrations puis sans retour à zéro :

- capteurs PcCu : le capteur chauffé à 50°C est plus sensible mais a une réponse beaucoup plus lente ; les essais avec retour à zéro entre paliers de concentration montrent que le capteur chauffé à 50°C ne parvient pas à revenir à sa valeur initiale en 45 min ;

- le capteur InP a montré dès les premiers jours une forte instabilité et une sensibilité décroissante ; les essais n'ont pas pu être poursuivis.

Parallèlement, le LASMEA a conçu un nouveau mode de chauffage programmé des capteurs, sur un cycle de 15 minutes, devant permettre de combiner les avantages des capteurs à 50°C et à 120°C.

#### Perspectives suite aux essais en laboratoire :

Au vu des bons résultats obtenus tant à l'INERIS qu'en Suisse avec les capteurs MiCS, et les essais sur site réalisés depuis deux ans sur une station d'ATMO AUVERGNE, il a été proposé de valider la technique par des essais en stations en plaçant un capteur en parallèle avec un analyseur d'ozone, pendant la période estivale.

### **3.3 UTILISATION DE MICROCAPTEURS (2002)**

(rapport LCSQA INERIS DRC – 02 – 39345 – AIRE – 674 -v2 – lzd)

En 2002, une campagne d'essais sur sites de 5 mois (mai à octobre) a été réalisée, en collaboration avec différentes AASQA.

Les microcapteurs MiCS ont été placés sur des sites très différents et représentatifs de l'ensemble des stations de mesure françaises : en collaboration avec le fabricant, il a été installé des prototypes sur 13 stations de 7 AASQA, en Alsace, Normandie, Auvergne et autour de la Méditerranée, et à l'INERIS ; en parallèle une mesure d'ozone était effectuée au moyen d'un analyseur.

#### Principe de la mesure et du calibrage :

Les capteurs sont des semi-conducteurs en oxyde d'étain SnO<sub>2</sub> dont la résistance varie avec la concentration en ozone : l'adsorption sélective de molécules d'ozone sur la surface change les propriétés de conduction du matériau. Le signal mesuré est la tension  $U_{charge}$  prise aux bornes d'une résistance de charge  $R_{charge}$  qui se trouve en série avec le capteur (l'ensemble du circuit étant alimenté en 5 V). On calcule la résistance du capteur par l'équation :

$$R_{capteur} = R_{charge} \times \frac{(5 - U_{charge})}{U_{charge}}$$

Cette valeur est ensuite compensée des variations de température ambiante, par l'utilisation d'un coefficient K empirique, et par la mesure en continu de la température  $T$ , en même temps que la concentration en ozone. La résistance du capteur est recalculée à la température de référence à 25°C, c'est-à-dire à la température à laquelle le calibrage a été effectué par le fournisseur.

$$R_T = R_{charge} \times \frac{(5 - U_{charge})}{U_{charge}} \times \exp(K(T - T_c))$$

Avec :

$R_T$  : résistance du capteur corrigée par rapport à la température mesurée par le capteur,

$K$  : coefficient de température (par défaut : 0,05),

$T$  : la température mesurée par le capteur,



$T_c$  : la température pendant le calibrage.

La résistance du capteur varie de façon non linéaire avec la concentration en ozone. La courbe de réponse à l'ozone doit donc être déterminée pour chaque capteur, au cours de l'étape de calibrage. La fonction de calibrage est de forme polynomiale du 3<sup>ème</sup> degré du type : .

$$[O_3] = x_3 \times R_T^3 + x_2 \times R_T^2 + x_1 \times R_T + x_0$$

Le premier calibrage a été effectué par MiCS qui fournissait les prototypes. Puis toutes les 2 à 4 semaines, les modules étaient renvoyés à l'INERIS pour être recalibrés.

Les calibrages réalisés à l'INERIS ont été effectués au moyen d'un générateur d'ozone permettant de fournir des mélanges humides.

Acquisition : toutes les 3 minutes, puis calcul des moyennes quart-horaires, pour comparer les mesures à celles des analyseurs.

Alimentation sur site : pendant la campagne les boîtiers ont été alimentés en 220V.

#### Constats, résultats :

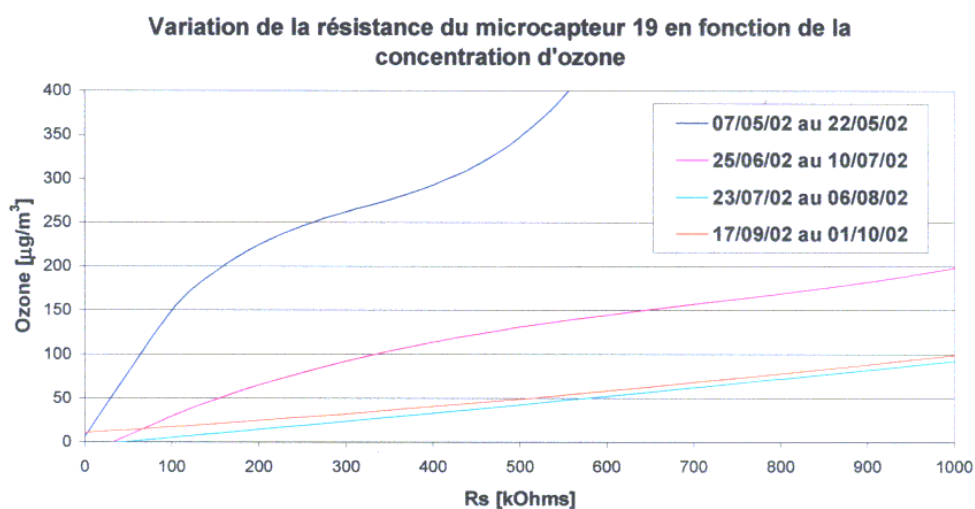
- Les comparaisons analyseur/microcapteur lors des essais sur site ont montré que ce dernier suivait bien les valeurs de l'analyseur, avec une dynamique de réponse équivalente.
- Les concentrations en ozone indiquées par les capteurs préalablement vieillis, donc stabilisés, et bien calibrés, étaient à plus de 99 %, bien corrélées avec les valeurs des analyseurs placés en parallèle, avec des écarts inférieurs à 30 % de la mesure.
- Calibrage : pour les calibrages réalisés à l'INERIS, une chambre d'un volume d'environ 9 litres a été réalisée, balayée par un courant d'ozone humide. **La première passivation de l'ensemble de la chambre a été très longue, et le temps de préchauffage des capteurs avant calibrage semble avoir été insuffisant.** Les premiers calibrages ont ainsi été réalisés alors que la concentration en ozone de la chambre ne devait pas être homogène, et que les capteurs n'étaient pas stabilisés, ce qui explique une différence importante entre les concentrations indiquées par certains microcapteurs et l'analyseur de la station. Le protocole de calibrage a été modifié et les résultats ont été améliorés.
- **Importance du conditionnement : phase de «recuit» du capteur et protocole de calibrage :**

Tout capteur de gaz fabriqué par des techniques « couches minces », même s'il est sensible dès le départ, **nécessite une période de fonctionnement à chaud pour obtenir ses performances maximales.** Cette période de recuit correspond à un réarrangement de la structure cristalline de la couche. **Au cours du temps nécessaire à ce recuit, les performances du capteur ne sont pas stables.** La procédure de recuit fait partie du développement d'un capteur chimique : en particulier, la température du capteur, les conditions d'environnement et la durée sont des paramètres à optimiser.

A partir des essais en laboratoire, il avait été constaté que le capteur neuf était déjà sensible à l’ozone. Les premiers capteurs mis sur site avaient eu une période de fonctionnement d’au moins 15 jours chez MiCS, pour la vérification des boîtiers électroniques. **Ce n’était pas le cas de capteurs mis en œuvre par la suite, et il a été observé sur le terrain des écarts importants par rapport aux concentrations mesurées par les analyseurs lors des premières périodes de fonctionnement.**

Il convient de remarquer que pour ces capteurs, la sensibilité a tendance à croître avec le temps, au moins au cours de la première période de fonctionnement, ce qui correspond probablement à une activation des sites d’adsorption d’ozone, alors qu’en général pour les microcapteurs chimiques c’est la perte de sensibilité qui est à craindre.

- La stabilisation du microcapteur après « vieillissement » se traduit, lorsque les courbes de calibration successives sont comparées (courbe présentant la résistance du capteur en fonction de la concentration en ozone), par une tendance des courbes à se rapprocher puis à se superposer. Ceci montre la nécessité du vieillissement du capteur pour une bonne stabilisation de la résistance et donc de la mesure d’ozone. **La fonction de calibrage varie au début de la vie du capteur puis semble se stabiliser.**



- Pour plusieurs capteurs, le calcul des écarts par rapport à l’analyseur a montré une augmentation de ceux-ci entre 2 calibrages traduisant une dérive dans le temps des microcapteurs.
- « **Best-fit** » : pour les données enregistrées par les capteurs mal calibrés, un post-traitement (ou « best-fit ») a été appliqué au fichier brut stocké dans le boîtier. La procédure consiste à recalculer les coefficients d’ajustement des concentrations indiquées par le microcapteur en fonction de celles mesurées par l’analyseur, en considérant les données de toute la période. **Ce traitement a conduit à un accord bien meilleur entre les mesures des analyseurs et des microcapteurs.** Il est à noter que ce post-traitement n’a été possible que parce que les capteurs avaient été mis en parallèle avec un analyseur d’ozone dans chaque station. **Cela montre l’importance du calibrage et de sa vérification.**

- **Influence d'une forte humidité ambiante** : en présence d'une forte humidité, il a été constaté que le capteur sous-estimait la concentration ozone. Il a été émis l'hypothèse que de l'eau pouvait condenser sur la membrane qui protège le capteur, empêchant l'ozone de diffuser à travers celle-ci.
- **Mesure de la température ambiante** : dans certaines stations, la température mesurée dans la station a été comparée à celle mesurée par la sonde montée sur le boîtier du microcapteur. Il a été constaté **une surestimation des valeurs indiquées par le microcapteur** : jusqu'à 5-10°C et avec des écarts d'autant plus importants que la température était élevée. Il a été émis les hypothèses que l'écart pouvait être dû au préchauffage du microcapteur ou qu'il pouvait être lié à une mauvaise lecture du capteur de température pour les valeurs élevées (>25-30°C).
- Des valeurs erronées relevées sur l'ensemble de la campagne ont également été dues à quelques problèmes sur les circuits électroniques et les mémoires internes (effacement accidentel de paramètres, non-récupération des données...).

Quelques points d'amélioration ont été jugés nécessaires par les participants à l'étude : création d'une interface simple et stricte permettant une résolution rapide d'un éventuel problème de dysfonctionnement, amélioration de la fiabilité (diminution du domaine d'incertitude) et de la stabilité dans le temps, amélioration des moyens d'alimentation (batteries longue durée, GSM, panneau solaire..), élimination des variations en fonction de la température, de l'humidité ou d'un interférent.

Mais l'appréciation générale sur la mise en œuvre des capteurs a été assez bonne, et l'étude concluait sur la nécessité d'une finalisation par le fabricant du conditionnement et du calibrage, pour passer à l'étape de commercialisation du capteur.

Ces travaux ont fait l'objet d'une présentation au 10<sup>ième</sup> Congrès International des Capteurs Chimiques (IMCS) qui s'est déroulé au Japon en juillet 2004.

#### **4. ETUDE REALISEE PAR AIR APS EN 2006**

Il s'agit d'une « Etude du fonctionnement de microcapteurs d'ozone » réalisée du 05/06/2006 au 29/09/2006 à Air APS, par E. PROUTEAU, sous la Direction de S. PARDO.

*Les informations ci-dessous sont tirées du rapport relatif à l'étude qui a été transmis au LCSQA par Air APS.*

Le but de l'étude était d'observer le comportement des microcapteurs lors de leur utilisation en montagne, en optimisant leur réponse par comparaison du signal à celui d'un analyseur, en vue de savoir si de tels capteurs pouvaient être utilisés en altitude et avec quelles recommandations de mise en œuvre.

Mode d'acquisition : acquisition de données toutes les 11 secondes, calcul de moyennes quart-horaires, et fourniture de moyennes quart-horaires (comparables avec celles des analyseurs).

#### 4.1 CAMPAGNE DE MESURAGES A CHAMONIX (STATION A 1038 M D'ALTITUDE) ET A L'AIGUILLE DU MIDI (STATION A 3850 M D'ALTITUDE)

Période de mise en œuvre de la campagne : octobre-novembre 2005

But : les mesures ont été effectuées avec 2 microcapteurs mis en parallèle avec des analyseurs : à Chamonix (5 jours), puis à l'Aiguille du Midi (18 jours pour 1 capteur et 28 jours pour l'autre), et à nouveau à Chamonix (7 jours), afin de voir si un calibrage à Chamonix était valable à l'Aiguille du Midi et inversement, et si après un déplacement, le fonctionnement était toujours correct à Chamonix.

Note : un des capteurs a été modifié par le fabricant pour l'adapter aux basses températures (<10°C).

- La comparaison analyseurs/microcapteurs après calibrage de ceux-ci par le fabricant montre des écarts importants. Les microcapteurs sous-estiment les concentrations et de façon plus marquée à l'Aiguille du Midi. La suppression des concentrations basses (<10 ppb) diminue les écarts relatifs.
- Compte tenu du décalage entre analyseurs et microcapteurs les coefficients de calibrage ont été recalculés à partir des concentrations des analyseurs mesurées sur chaque site, après chaque déplacement et sur toute la durée des mesurages. **« L'optimisation paramétrique » pour chaque site et chaque capteur permet d'obtenir des écarts inférieurs à ±10 ppb pour plus de 99% des résultats, et des écarts inférieurs à 30% de la mesure de l'analyseur pour 91 à 99,8% des données.**

Mais ce type de fonctionnement n'est pas généralisable car il implique d'avoir un analyseur en parallèle systématiquement ce qui n'est pas le but de l'utilisation de microcapteurs.

- Les concentrations ont été recalculées, pour un capteur, avec une seule fonction de calibrage : celle calculée sur la base des résultats de la première campagne à Chamonix.

L'application de la fonction de calibrage obtenue avec les 1<sup>iers</sup> mesurages à Chamonix, aux mesurages à l'Aiguille du Midi conduit à des écarts <30% de la valeur de l'analyseur pour 71% des mesures, contre 99,8 % des mesures dans le cas d'un calibrage avec les données du site.

L'application de la fonction de calibrage obtenue avec les 1<sup>iers</sup> mesurages à Chamonix, aux mesurages de la 2<sup>ième</sup> période à Chamonix conduit à des écarts <30% de la valeur de l'analyseur pour 92,4% des mesures contre 96,6 % des mesures dans le cas d'une calibrage avec les données du site.

L'application de la fonction de calibrage obtenue avec les mesurages à l'Aiguille du Midi, aux mesurages de la 2<sup>ième</sup> période à Chamonix conduit à des écarts <30% de la valeur de l'analyseur pour 82% des mesures contre 96,6 % des mesures dans le cas d'une calibrage avec les données du site.

**La corrélation des mesures analyseur/microcapteur est meilleure quand la fonction de calibrage utilisée a été déterminée sur le même site que celui où sont effectués les mesurages, que sur un site différent.**

- Les concentrations ont ensuite été recalculées, pour les 2 capteurs, en ne prenant en compte, pour déterminer les fonctions de calibrage, que les données d'une journée de couples de mesures analyseur/microcapteur : le test a été effectué pour la période de mesure à l'Aiguille du Midi. Pour les 2 capteurs, les écarts les plus importants entre analyseur et microcapteur sont observés les 4-5 premiers jours de la période de mesurage ; ensuite plus de 90% des mesures ont un écart inférieur à  $\pm 10\%$ .

**Au vu de ces résultats, il a été conclu que le bon fonctionnement du capteur nécessitait un temps de chauffe, mais sans pouvoir déterminer le temps nécessaire pour obtenir une bonne stabilisation.**

- Influence de la température ambiante : il a été constaté une divergence entre la température mesurée par le microcapteur et celle indiquée par la station météo **avec une surestimation de la température mesurée par le microcapteur**. La comparaison des concentrations mesurées après calibration en tenant compte de la température mesurée par la station d'une part et avec celle mesurée par le microcapteur d'autre part montre que la corrélation est meilleure avec cette dernière.
- Influence du facteur K : la valeur de K était fixée à 0,05 par défaut. Il a été recherché quelle valeur conduisait à la meilleure corrélation des mesures en ozone : **le test a conduit à des valeurs K optimales différentes pour les 2 capteurs et selon le site de mesurage ; toutefois il a été jugé que cela n'améliorait pas de façon significative la corrélation des résultats analyseur/microcapteur**. Il a été estimé qu'il fallait plutôt optimiser les coefficients  $x_0$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  et  $x_3$  de l'équation de la courbe de calibrage.

#### Conclusion à la campagne de mesurages :

- Le calibrage réalisé par MiCS n'était pas adapté aux sites étudiés. Il a été considéré que cela était lié probablement aux conditions environnementales dans lesquelles ont fonctionné les microcapteurs : altitude élevée (> à 1000 m) d'où le changement de certains paramètres environnementaux comme la pression, le taux d'oxygène, la température... lesquels doivent avoir un impact direct sur le semi-conducteur, indépendamment des teneurs en ozone.  
Aussi une « optimisation paramétrique » (calibrage sur la base de la comparaison aux concentrations mesurées par un analyseur) apparaît nécessaire. De plus il s'est avéré nécessaire de déterminer la fonction de calibrage pour chaque site afin d'optimiser la corrélation des mesures analyseur/microcapteur.
- En ce qui concerne la température, il ne paraît pas utile de faire varier le coefficient K.
- L'évolution de l'erreur relative au cours du temps montre que les cellules restent relativement stables sur toute la période de mesurage, c'est-à-dire au moins pendant 1 mois.
- Une passivation des cellules en amont de la période de mesurage paraît nécessaire, ce temps de vieillissement du capteur restant à définir plus précisément. Au premier abord, une période de chauffe de 2 à 3 jours a semblé raisonnable.

- Les résultats de l'application des coefficients à Chamonix de la première période de mesurage à la seconde ont été satisfaisants et encourageants quant à la stabilité des coefficients de calibrage pour un site donné, donc pour une altitude donnée. Reste à savoir si ce calibrage est valide pour un site différent mais à la même altitude.

#### **4.2 CAMPAGNE DE MESURAGES SUR LES SITES DU PLAN DU LAC (2400 M D'ALTITUDE) ET DE SAINT-JEAN DE MAURIENNE (500 M D'ALTITUDE)**

Période de la campagne : 14 juin au 10 juillet 2006

Nombre de capteurs testés : 2 microcapteurs, 1 fixe au plan du Lac et 1 placé alternativement sur les 2 sites (1 : Plan du Lac, 2 : St-Jean de Maurienne, 3 : Plan du Lac, 4 : St-Jean de Maurienne).

Résultats :

- Pour le capteur utilisé sur un seul site :
  - Même constat que lors de la campagne précédente : mauvaise corrélation entre les mesurages analyseur / microcapteur effectués les premiers jours.
  - Après des coupures de courant (3 pendant la campagne), la corrélation est également moins bonne : **il semblerait que la réponse du capteur change après un arrêt prolongé du capteur, et qu'il est donc nécessaire de ne pas mettre hors tension le microcapteur.**
- Pour le capteur placé alternativement sur les 2 sites :
  - Pour que le calibrage conduise à une bonne corrélation entre mesures analyseur et microcapteur, il est nécessaire de laisser une période de chauffe d'au moins 48h, surtout si le microcapteur est neuf ;
  - Il a été testé si le calibrage pendant la période 1 s'appliquait à la période 2 (site différent) et à la période 3 (même site mais avec changement d'emplacement entre les périodes 1 et 3) ; le même test de la validation de la courbe de calibrage de la période 2 pour les périodes 3 et 4 a été mené et a conduit à la conclusion que **la courbe de calibrage d'un site ne s'applique pas à un autre site** ; une coupure de courant pendant la période 2 n'a pas permis de conclure quant à la validation des courbes de calibrage pour un même site mais à une période différente, puisqu'il a été constaté que les coupures de courant avaient une influence sur la réponse du capteur.

#### **4.3 CAMPAGNE DE MESURAGES SUR LES SITES DU PLAN DU LAC (2400 M D'ALTITUDE) ET DU BREVENT (STATION A 2500 M D'ALTITUDE)**

Période de la campagne : 19 juin au 25 juillet 2006

Résultat : la courbe de calibrage déterminée sur le site du Plan du lac et appliquée au site du Brévent a conduit à une bonne corrélation des mesures analyseur/microcapteur.

**Ceci a conforté Air APS dans l'idée que la courbe de calibrage varie avec l'altitude, et est donc influencée par un facteur variant avec l'altitude.**



#### 4.4 DETERMINATION DE LA COURBE DE CALIBRAGE

A partir des données brutes que Air APS a transmises à Air Normand, les fonctions de calibrage et les concentrations en ozone ont été recalculées en tenant compte de la température. **La prise en compte de la température mesurée pour le calibrage a sensiblement amélioré la corrélation entre les concentrations issues de l'analyseur et du microcapteur.** Toutefois cette méthode nécessite l'utilisation d'un logiciel particulier.

Il a été également effectué le calcul de la résistance du microcapteur puis des concentrations en ozone, en remplaçant dans l'équation, la température de calibrage prise par défaut à 25°C (température de calibration chez le fabricant) par la température moyenne relevée lors des mesurages. Cela a conduit à diminuer légèrement les écarts entre analyseur et microcapteur mais cette correction ne semble pas indispensable compte tenu des résultats satisfaisants obtenus par calibrage à partir des données de terrain.

#### 4.5 COMPARAISON ENTRE LES MESURES PAR MICROCAPTEURS ET PAR TUBES PASSIFS

Les écarts entre mesures par analyseur et tubes passifs sont de l'ordre de 30-40% (étude menée en Haute-Savoie).

Les écarts entre les mesures par analyseur et par microcapteurs sont <1% de la mesure avec analyseur si le calibrage est effectué en prenant en compte l'ensemble de la période de mesure, et sont compris entre 3 et 18% si le calibrage est basé sur 2 jours de mesurage (mesurages à l'Aiguille du Midi, au Brévent et au Plan du Lac).

**Donc les écarts par rapport à la mesure de l'ozone par analyseur sont beaucoup plus faibles avec les microcapteurs qu'avec les tubes passifs.**

*Note : toutefois il conviendrait de connaître la méthode qui avait été appliquée lors des campagnes avec les tubes passifs et notamment s'il s'agissait de la méthode optimisée par l'EMD).*

#### 4.6 CAMPAGNE DE MESURAGES SUR 5 SITES A DIFFERENTES ALTITUDES

Période de la campagne : du 23 août au 17 septembre 2006.

Pour cette campagne, les microcapteurs ont été alimentés par une batterie afin de s'affranchir d'éventuelles coupures électriques.

Sites : Casset – 1500 m, Chambéry – 250 m, Plan du Lac – 2400 m, Chartreuse – 835 m, Hermillon – 500m.

Il a été recherché s'il existait une corrélation entre les coefficients  $x_0$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  et  $x_3$  de la courbe de calibrage et l'altitude.

**Il a été constaté qu'une relation entre chaque coefficient et l'altitude pouvait être établie.**

## **5. JOURNEE TECHNIQUE SUR LES MICROCAPTEURS DU 12/12/06 ORGANISEE PAR AIR NORMAND**

### **5.1 OBJET DE LA JOURNEE**

Une réunion a été organisée par Air Normand en décembre 2006, dans ses locaux, en vue :

- de présenter des résultats de mesures d'ozone par microcapteurs réalisées par Air Normand et les difficultés rencontrées pour le calibrage des microcapteurs et l'exploitation des données,
- de présenter l'étude d'évaluation des caractéristiques de performances de plusieurs microcapteurs d'ozone en cours de réalisation au JRC par Michel GERBOLES,
- et de discuter avec les personnes présentes, et notamment le fabricant (MiCS), des actions à envisager pour améliorer le dispositif de mesurage et la mise en œuvre des mesures au vu des résultats.

Ont été contactés pour la présente réunion :

- les AASQA qui avaient déjà travaillé sur le sujet ou pris contact avec Air Normand afin d'avoir des informations sur les microcapteurs : Air Normand (M. BOBBIA, V. DELMAS, A. DETOURNAY, M. HAMIDA), ATMO Champagne Ardennes (E. CHRETIEN), AIRPARIF (L. GAUVIN), Air COM (JP. GOGUET), ATMO Rhône-Alpes (D. LORE, E. PROUTEAU, S. SOCQUET), Atmo Auvergne (S. PELLIER). (3 AASQA intéressées par le sujet n'ont pas pu participer à la réunion : Air Breizh, AIRAQ, AIRMARAIX, AIR Pays de la Loire, ASPA, ATMO Poitou Charente) ;
- le fabricant des microcapteurs utilisés par Air Normand : Microchemicals (MiCS),
- le JRC qui réalise actuellement une évaluation de plusieurs microcapteurs (travaux de M. GERBOLES),
- Les participants à l'étude Interreg III en Angleterre qui ont réalisé des mesures par microcapteurs : Sussex Air Quality Steering Group (P. GERVAT, N. JENKINS ), University of Brighton (K. SMALLBONE)
- Le LCSQA-INERIS (LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air) (C. RAVENTOS).

### **5.2 PRESENTATION DU DISPOSITIF DE CALIBRAGE DE AIRNORMAND**

Pour les besoins de ses mesurages, Air Normand a mis au point un banc de calibrage des « modules » (parties sensible de mesure des microcapteurs).

Un ensemble de 26 modules peuvent être calibrés simultanément. Ces modules sont placés sous une cloche dans laquelle il est injecté un mélange d'ozone dont il est possible de faire varier la concentration en ozone et la température.

Le débit d'injection a été optimisé afin d'obtenir une concentration et une température les plus homogènes possible sous la cloche (optimisation à partir d'une simulation numérique avec le logiciel Fluent).

Les modules sont étalonnés à 8 niveaux de concentration entre 0 et environ 200 ppbv d'ozone, et à 8 niveaux de température entre 10-12°C et 35-40°C, soit 64 points d'étalonnage.

### Configuration du banc d'étalonnage :

- Génération des mélanges d'ozone : au moyen d'un générateur TEI 49CPS et d'un générateur d'air zéro ; **les gaz générés sont secs**.

La concentration en ozone est mesurée au centre de la cloche, et quand la disponibilité du matériel le permet également à proximité de sa périphérie.

Par ailleurs le générateur a une autorégulation de la génération d'ozone par mesure de la concentration émise, au niveau de la chambre ; cette mesure a été déportée dans la cloche afin que la régulation de la génération soit effectuée à partir de la concentration mesurée sous la cloche.

La concentration n'étant pas identique en tous points de la cloche, une correction est appliquée pour l'étalonnage de chaque module en fonction de sa position sous la cloche.

- Variation de température du mélange : en amont de la cloche, le mélange passe dans une colonne en verre à double enveloppe ; dans la double enveloppe circule de l'eau dont la température est régulée par un cryothermostat ; l'extérieur de la cloche a également été entouré par un tube dans lequel circule l'eau afin d'atteindre plus facilement la température visée (nécessaire en particulier pour les températures basses).

La température du flux de gaz sous la cloche est mesurée par 3 sondes Pt100 réparties entre le centre et la périphérie de la cloche.

Cette température n'étant pas identique en tous points de la cloche, une correction est appliquée pour l'étalonnage de chaque module en fonction de sa position sous la cloche, la température variant linéairement du centre jusqu'au bord de la cloche (une extrapolation de la température au point de mesurage intermédiaire à partir des valeurs mesurées au centre et sur le bord de la cloche conduit à un résultat identique (à 1°C près) à la valeur mesurée).

- Tension appliquée au niveau du module : le fabricant indiquant que la tension alimentant le module doit être de  $5V \pm 50 \text{ mV}$ , celle-ci est régulée et mesurée afin de s'assurer de sa stabilité et de sa valeur.
- Les scrutations se font toutes les 10 s et il est calculé une moyenne  $\frac{1}{4}$  horaire ; chaque palier [température + niveau d'ozone] a une durée de  $\frac{1}{4}$  d'heure après stabilisation de la concentration et de la température.

### **5.3 CAMPAGNE DE MESURAGES REALISEE PAR AIR NORMAND (MICHEL BOBBIA)**

La poursuite en 2006 des mesurages avec les microcapteurs ozone a été motivée par les résultats encourageants de campagnes de mesurages précédentes et notamment :

- Les résultats obtenus lors de la campagne effectuée à Honfleur en 2003, avec 4 microcapteurs placés sur le même site, qui conduisaient pour les 4 capteurs, à une bonne corrélation avec les résultats de l'analyseur d'ozone à photométrie UV mesurant aux mêmes points : par exemple pour l'un des microcapteurs, l'écart absolu moyen était  $<5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et l'écart relatif  $<9 \%$  ;
- Ceux obtenus sur une station près du Havre où 3 dispositifs de mesurage différents ont été mis en place : analyseur à photométrie UV, DOAS SANOA et microcapteur. Les 3 dispositifs de mesurage ont donné des résultats très

comparables sauf lors de certains pics qui étaient pressentis comme de « faux pics d'ozone », que seul l'analyseur à photométrie UV détectait ; le DOAS et le microcapteur ont donné des réponses comparables sans détection du pic. Ce pic était donc lié à la présence d'un interférent de la mesure d'O<sub>3</sub> par photométrie UV (du mercure probablement) de cette méthode de mesure. L'intérêt du microcapteur dans un tel cas est de pouvoir identifier si un pic d'ozone à priori « anormal » est dû effectivement à la présence d' O<sub>3</sub> ou à celle d'un interférent de l'analyseur, le microcapteur n'étant pas sensible aux mêmes interférents.

Ces résultats ont conduit Air Normand à s'équiper de microcapteurs qui ont été mis en œuvre dans le cadre de l'étude Interreg III « Air Rives Manches – Ozone » (ARMO) : 36 capteurs ont été mis en place en Normandie et 11 outre Manche dans le Sussex.

#### Principe du calibrage, difficultés rencontrées

Le microcapteur délivre un signal en tension correspondant à la mesure d'ozone et un signal de température correspondant à la température ambiante mesurée avec une sonde placée sur le boîtier du capteur.

Pour convertir la tension mesurée en concentration d'ozone, il est nécessaire de calibrer le microcapteur. La fonction de calibrage est de forme polynomiale, de degré 3, et intègre une compensation en température. Le calibrage peut se faire par comparaison aux concentrations mesurées par un analyseur placé en parallèle. En l'absence d'analyseur sur le même site, il est nécessaire de disposer d'un moyen de calibrage. D'où la mise en place du banc de calibrage décrit au §2.

Le calibrage est effectué en faisant varier la concentration en ozone et la température ambiante, ce qui conduit à un étalonnage en 64 points. Ces 64 points permettent de définir les coefficients de la fonction de calibrage (équation d'ordre 3). Entre 2 points de test, la concentration en ozone est déterminée par interpolation.

La limite du mode opératoire de calibrage est que lorsque la tension mesurée est en dehors des plages de variation utilisées pour la calibrage, il est nécessaire de faire une extrapolation. Ceci peut toutefois conduire à un biais important compte tenu du fait que la fonction de calibrage est polynomiale.

Les problèmes rencontrés pendant la campagne en 2006 ont été les suivants :

- Le manque de disponibilité du générateur d'ozone ;
- La difficulté à générer les températures basses ;
- L'homogénéité sous la cloche :
  - En température : de plus, outre la difficulté à obtenir des températures homogènes sous la cloche, les températures les plus élevées ne sont pas toujours observées au centre ou au bord de la cloche : cela est fonction du niveau de température.

Il a également été constaté un écart de température entre les sondes placées sous la cloche et la sonde des boîtiers du capteur. L'écart étant variable d'un boîtier à l'autre. (Il sera effectué des tests avec plusieurs boîtiers afin de déterminer si cet écart a une influence significative sur la valeur de la concentration en ozone).

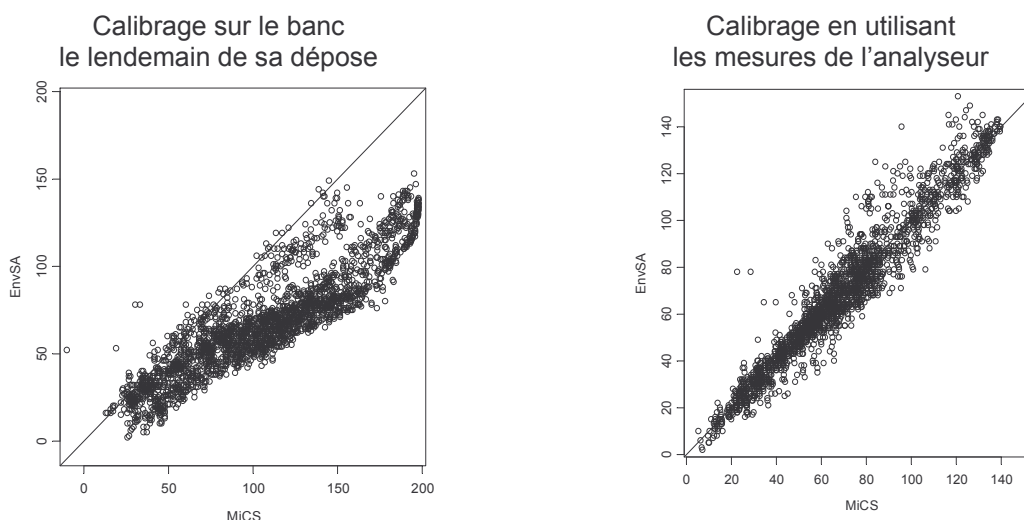
MiCS avait transmis à Air Normand des droites d'étalonnage de plusieurs sondes, qui montraient une bonne reproductibilité. Mais il s'agissait de

données fournies par le fabricant des sondes, avant montage dans le boîtier. La question se pose de savoir si l'encollage de la sonde au niveau du boîtier peut expliquer ce biais.

- En concentration en ozone : la concentration diminue du centre vers le bord, et elle est plus instable sur le bord. Une relation entre la variation de concentration et la position sous la cloche a été établie pour tenir compte de cette inhomogénéité.
- Valeur et stabilité de la tension d'alimentation des modules : afin de garantir une tension d'alimentation conforme aux spécifications du fabricant, l'alimentation est régulée, ce qui permet d'obtenir une tension de  $5\text{ V} \pm 5\text{-}7\text{ mV}$ . Il a été demandé au fabricant si la valeur de la tension pouvait avoir une influence sur la réponse du microcapteur. MiCS répond que ce qui importe est davantage la stabilité de l'alimentation que sa valeur absolue.

### Présentation d'exemples de résultats de mesurage

- Il est comparé les graphes présentant la confrontation mesures analyseurs Environnement SA /mesures microcapteur MiCS, avec calibrage de celui-ci sur le banc de calibrage d'une part (le lendemain de sa dépose) et calibrage en utilisant les concentrations mesurées par l'analyseur d'autre part.



Quand le microcapteur est calibré sur le banc de calibrage, le graphe montre un biais des valeurs données par le microcapteur par rapport aux concentrations mesurées par l'analyseur, avec des dépassements de seuils d'alerte horaire alors que l'analyseur n'en détecte pas.

Si la fonction de calibrage est déterminée à partir des mesures de l'analyseur, il n'y a plus d'écart entre les concentrations microcapteur/analyseur.

Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'avec les mesures sur site, la méthode d'ajustement intègre la dérive du microcapteur et les effets des interférents comme l'humidité ou des oxydants.

La question s'est posée de savoir si l'ajustement avec les données de site n'était pas meilleur en raison du plus grand nombre de points pris en compte. L'ajustement a donc été refait en ne prenant, parmi les conditions de site, que celles qui sont reproduites sur le banc de calibrage : **le calibrage à partir des concentrations mesurées par un analyseur placé en parallèle sur le site reste toujours meilleur que celle avec le banc de calibrage.**

- Il est comparé sur un graphe, les courbes de corrélation (polynômes) entre les mesures effectuées par analyseur par photométrie UV et par microcapteur, pour 2 calibrages du module à 2 dates différentes : le 13/06/06 puis le 18/08/06. Entre les 2 calibrages, le capteur a été utilisé sur site. On constate un écart important entre les 2 courbes.

N. MOSER (MiCS) demande si le microcapteur était neuf le 13 juin. Car plus le capteur est « vieux », plus il a tendance à se stabiliser.

C'est aussi ce que semble montrer le graphe suivant qui compare les courbes de calibration du 13/06, du 18/08 et du 29/09/06. Les courbes du 18/08 et du 29/09/06 sont plus proches l'une de l'autre.

Cet aspect avait déjà été constaté lors de la campagne de mesures organisée par le LCSQA en 2002.

N. MOSER (MiCS) précise également que **si le capteur est arrêté plusieurs mois, même s'il a déjà été utilisé, il aura besoin d'un temps de « réactivation » lors de sa remise en service.**

Conclusion sur les résultats de la campagne de mesurages effectuée en 2006 : sur les 30 points de mesurage côté Normandie, 5 étaient équipés d'un analyseur. L'application de la fonction de calibrage déterminée avec le banc de calibrage conduit à des résultats parfois très différents pour des sites proches et/ou de même type ; **les résultats en l'état sont aujourd'hui difficilement exploitables**, compte tenu du fait que tous les points de mesurage ne disposaient pas d'un analyseur en parallèle, ce qui ne permet pas de disposer de doublons de mesure pour interpréter les écarts.

#### **5.4 ESSAIS REALISES AU JRC (MICHEL GERBOLES)**

M. GERBOLES a été contacté par Air Normand (M. BOBBIA) il y a une dizaine de mois, suite à l'étude qu'il avait lancée pour tester des microcapteurs d'ozone. Son laboratoire au JRC (Ispra) valide des méthodes alternatives par rapport aux méthodes de référence, et il a été considéré que compte tenu des évolutions de la technique des microcapteurs depuis les 10 dernières années, il serait intéressant de valider cette technique de mesurage.

Il a donc recherché les microcapteurs d'ozone disponibles sur le marché auxquels **a été appliqué le guide européen « Demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods »**, qui décrit la procédure à suivre pour démontrer l'équivalence d'une méthode candidate (ici le mesurage par microcapteur) par rapport à la méthode de référence. La démonstration de l'équivalence implique la détermination préalable des caractéristiques de performance de la méthode candidate.

**L'évaluation des microcapteurs permettra de définir si cette technique peut être utilisée comme méthode indicative ou comme méthode de référence** (la Directive 2002/3/CE relative à la mesure d'ozone fixe comme objectifs de qualité de la mesure des seuils d'incertitude de mesure de 15% pour les mesures en continu selon la méthode de référence, et de 30% pour les mesures indicatives).



### Intérêts de l'utilisation de microcapteurs :

- Surveillance de la qualité de l'air ambiant pour s'assurer du respect des valeurs limites fixées dans les Directives européennes ;
- Cartographie : possibilité de multiplier les points de mesurage en raison d'un coût beaucoup plus faible que le mesurage par analyseur à photométrie UV. Par rapport aux tubes à diffusion, les microcapteurs présentent l'avantage de fournir des résultats avec un pas de temps plus faible ; ce dernier point est particulièrement intéressant pour la mesure d'ozone dont les concentrations varient au cours de la journée ;
- Validation de modèles prévisionnels ;
- Surveillance de l'exposition de la population grâce à la taille du dispositif de mesurage qui le rend portable et le fonctionnement sur batterie ;
- Surveillance en forêt, en zone rurale ou en zone agricole : du fait de l'autonomie des microcapteurs qui peuvent être alimentés par batterie.

### Les performances recherchées :

Pour la surveillance de la qualité de l'air :

- Un niveau d'incertitude permettant d'utiliser les microcapteurs comme méthode équivalente à la méthode de référence si l'incertitude respecte le seuil de 15% ou comme méthode indicative si l'incertitude respecte le seuil de 30% ;
- Une dynamique de réponse permettant d'intégrer les mesurages sur une période conforme aux préconisations réglementaires : par exemple en France, mesures quart-horaire ;
- Un enregistrement ou une transmission des données par exemple par radio, GPRS ou mémoire tampon ;
- Une référence temporelle (horloge) ;
- Un prix permettant de multiplier les points de mesurage.

Pour la surveillance de l'exposition : des dimensions et un poids rendant le dispositif portable, une autonomie de fonctionnement sur batterie, et éventuellement la possibilité d'identifier la position géographique du porteur du dispositif.

### Les dispositifs testés :

Cinq microcapteurs devaient être testés ; les 4 premiers de la liste ci-dessous sont de type semi-conducteur, le dernier de type électrochimique :

- SENS 3000 de UNITEC (fabricant italien),
- SERIES 940 de AEROQUAL (fabricant néo-zélandais),
- OMC2 de MiCS (fabricant suisse – microcapteurs actuellement utilisés par Air Normand),
- MSGS3003 de SILSENS (fabricant suisse),
- O3E1 de SENSORIC (fabricant allemand).

Le microcapteur de SILSENS n'est finalement pas évalué par manque d'éléments fournis par le fabricant.

(Des fiches de présentation de ces produits sont données en annexe).

### Programme d'essais :

Les essais portent sur la détermination des caractéristiques de performance suivantes :

- Durée de préchauffage,
- Temps de réponse,
- Limites de détection et de quantification,
- Réponse à des échelons de concentration,
- Linéarité entre 0 et 3000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
- Répétabilité et reproductibilité sur des jours différents et sur 2 microcapteurs par modèle,
- Hystérésis,
- Dérive et délai maximum entre 2 étalonnages,
- Influence de la température du gaz,
- Influence de la tension électrique d'alimentation
- Influence de l'humidité et de variations brusques d'humidité (effet d'une pluie),
- Influence des interférents : composés oxydants et en particulier le  $\text{NO}_2$ ,
- Saturation en présence d'ozone et en présence d'interférents.

### Les premiers résultats sont les suivants :

- Durée de préchauffage :

La mise en œuvre de cet essai nécessite des conditions stables dans la chambre d'exposition afin que des variations ne soient pas imputables aux conditions environnementales mais bien au microcapteur en lui-même.

Conditions de test : concentration ozone :  $\approx 98$  ppm ; humidité relative :  $\approx 65\%$  ; température des gaz :  $\approx 22^\circ\text{C}$ .

Selon les capteurs, la durée nécessaire pour que la stabilité soit atteinte varie de moins d'1h à plusieurs heures (>14h).

- Temps de réponse :

Le temps de réponse a été testé avec un échelon (ou palier) d'ozone de 0 à 65 ppb, mais cette situation ne correspond pas à la réalité du terrain car il y a toujours de l'ozone dans l'air. Le test a été refait avec un échelon d'ozone de quelques ppb à 65 ppb.

Le deuxième essai conduit à des temps de réponse plus courts. **Ceci est lié au fait que les microcapteurs ont une certaine inertie après une exposition à un gaz sans ozone.**

- Effet de l'humidité :

Le test a été réalisé à 700 ppb d'ozone, à une température de  $25^\circ\text{C}$  et pour des paliers d'humidité relative de 55, 45, 38 et 25%, en veillant à garder la concentration en  $\text{O}_3$  constante.

**Certains capteurs montrent une forte sensibilité à la teneur en vapeur d'eau et leur réponse suit les variations de l'humidité.**

Toutefois M. GERBOLES fait remarquer que dans les conditions de terrain, la matrice est beaucoup plus complexe et qu'on peut supposer que la présence d'autres composés conduit à un effet moins marqué de l'humidité.

Avancement du travail : actuellement le traitement des données est en cours ; il est envisagé de réaliser des essais complémentaires.

#### Echanges :

Il est demandé si l'influence de la pression a été évaluée.

Réponse : au cours des essais, la pression différentielle entre la chambre d'exposition et l'air ambiant est mesurée, mais il n'est pas effectué de variation de pression.

Constat lors des essais réalisés par AAPS (Emilie Prouteau) avec des capteurs MiCS : il a été observé des variations de réponse des microcapteurs en fonction de l'altitude, avec une corrélation entre les coefficients d'étalonnage (*la fonction de calibrage est un polynôme de degré 3 avec 4 coefficients*) et l'altitude. Plusieurs paramètres ont été identifiés comme pouvant avoir une influence : notamment la pression et la teneur en oxygène liées à l'altitude.

N. MOSER (MiCS) pense que ces variations sont davantage dues aux variations d'oxygène qu'à celles de la pression.

### **5.5 CAMPAGNE DE MESURAGE EFFECTUEE PAR AIR APS**

*Il n'avait pas été prévu de présentation, mais les principales conclusions à l'étude présentée au chapitre 4 du présent rapport sont apportées lors de la réunion par E. PROUTEAU :*

- Le calibrage des modules a été effectuée sur le terrain par comparaison aux concentrations mesurées par un analyseur à photométrie UV. Les fonctions de calibrage ont été déterminées sur la base de comparaisons pendant 2 jours et utilisées pendant environ 15 jours.

Mais dès que le module était changé de site, il était constaté que la fonction de calibrage n'était plus applicable, donc plus valable quand les conditions environnementales et/ou le niveau de concentration varient par rapport aux conditions de la phase de calibrage.

- Après constat de l'effet d'une coupure de courant sur le microcapteur, à savoir une modification des coefficients de calibrage, les microcapteurs ont été alimentés avec des batteries 12V (batterie voiture), **afin de ne jamais les débrancher même pendant le déplacement d'un site à l'autre, et de les maintenir « chauds », ce qui améliore nettement les résultats.**
- **Il a été constaté que la réponse des capteurs variait avec l'altitude.** Une corrélation entre les coefficients de la fonction de calibrage et l'altitude a été établie ; cette fonction varie d'un module à l'autre.

N. MOSER (MiCS) pense que cette variation de la réponse est liée à la sensibilité du capteur à la teneur en oxygène, plus qu'à la pression.

M. GERBOLES fait remarquer que la pression est un paramètre important dans la loi de Fick.

## 5.6 ECHANGES

### 5.6.1 PRESENTATION DU NOUVEAU MICROCAPTEUR DEVELOPPE PAR MiCS : OMC3

- Les différences des nouveaux modules par rapport aux modules OMC2 sont les suivantes :
  - Le module microcapteur intègre : un double capteur d'ozone (l'un est dédié au mesurage, l'autre permet de prendre en compte la dérive du capteur), un capteur de température, un capteur d'humidité ;
  - Le boîtier du capteur intègre un régulateur de tension ;
  - La concentration est directement donnée en ozone ;
  - Le module électronique dispose d'une « intelligence » intégrée ;
  - Le boîtier est équipé d'une batterie qui lui laisse une certaine autonomie ; il est toutefois nécessaire de disposer de secteur pour recharger la batterie ou d'un second boîtier en remplacement le temps de la recharge ;
  - Les données sont stockées en mémoire et peuvent être récupérées par une liaison radio.
- Comme sur la version précédente il sera possible de ne changer que le module ; il sera aussi possible de changer la batterie.
- **Le calibrage sera effectué en faisant varier la concentration en ozone, la teneur en humidité** (variation de 5 à 35% Hr) **et la température.**

Ce qui signifie que le calibrage tel qu'effectué aujourd'hui par Air Normand ou à partir des données de terrain ne pourra pas se faire sur la version OMC3, une variation de la teneur en humidité étant nécessaire. Il sera toutefois nécessaire d'établir une corrélation avec un analyseur sur site en 1 ou 2 points pour "caler" l'offset du microcapteur.

**Compte tenu de la nécessité d'effectuer le calibrage sur des capteurs qui ont déjà fonctionné, des microcapteurs destinés aux nouveaux modules sont en cours de "vieillessement" chez MiCS.**

- Le capteur sera commercialisé sous 2 versions : 1 version "grand public" qui donne un histogramme de la tendance en O<sub>3</sub>, et une version "réseau" dédiée au mesurage.
- Il est demandé si la version OMC3 sera de type "boite noire" ou si le soft sera plus ouvert que sur la version précédente. Cela paraît important que le soft soit accessible au stade de validation du produit. N. MOSER répond que le système sera plus ouvert si c'est le besoin des clients.
- Coût annoncé : environ 900€HT.

### 5.6.2 DISCUSSIONS, ACTIONS/ETUDES FUTURES

- Interférence de l'humidité:

N. MOSER (MiCS) souligne que lorsque la calibration est effectuée en air sec, il s'agit de conditions que le microcapteur ne rencontre jamais en air ambiant. Les mêmes constats que ceux observés par M. GERBOLES ont été faits chez MiCS à savoir une forte sensibilité de la couche sensible du microcapteur aux variations d'humidité ambiante. Une perturbation importante de la réponse du

capteur est en particulier observée quand la température ne varie pas et que seule l'humidité change (condition d'orage).

M. BOBBIA prévoit de tester des calibrages en air humide.

- Calibrage : en laboratoire ou sur site ?

N. MOSER a observé chez MiCS que le calibrage en laboratoire n'était pas idéale ; il est préférable de faire un calibrage sur site par comparaison à un analyseur.

M. BOBBIA souligne que la limite du calibrage sur site est que dans le cas d'une faible variation des conditions de température et concentration en ozone pendant le calibrage, il sera nécessaire de faire une extrapolation pour les conditions qui ne rentreront pas dans ces intervalles de variation ; ceci peut conduire à un biais important compte tenu de la forme polynomiale de la fonction de calibrage.

N. MOSER (MiCS) suggère que **si l'objectif de l'utilisation des microcapteurs est la mesure indicative**, de faire la calibrage de plusieurs capteurs, par comparaison à un analyseur, sur un même site et de les utiliser ensuite sur d'autres sites présentant sensiblement les mêmes conditions environnementales.

L'idée apparaît intéressante aux participants ; un plan d'expérience est à élaborer pour la tester.

Comme ce qui avait été observé dans l'étude LCSQA de 2002, les premières courbes de calibrages sont différentes les unes des autres, puis convergent après plusieurs calibrages. Il serait donc préférable de laisser les microcapteurs en fonctionnement, même en hiver quand il n'est pas réalisé de mesure.

- Test de la version OMC3 :

MiCS ne commercialisera plus le système OMC2 quand la nouvelle version sera diffusée.

M. GERBOLES souligne le problème que pose la sortie de la nouvelle version du capteur alors que le programme de validation de la version de l'OMC2, qui ne va plus être vendu, va juste se terminer.

Il faudrait montrer que la version OMC3 est équivalente à la précédente.

Il apparaît nécessaire aux participants de faire des comparaisons sur site des deux versions. S'il est montré que les 2 versions sur site donnent des résultats équivalents, les essais effectués au JRC sur la version OMC2 permettront de statuer sur les 2 modèles : équivalence à la méthode de référence ou équivalence à une méthode indicative.

Il est demandé si le fabricant pourra mettre à disposition des microcapteurs OMC3, comme cela avait été fait pour le capteur OMC2. Ces microcapteurs pourraient être mis en œuvre notamment lors de la campagne Interreg III de 2007.

Pour les tests sur site, il sera nécessaire, au vu des résultats de Air APS, de prévoir une alimentation des microcapteurs (OMC2) en continu.

- Tour de table pour connaître l'avis et les projets des AASQA présentes en termes d'utilisation des microcapteurs

S. SOCQUET (Atmo Rhône-Alpes – ASCOPARG) : il est prévu un projet régional de cartographie pour l'été 2007. Il est envisagé d'utiliser des microcapteurs (30<sup>taine</sup> de points max) et la journée devait être l'occasion de savoir vers quels produits s'orienter. Des contacts ont été pris avec l'école Polytechnique de Lausanne qui a testé des capteurs météo, et est en train de tester des réseaux de capteurs ; pour la mesure d'O<sub>3</sub>, ce sont des capteurs MiCS qui sont utilisés. Compte tenu de ce qui a été exposé se pose la question du choix des microcapteurs.

E. CHRETIEN (Atmo Champagne Ardennes) : l'achat d'une dizaine de capteurs d'ozone est envisagé pour 2007. Le mesurage par microcapteurs est notamment prévu dans le PSQA (Plan de Surveillance de la Qualité de l'Air). Ceci en vue notamment de mesurer l'ozone dans des zones non instrumentées actuellement. La question va se poser du choix du microcapteurs. Des tests de comparaison entre version OMC2 et version OMC3 est souhaitée.

L. GAUVIN (AIRPARIF) : jusqu'à présent Airparif n'avait pas souhaité utiliser les microcapteurs mais si le produit s'oriente vers une version qui donne directement une concentration en O<sub>3</sub>, cela paraît plus intéressant. Airparif a testé des capteurs UNITEC, mais le dispositif reste relativement encombrant (partie électronique volumineuse) et l'alimentation secteur limite leur utilisation. Ces capteurs travaillent en dynamique (pompage) ; mesures de CO, NO<sub>2</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, O<sub>3</sub>.

M. GERBOLES précise que UNITEC propose maintenant une cellule d'étalonnage, et que le système est en cours de validation au CNR à Rome (Consiglio Nazionale delle Ricerche ; a l'autorité pour délivrer l'équivalence de méthode en Italie).

D'autres AASQA qui n'ont pu être représentées pour la réunion sont intéressées par l'utilisation de microcapteurs notamment l'ASPA, Air Pays de la Loire et AIRMARAIX.

**L'intérêt des AASQA pour ce type de dispositif est de pouvoir réaliser des mesures d'O<sub>3</sub> en zone rurale où il n'est pas toujours possible de disposer d'une station ni même de courant.**

- Conclusion sur les actions à venir :

- N. MOSER doit transmettre les possibilités de prêts de microcapteurs OMC3 afin de les tester sur des sites, en parallèle avec des capteurs OMC2.
- N. MOSER propose à M. BOBBIA de formaliser les difficultés rencontrées et de le transmettre à MiCS.
- Air Normand dispose de nombreuses données de site qu'il semble nécessaire d'exploiter pour pouvoir bâtir un plan d'expérience, en vue d'optimiser les mesurages qui seront réalisés en 2007.
- Il est demandé si des travaux sont prévus au LCSQA en 2007. C. RAVENTOS répond que pour 2007 il n'est pas prévu d'essais. En revanche il sera effectué un suivi des travaux qui seront réalisés par les AASQA et une veille technologique.



Au besoin, la coordination ou l'organisation de réunion(s) peut être prise en charge. Pour 2008, il est demandé que le LCSQA prévoient des travaux. Il conviendra de définir un programme et donc les besoins des utilisateurs (AASQA).

## **6. CONCLUSION**

### **Des conclusions communes des différentes campagnes de mesurage avec les capteurs OMC2 :**

- Nécessité du vieillissement des capteurs : on constate que la courbe de calibrage se stabilise au cours du temps.

Tout capteur de gaz fabriqué par des techniques « couches minces », même s'il est sensible dès le départ, nécessite une période de fonctionnement à chaud pour obtenir ses performances optimales. Cette période de recuit correspond à un réarrangement de la structure cristalline de la couche. Au cours du temps nécessaire à ce recuit, les performances du capteur ne sont pas stables.

Il en résulte que la fonction de calibrage qui varie au début de la vie du capteur se stabilise ensuite.

- Surestimation de la température mesurée par le microcapteur : cette surestimation a été observée à la fois en station et sur le banc de calibrage de Air Normand.

La comparaison d'un calibrage en tenant compte de la température mesurée en station et de la température mesurée par le microcapteur montre que la corrélation entre les mesures d'ozone par analyseur et par microcapteur est meilleure quand la température prise en compte est celle du microcapteur ; ce qui signifie qu'en cas de calibrage en laboratoire comme effectuée à Air Normand, il convient de corriger le biais de température pour ramener la température sous la cloche à celle spécifiquement indiquée par le capteur en test.

- Sensibilité des microcapteurs à l'humidité : en présence d'une forte humidité, il a été constaté que le capteur sous-estimait la concentration ozone. Il a été émis l'hypothèse dans l'étude LCSQA de 2002, que de l'eau pouvait condenser sur la membrane protégeant le capteur, empêchant l'ozone de diffuser à travers celle-ci. Par ailleurs il est à noter que le calibrage effectué en air sec n'est pas approprié, puisque qu'il ne correspond pas aux conditions de mesure en air ambiant.

### **Autres résultats importants issus des campagnes de mesures :**

- Les microcapteurs ne supportant en général pas de travailler sur de longues périodes en air sec, il convient d'effectuer les calibrages des microcapteurs avec une génération d'ozone en air humide.
- Les microcapteurs OMC2 ne sont pas sensibles au NO ; la comparaison des réponses en présence d'O<sub>3</sub> seul, en présence de NO<sub>2</sub> seul et en présence d'O<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub> laisse supposer un phénomène d'adsorption compétitive favorable à l'O<sub>3</sub>.
- Le calibrage à partir de données de site, par comparaison des mesures avec celles d'un analyseur placé en parallèle, conduit à une meilleure corrélation qu'un calibrage en laboratoire.

En outre, la corrélation des mesures analyseur/microcapteur est meilleure quand la fonction de calibrage utilisée est déterminée sur le même site que celui où sont effectuées les mesures, que sur un site différent.

Le calibrage sur site est limité dans le cas d'une faible variation des conditions de température et concentration en ozone : dans ce cas il sera alors nécessaire de faire une extrapolation pour les conditions qui ne rentreront pas dans ces intervalles de variation ; ceci peut conduire à un biais important compte tenu de la forme polynomiale de la fonction de calibrage.

- Un calibrage sur la base des mesures réalisées en parallèle avec un analyseur pendant 2 jours a permis d'obtenir une fonction de calibrage valide au moins pendant 15 jours lors des essais menés par Air APS (il n'a pas pu être testé de période plus longue).
- Il semblerait que la réponse du capteur change après un arrêt prolongé du capteur, et qu'il est donc nécessaire de ne pas débrancher le microcapteur pour que la courbe de calibrage reste valide ; une alimentation sur batterie peut remédier à ce problème, notamment quand le capteur doit être déplacé.
- La comparaison des écarts de mesurage entre microcapteur et analyseur d'une part et entre les mesures avec tubes passifs et analyseur d'autre part montre des écarts moins importants avec les microcapteurs.
- Il a été constaté que la réponse des capteurs variait avec l'altitude. Une corrélation entre les coefficients de la fonction de calibrage et l'altitude a été établie lors des campagnes menées par Air APS ; cette corrélation varie d'un module à l'autre. Le fabricant pense que cette variation de la réponse est liée à la sensibilité du capteur à la teneur en oxygène, plus qu'à la pression.

### **Evaluation des caractéristiques de performance de microcapteurs d'ozone**

Une évaluation de plusieurs microcapteurs d'ozone, dont le capteur OMC2 qui a été utilisé en AASQA, est actuellement en cours au JRC (Ispra).

L'objectif de l'évaluation est de définir si cette technique peut être utilisée comme méthode indicative ou comme méthode de référence (la Directive 2002/3/CE relative à la mesure d'ozone fixe comme objectifs de qualité de la mesure des seuils d'incertitude de mesure de 15% pour les mesures en continu selon la méthode de référence, et de 30% pour les mesures indicatives).

### **Nouvelle version du microcapteur d'ozone de MiCS**

MiCS prévoit de commercialiser très prochainement la nouvelle version du microcapteur : version OMC3.

Compte tenu des modifications apportées par rapport à la version OMC2, une évaluation serait également nécessaire pour cette version afin de déterminer si le capteur est équivalent à la méthode de référence ou peut être utilisé comme méthode indicative.

Une autre solution serait de le comparer sur site avec les capteurs OMC2, en cours d'évaluation au JRC, et de le valider ainsi par comparaison à l'OMC2.

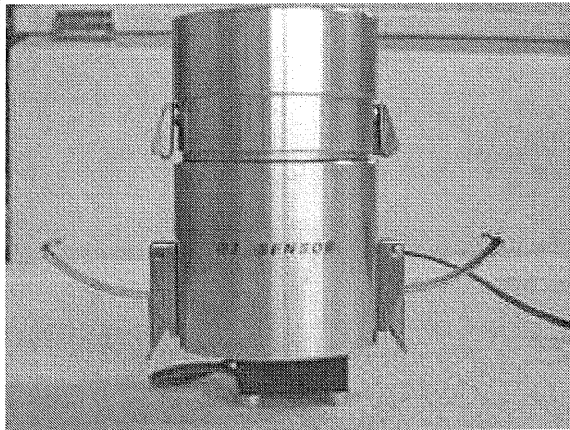
Une réponse du fabricant est attendue quant au prêt de capteurs OMC3 pour des tests en stations par des AASQA.

## **7. LISTE DES ANNEXES**

<b>Repère</b>	<b>Désignation</b>	<b>Nombre de pages</b>
Annexe 1	Fiches de renseignements des fabricants sur les microcapteurs testés au JRC	12

# SENS3000

## ENVIRONMENTAL SENSORS



### APPLICAZIONI

Misure di **CO**- **NO<sub>2</sub>** - **NO<sub>x</sub>** - **O<sub>3</sub>** - **C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>** per monitoraggio della qualità dell'aria

### CARATTERISTICHE

Sensore allo stato solido con tecnologia a film spesso

Custodia in alluminio anodizzato

### Range di misura :

**CO:** 0-100 mg/m<sup>3</sup>

**NO<sub>2</sub>:** 0-500 µg/m<sup>3</sup>

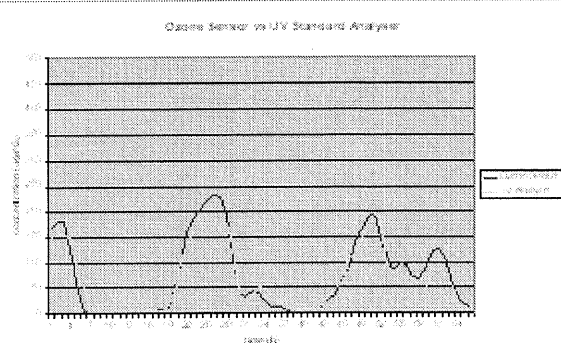
**O<sub>3</sub>:** 20-500 µg/m<sup>3</sup>

**NO<sub>x</sub>** 0-500 µg/m<sup>3</sup>

**C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>** 0-100 µg/m<sup>3</sup>

<b><u>Alimentazione:</u></b>	+12 Vcc (150mA), - 12Vcc,
<b><u>Uscita analogica:</u></b>	0 5 Vcc (non lineare)
<b><u>Precisione:</u></b>	<1% F.S.

Ogni cella è dotata di un sensore per la misura di uno dei seguenti inquinanti: **CO**, **NO<sub>2</sub>**, **NO<sub>x</sub>**, **O<sub>3</sub>** e **C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>** la superficie sensibile al gas da rilevare è un ossido semiconduttore composto da particelle della dimensione di circa 200 µm. la prima reazione che si verifica sulla superficie del sensore è l'assorbimento dell'ossigeno atmosferico ed il conseguente trasferimento di carica dal semiconduttore alla molecola di ossigeno. la seconda reazione interessa direttamente il gas da analizzare, il quale legandosi alla molecola di ossigeno permette il rilascio degli elettroni nella banda di conduzione del semiconduttore. Prelevando il segnale di tensione ai capi del sensore si ha quindi una misura diretta della concentrazione del gas in aria ambiente. la selettività e la precisione sono garantite dall'utilizzo di specifici ossidi semiconduttori con appropriati droganti ed eventuali filtri. il segnale analogico in uscita del sensore deve essere convertito in concentrazione utilizzando una funzione nota.



## Series 940 & 945

### Transmitter / Controller

#### Specification

##### Base Unit

- Allows active sampling through a Teflon tube employing a vacuum pump
- Provides water ingress protection
- Allows remote sampling from inaccessible areas (eg. Controlled Atmosphere environments)
- Improved performance in pressure and flow fluctuating environments

##### Typical application

Short distance remote monitoring for:-

- Low Oxygen environments (3-5% O<sub>2</sub>)
- Indoor air quality – duct sampling
- Filtered air sampling

Power (user supplied)

24VDC, 500mA (range 22-26 VDC)

Analogue output

4-20 mA (opto-isolated), 12-24 V

External signal type

Transistor Output

External signals

4

External signal functions

Low Alarm, High Alarm, Control & Diagnostics (Optional)

LED Display

Inputs

Standby toggle

Communication

RS485

Jumpers

J1, J2, J3 termination resistors

Connectors

Screw

ID

1 (Default)

User configurable from 1 - 255

Alarm set points (2)

User configurable

Control set point

User configurable

RS485 protocol

Aeroqual proprietary product

Removable / replaceable sensor head

Yes

Sampling Pump

12VDC, long life, brushless, diaphragm pump

Enclosure rating

IP41 & NEMA 2 equivalent

Enclosure size

230W x 140H x 95D (mm); 9"W x 5½"H x 3¾"D (in)

Enclosure casing

Fibre reinforced polycarbonate

Weight

< 1100 g; < 1 lb 3 oz

Approvals

Part 15 of the FCC Rules

EN 50082-1: 1997

EN 50081-1: 1992

Temperature and Humidity Sensors (for Series 945 only)	Accuracy	Resolution	Range
Temperature	± 0.3 [K] @ 25°C	0.04 min resolution	range -40°C to 124°C
Humidity	±1.8% RH	0.4 min resolution	range 0 – 100%



Example: Series 940 Ozone Monitor  
(Format differs dependent on gas)

## Ozone Sensor Head Specifications

Sensor Heads	Low	High	Leak
Measurement range	0.000 - 0.500 ppm	0.50 - 20.00 ppm	0.00 - 50.00 ppm
Accuracy	< 0.008 ppm (0 - 0.100 ppm) ± 10% (0.100 - 0.500 ppm)	± 10% (0.20 - 2.00 ppm) ± 15% (2.00 - 20.00 ppm)	± 20%, 15 seconds after Reset
Resolution	0.001 ppm	0.01 ppm	0.01 ppm
Controlled Atmosphere Version	Available on Request	Available on Request	Available on Request
T90 Response	< 60 seconds (T90)	< 35 seconds (T90)	< 10 seconds
Sensor type	Gas-sensitive semiconductor		
Operating temperature range	-5°C to 50°C; 23°F to 122°F (sensor head and base unit)		
Relative humidity limit	95% maximum (sensor head and base unit)		

## VOC Sensor Head Specification \*

Measurement range	0 to 400 ppm toluene
Accuracy	< +/- 10 ppm (0 - 200 ppm) < +/- 10% (> 200 ppm)
T90 response	< 60 s
Sensor type	Gas-sensitive semiconductor
Operating temperature range	-20°C to 60°C
Operating relative humidity range	5 to 95% non-condensating

\* Specific Calibrations to other VOC's available – contact Aeroqual Sales

## Ammonia Sensor Head Specification

Measurement range	0 to 1000 ppm
Accuracy	< +/- 5 ppm (0 - 100 ppm) < +/- 10% (100 - 1000 ppm)
T90 response	< 60 s
Sensor type	Gas-sensitive semiconductor
Operating temperature range	-20°C to 60°C;
Operating relative humidity range	5 to 95% non-condensating

## CO Sensor Head Specification

Measurement range	0 to 2000 ppm carbon monoxide
Accuracy	< +/- 10 ppm in the range 0 to 400 ppm
T90 response	< 150s
Sensor type	Gas-sensitive semiconductor
Operating temperature range	0°C to 70°C;
Operating relative humidity range	5 to 95% non-condensating
Approvals	UL 2034, BS 7860





an ISO/TS 16949 Company

[Home](#)

[Company](#)

[Products](#)

[Technology](#)

[Careers](#)

#### Automotive AQS

- [AQS principle](#)
- [CO/NOx dual sensor](#)
- [AQS modules](#)

#### Other applications

- [Ozone](#)
- [NO2](#)
- [Ethanol/VOC](#)
- [CO/HC](#)

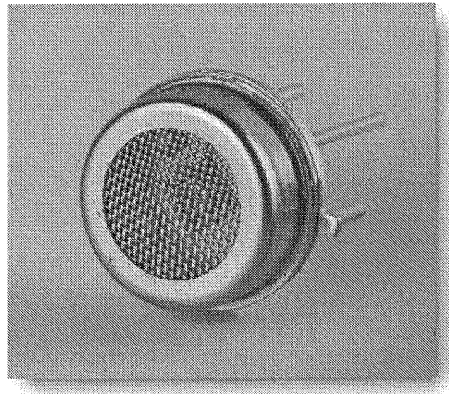
#### Gas sensing applications

- [OEM solutions](#)

#### Product overview

- [Product table](#)
- [Ordering samples!](#)

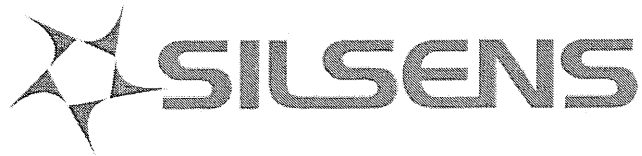
## Ozone sensors



#### MiCS 2610 ozone sensor

Ozone is used, because of its oxidizing properties, in a variety of applications to clean and decontaminate air and water. These applications include water treatment, air purification in smoky environments, and home air cleaners. Since ozone is hazardous to human health, its concentration needs to be monitored so that it does not exceed around 0.1 ppm in livable spaces. MiCS 2610 is highly responsive to ozone and robust enough to be used in industrial devices.

Please contact us if you would like a data sheet ([click here](#)).



## Product data Sheet

### Micro Semiconductor Gas Sensor MSGS 3000 Monosensor MSGS 4000 Multisensor

#### Sensor description

■ Miniaturized semiconductor gas sensors are manufactured using standard microelectronic technology and silicon micromachining techniques (Patent N° 8706635 - FR 2 615 287).

■ The sensitive element consists of a semiconducting metal oxide layer. The

measurement of specific oxidizing or reducing gases is based on a reversible conductivity change of the sensing element at an appropriate working temperature.

■ The thin semiconducting metal oxide layer is deposited on an integrated heater. The sensitive area of the device is thermally insulated from the silicon

substrate to minimize electrical power consumption. The gas selectivity of these sensors has been improved by superficial or bulk doping of the semiconducting metal oxide with metal catalysts, and by selecting an appropriate working temperature. Moreover, the use of filters and membranes improves the selectivity of the gas sensors as well as their long term stability.

#### Main advantages

- Reproducibility
- Small size
- Low power consumption
- Low cost

■ Besides the obvious advantages of producing the gas sensor elements in batch fabrication processes (cost,

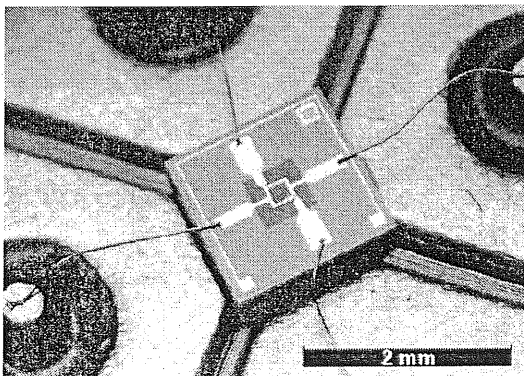
reproducibility), further advantages of using miniaturized semiconductor gas sensors are related to the ensuing low heating power consumption and accurate control of the operating temperature.

The substrate geometry and the materials used guarantee the necessary thermomechanical stability and isolating properties.

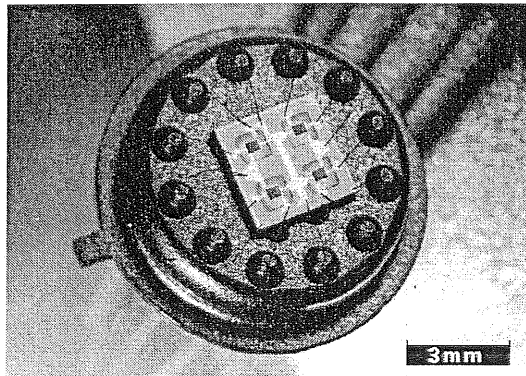
■ The reproducibility of the gas sensor is mainly due to the technology used and the reproducible deposition of the thin film sensitive layers.

■ The low power consumption of the sensor is an important advantage for portable system applications.

MSGS 3000 Gas sensor mounted on a standard TO type package



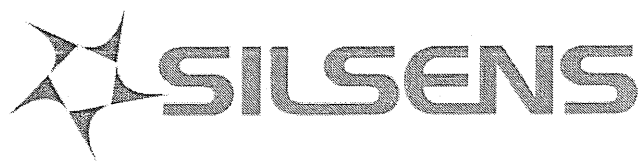
MSGS 4000 Multisensor mounted on a standard TO-5 package



Silsens SA

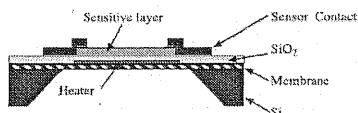
Rue Jaquet-Droz 7, CH-2002 Neuchâtel, Switzerland Tel. : ++ 41 32 720 51 51 FAX : ++41 32 7205712

E-mail : [info@silsens.ch](mailto:info@silsens.ch)



## S e n s o r   S p e c i f i c a t i o n s

■ Sensor structure	MSGS 3000 Monosensor	MSGS 4000 Multisensor 4-Sensor Array	MSGS 4000 Multisensor 6-Sensor Array
<b>Insulating membrane</b>			
• Membrane material	SiN <sub>x</sub> low stress	SiN <sub>x</sub> low stress	SiN <sub>x</sub> low stress
• Typical membrane thickness	0.8 µm	0.8 µm	0.8 µm
• Membrane dimensions	500 x 500 µm	750 x 750 µm	500 x 500 µm
• Silicon micromachining	KOH	Plasma	Plasma
<b>Heater</b>			
• Heater material	Pt	Pt	Pt
• Heater thickness	0.45 µm	0.45 µm	0.45 µm
• Typical resistance value at 22°C	40 Ω	45 Ω	40 Ω
• Temperature coefficient	0.00316/°C	0.00316/°C	0.00316/°C
<b>Sensitive layer</b>			
• Semiconducting Metal Oxide	Doped and undoped SnO <sub>2</sub>	Doped and undoped SnO <sub>2</sub>	Doped and undoped SnO <sub>2</sub>
• Deposition	PVD-Magnetron Sputtering	PVD-Magnetron Sputtering	PVD-Magnetron Sputtering
• Film thickness	100 nm to 1000 nm	100 nm to 1000 nm	100 nm to 1000 nm
• Sensitive layer dimensions	150 x 150 µm	300 x 320 µm	150 x 160 µm
<b>Dimensions of the sensor</b>			
• Dimensions of the chip	1.6 x 1.6 x 0.38 mm	3.0 x 3.0 x 0.38 mm	2.0 x 3.0 x 0.38 mm
• Mounted on a TO-5/TO-39 package	ø 9.13 mm; h=10 mm	ø 9.13 mm; h=15 mm	ø 9.13 mm; h=15 mm
• Number of sensors/4 inch wafer	1900 sensors	540 sensors	810 sensors
<b>Power consumption</b>			
• Thermal loss coefficient	0.10 mW/°C	0.14 mW/°C	0.10 mW/°C
• Typical power consumption at 400°C (isothermal mode)	38 mW	53 mW/sensor	38 mW/sensor
• Corresponding operating voltage	1.8 V	2.2 V	1.8 V
• Corresponding operating current	21.1 mA	24.0 mA/sensor	21.1 mA/sensor
<b>Typical power consumption</b>			
• CO/CH <sub>4</sub> sensor	13 mW / 17 mW		
• General purpose IAQ	< 0.5 mW		



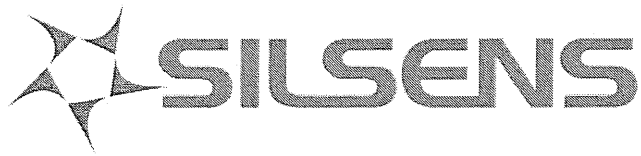
Schematic drawing  
Cross section of the MSGS 3000 sensor chip

■ Product list	Model	Detected Gases	Sensitivity Range	Specific features
<b>Application</b>				
<b>Application 1</b>				
• Toxic gas detection	MSGS 3001	Carbon monoxide	30 ~ 2'000 ppm	High sensitivity and selectivity to carbon monoxide (CO). Pulsed operating mode Low cross sensitivity to alcohol (filter)
<b>Application 2</b>				
• Combustible gas detection	MSGS 3002	Methane	500 ~ 10'000 ppm	High sensitivity and selectivity to methane in the range 5% to 25% of the LEL. Pulsed operating mode Low cross sensitivity to alcohol (filter)
	MSGS 3006	Hydrogen	5 ~ 5'000 ppm	High sensitivity even at low H <sub>2</sub> concentration. Isothermal operating mode Low cross sensitivity to alcohol (filter)
<b>Application 3</b>				
• Solvent vapour detection	MSGS 3007	Alcohol Ketone	20 ~ 2'000 ppm	High sensitivity to alcohol and organic solvent. Isothermal operating mode. Specifically dedicated for ethylotest system in the range [50; 250 ppm]
<b>Application 4</b>				
• Air quality control	MSGS 3003	Ozone	10 ~ 500 ppb	Ideal range of sensitivity for Air Pollution Monitoring. Low cross sensitivity to CO and NO <sub>x</sub> . Isothermal operating mode
	MSGS 3004	Nitrogen Dioxide	0.1 ~ 2 ppm	Isothermal operating mode. Reducing or Oxidizing effect depending on the operating temperature of the gas sensor
	MSGS 3005	Benzene	0.1 ~ 2 ppm	Isothermal operating mode
<b>Application 5</b>				
• Odour recognition application	MSGS 4001	Solvent	0.1 ~ 1000 ppm	Off-flavors and odour control in the food industry. Process control

Silsens SA

Rue Jaquet-Droz 7, CH-2002 Neuchâtel, Switzerland Tel. : ++ 41 32 720 51 51 FAX : ++41 32 7205712

E-mail : info@silsens.ch



## Typical Sensor Characteristics

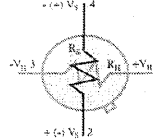
### Measurement test circuits

Two different basic electric circuits which can be used with the gas sensors are presented in the figure below. However the amplifier system (2) presents the advantage of maintaining a constant voltage  $V_c$  on the sensitive layer. A constant-current test circuit can also be used for the gas sensors, considering the recommendation of a maximum power sensor dissipation of 1 mW.

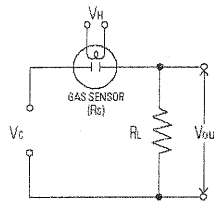
#### Applications

- Security
  - toxic gases
  - explosive gases
- Indoor air quality
- Industrial process control
- Combustion control
- Environnement
- Exhaust gases

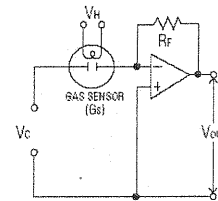
Sensor equivalent circuit (Top View)



PIN NUMBER	
1	Heater Power
2	Sensor Pin
3	Heater Ground
4	Sensor Pin



$$R_s = \left( \frac{V_c}{V_{out}} - 1 \right) \cdot R_L \quad (1)$$



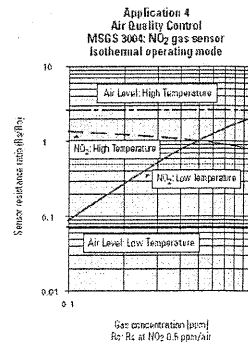
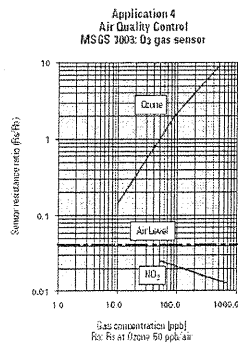
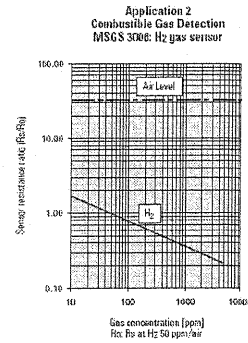
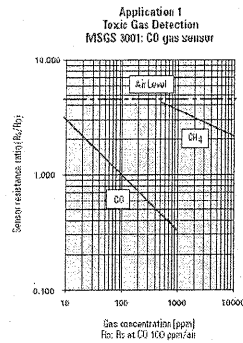
$$G_s = - \frac{1}{V_c \cdot R_f} \cdot V_{out} \quad (2)$$

In order to use more than one sensor or a multisensor device, a specific system and software are available at MICROSENS PRODUCTS. This interface is connected to the serial bus RS232, and thus can be easily used on a PC without any additional interface card. See Microsens Gas Sensing Modules: MGSM 3000 and MGSM 4000

### Performances and sensitivity characteristics

The sensor characteristics presented in this Data Sheet show typical results obtained on MSGS gas sensors. The relationship between the gas sensor resistance and the gas concentration can generally be approximated by a logarithmic function. This relationship has been developed on simplified models explaining the charge transfer occurring during the chemical interaction of gas species on a semiconductor sensitive layer.

In the following figures, the sensor resistance value ( $R_s$ ) is normalized according to the sensor resistance at a given concentration of gas ( $R_0$ ). Thus, the sensitivity is presented as a ratio versus the gas concentration.



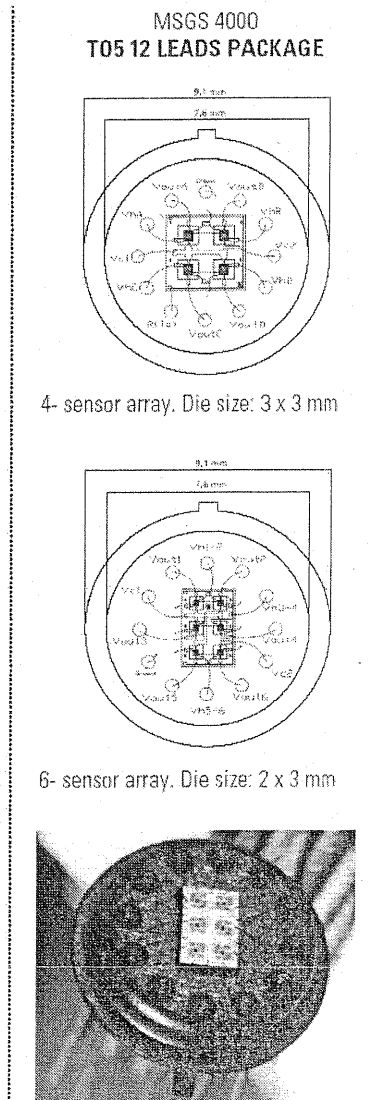
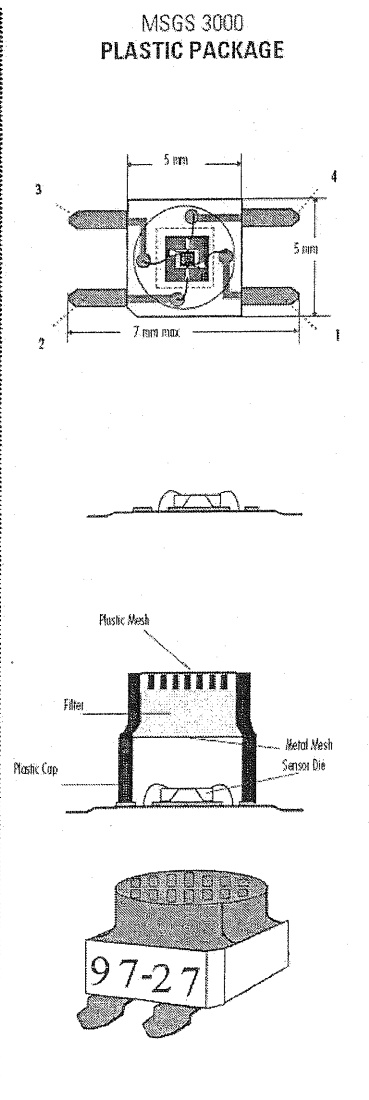
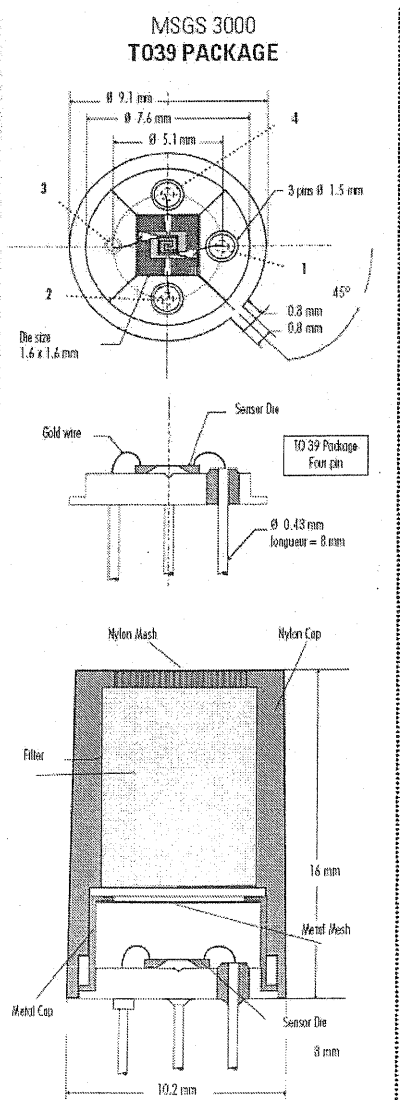
Silsens SA

Rue Jaquet-Droz 7, CH-2002 Neuchâtel, Switzerland Tel. : ++ 41 32 720 51 51 FAX : ++41 32 7205712

E-mail : info@silsens.ch

### Packaging characteristics

■ For the monosensor, the standard packaging uses a T039 support. For some applications such as CO/CH<sub>4</sub> measurement, a charcoal filter placed in a nylon casing reduces the effects of interfering gases. For the multisensor, a standard T05 packaging 12 leads is used.



©MICROSENS PRODUCTS SA  
 This Application Specific Data Sheet has been carefully checked and is believed to be accurate and reliable. However MICROSENS PRODUCTS SA reserves the right to make changes without prior notice to any products and specifications herein. MICROSENS PRODUCTS SA does not cover any licenses under its patent rights and cannot assume responsibility for the use of any license under third party application patents. Furthermore, MICROSENS PRODUCTS SA makes no warranty or guarantee regarding the suitability of this product for any purpose, nor does MICROSENS PRODUCTS SA assume any liability arising out of the application or the use of this product and circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. All operating parameters including "typical" must be validated for each customer application by the customer's technical experts.

## Technical Data Sheet

### Ozone Sensor

#### O3 3E 1

Rev. 03/2006

© 2005 SensoriC Gas Sensors a Division of MST Technology GmbH  
Justus-von-Liebig Str. 22 · D-53121 Bonn · Germany · Phone: +49 (0) 226 52 66 40 · Fax: +49 (0) 226 62 40 76



#### O3 3E 1

##### FEATURES

- Amperometric 3 electrode sensor cell
- Long life time
- High reliability
- High resolution
- Fast response time
- Fixed organic gel electrolyte

##### TYPICAL APPLICATIONS

- Environmental monitoring
- Indoor Air Quality, water treatment plants

##### PART NUMBER INFORMATION

MINI	1531-031-30009
SENSORIC CLASSIC	1531-031-30069
CTL 4 series adaptation	1531-031-30049
CTL 7 series adaptation	1531-031-30079

SensoriC deems the data contained herein as factual, and the opinions expressed are those of qualified experts based on the results of tests conducted. The above data can not be used as a warranty provision or representation for which SensoriC assumes legal responsibility. The data are offered solely for consideration, investigation and verification. Any use of this information is subject to federal, state and local laws and regulations.

Rev. 03/2006





**O3 3E 1**

**TECHNICAL SPECIFICATIONS**

Measuring Range	0–1 ppm
Sensitivity Range	1000 - 2000 nA/ppm (negative signal)
Zero Current at 20°C	< ± 20 nA
Resolution at 20°C	< 0.02 ppm
Bias Potential	0 mV
Linearity	< 10% full scale
Response Time at 20°C	
t50	< 15 s calculated from 3 min. exposure time <sup>1)</sup>
t90	< 60 s calculated from 3 min. exposure time <sup>1)</sup>
Long Term Sensitivity Drift	< 10% per 6 months <sup>2)</sup>
Operation Conditions	
Temperature Range	-20°C to +40°C
Humidity Range	15–90% r.H., non–condensing
Effect of Humidity	abrupt changes will cause a short term drift
Sensor Life Expectancy	> 18 months
Warranty	12 months

- 1) At approx. 30 cm<sup>3</sup>/min. (tolerance range to t<sub>90</sub>: 30 to 60 sec.; depend on air velocity, minimum gas flow 5 l/h)  
 2) At 20°C and 30–50% r.H.; Sensitivity might increase over life time depending on application; high air flow conditions might effect life time.

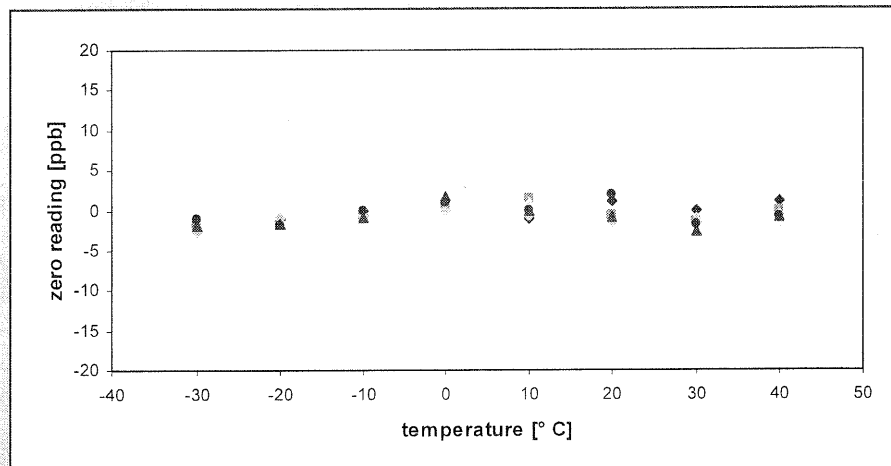
SensoriC deems the data contained herein as factual, and the opinions expressed are those of qualified experts based on the results of tests conducted. The above data can not be used as a warranty provision or representation for which SensoriC assumes legal responsibility. The data are offered solely for consideration, investigation and verification. Any use of this information is subject to federal, state and local laws and regulations.

Rev: 03/2006



**O3 3E 1**

**Temperature dependence on zero reading:**



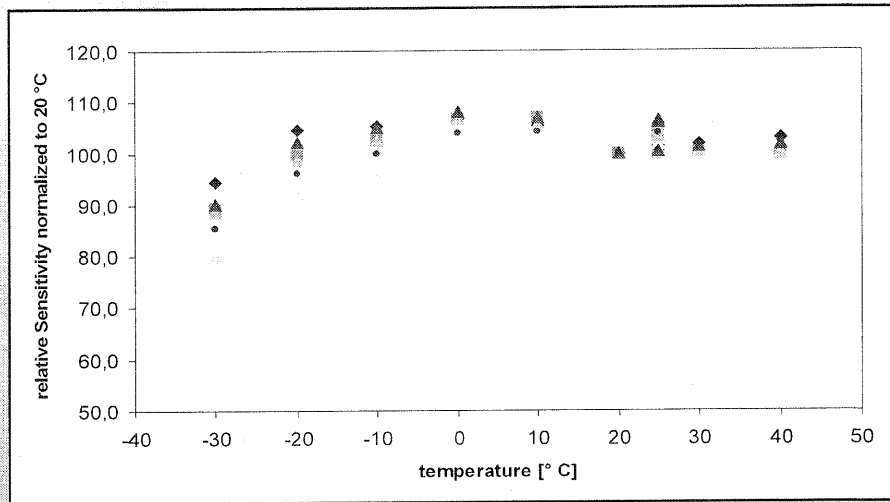
SensoriC deems the data contained herein as factual, and the opinions expressed are those of qualified experts based on the results of tests conducted. The above data can not be used as a warranty provision or representation for which SensoriC assumes legal responsibility. The data are offered solely for consideration, investigation and verification. Any use of this information is subject to federal, state and local laws and regulations.

Rev: 03/2006



### O3 3E 1

#### RELATIVE OUTPUT vs. TEMPERATURE: (normalized to the output at 20 °C)



SensoriC deems the data contained herein as factual, and the opinions expressed are those of qualified experts based on the results of tests conducted. The above data can not be used as a warranty provision or representation for which SensoriC assumes legal responsibility. The data are offered solely for consideration, investigation and verification. Any use of this information is subject to federal, state and local laws and regulations.

Rev. 03/2006



### O3 3E 1

#### CROSS SENSITIVITIES AT 20°C

Gas	Concentration	Reading [ppm]
Bromine, Iodine		yes; n/d
Carbon Dioxide	5000 ppm	0
Carbon Monoxide	100 ppm	0
Chlorine	1 ppm	1.2
Chlorine Dioxide	1 ppm	1.5
Hydrazine	3 ppm	-3
Hydrogen	3000 ppm	0
Hydrogen Sulfide	20 ppm	-1.6 <sup>1)</sup>
Nitrogen	100 %	0
Nitrogen Dioxide	10 ppm	6

1) Continuous exposure at ppm level over more than 30 min. might blind the sensor.

#### Notes:

- Interference factors may differ from sensor to sensor and with life time. It is not advisable to calibrate with interference gases.
- This table does not claim to be complete. The sensor might also be sensitive to other gases.

SensoriC deems the data contained herein as factual, and the opinions expressed are those of qualified experts based on the results of tests conducted. The above data can not be used as a warranty provision or representation for which SensoriC assumes legal responsibility. The data are offered solely for consideration, investigation and verification. Any use of this information is subject to federal, state and local laws and regulations.

Rev. 03/2006



## Contact information

### Shipping & Order processing:

Mrs. Ursula Moeller  
E-mail: sales@sensoric.de  
Phone: ++49 (0)228 52 66 411 & 422  
Fax: ++49 (0)228 52 66 439

### Technical Sales Support & Customer Service:

Mr. Ralf Haut  
E-mail: rhaut@sensoric.de  
tech@sensoric.de  
Phone: ++49 (0)228 52 66 415  
Fax: ++49 (0)228 62 40 76

Mrs. Hind Laaroussi  
E-mail: hlaaroussi@sensoric.de  
Phone: ++49 (0)228 52 66 412  
Fax: ++49 (0)228 62 40 76



SensoriC deems the data contained herein as factual, and the opinions expressed are those of qualified experts based on the results of tests conducted. The above data can not be used as a warranty provision or representation for which SensoriC assumes legal responsibility. The data are offered solely for consideration, investigation and verification. Any use of this information is subject to federal, state and local laws and regulations.

Rev. 03/2006