



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

# Étude des instruments à long trajet optique « DOAS »

Laboratoire Central de Surveillance de la  
Qualité de l'Air

Convention 31/2001

*Emeric FREJAFON - Amandine FIEVET*

*Unité Qualité de l'Air – Direction des Risques Chroniques*

Décembre 2002



# Étude des instruments à long trajet optique « DOAS »

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité  
de l'Air

Convention 31/2001

**DECEMBRE 2002**

personnes ayant participé à l'étude  
Emeric FREJAFON - Amandine FIEVET

Ce document comporte 77 pages (hors couverture).

	<b>Rédaction</b>	<b>Vérification</b>	<b>Approbation</b>
<b>NOM</b>	Emeric FREJAFON	Rémi PERRET	Martine RAMEL
<b>Qualité</b>	Ingénieur Unité AIRE	Responsable Unité AIRE	Responsable LCSQA
<b>Visa</b>			

## TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>2</b>
<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>5</b>
1. Essais de réception de l'APPAREIL DOAS SANOA du réseau airaq-Bordeaux.....	6
2. calibrage Ozone des instruments DOAS .....	7
3. effet des variations du trafic routier : campagne du tunnel du Mont Blanc.....	8
4. Etude DOAS sur zone aéroportuaire : campagne de mesures sur l'aéroport Lyon-Saint-Exupery ...	10
5. Groupe de travail CEN TC 264 GT 18 sur les intruments a long trajet optique « LIDAR, DOAS et FTIR »	13
<b>ANNEXE 1: EVALUATION DU SANOA DE AIRAQ .....</b>	<b>16</b>
<b>COMPTE RENDU GÉNÉRAL.....</b>	<b>19</b>
6. Introduction.....	19
7. Déroulement des essais .....	19
8. déballage du matériel .....	19
9. essais métrologiques.....	20
9.1 installation du matériel.....	20
9.2 Réalisation des essais .....	20
10. Synthèse .....	26
11. Liste des annexes.....	28
<b>ANNEXE 2: CAHIER DES CHARGES INERIS DU CALIBRATEUR D'OZONE HAUTE TENEUR .....</b>	<b>40</b>
<b>ANNEXE 3: CAMPAGNE DE MESURE CHAMONIX.....</b>	<b>44</b>
1. Introduction.....	45
2. Description détaillée de la campagne de mesure.....	46
3. Résultats préliminaires .....	52
4. Retour d'expérience .....	54
<b>ANNEXE 4: CAMPAGNE DE MESURE SUR ZONE AÉROPORTUAIRE: LYON-ST-EXUPÉRY .....</b>	<b>56</b>
1. Cadre de l'étude et objectifs :.....	57
2. Mise en place de la campagne.....	58

2.1	Instruments engagés et répartition géographique des sites.....	58
2.2	Installation du OAS SANOA INERIS « hall central ».....	59
2.3	Installation de la station de mesure « hotel sofitel ».....	60
2.4	Installation du OAS OPSIS AMPASEL « piste b sud ».....	61
2.5	Installation du DOAS 2000 COPARLY « piste a sud ».....	63
2.6	Installation de la campagne « tubes passifs BTX ».....	65
2.7	Autres sites instrumentés.....	67
3.	Taux de fonctionnement.....	68
3.1	Fonctionnement du DOAS SANOA INERIS « hall central ».....	68
3.2	Fonctionnement de la station de mesure « hôtel sofitel ».....	68
3.3	Fonctionnement du DOAS OPSIS AMPASEL « piste b sud ».....	69
3.4	Fonctionnement du DOAS 2000 COPARLY « piste a sud ».....	69
4.	Résultats préliminaires et perspectives.....	70
4.1	Mise en comparaison de données DOAS et d’analyseurs ponctuels.....	70
4.2	Résultats à court terme.....	71
5.	Documents annexes : planning, lettre adp.....	75

## RESUME

Les travaux concernant les appareils de mesure à long trajet optique DOAS ont été poursuivis dans plusieurs directions :

- La réception de l'appareil SANOVA de AIRAQ a donné des résultats très satisfaisants, tant sur la linéarité de l'appareil que sur ses limites de détection. Néanmoins, nous avons attiré l'attention du constructeur sur les modifications du logiciel, qui conduisent à invalider les valeurs négatives qui sont considérées par l'appareil comme nulles, ce qui peut fausser les moyennes et les écarts-types expérimentaux aux faibles concentrations. De même, il est important de vérifier qu'après installation sur site, l'appareil n'invalide pas trop fréquemment les mesures lorsque les concentrations de NO<sub>2</sub> sont très faibles. Enfin, nous avons aidé le réseau AIRAQ à installer son DOAS sur le site d'Arcachon, en fournissant notamment une assistance au choix du site et à l'optimisation de l'aménagement des sites émetteur et récepteur.
- Des difficultés ont été rencontrées pour préparer la mise à disposition aux AASQA des moyens de calibrage des appareils. Le constructeur LNI n'a pas pu fournir le générateur/calibrateur d'ozone à forte concentration que nous lui avons commandé en 2000, et nous a proposé une solution techniquement différente, qui devrait répondre au cahier des charges. La livraison est prévue courant février 2003. Une fois la réception technique effectuée, et son adéquation vis-à-vis du cahier des charges confirmée, il sera mis en circulation dans les réseaux.  
Par ailleurs, la fourniture de cellules scellées qui a été envisagée pour le calibrage en NO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub> se heurte à la difficulté de garantir l'absence totale de fuite sur une longue durée. De ce fait, des études complémentaires doivent être engagées, visant à obtenir une cellule scellée ayant une stabilité suffisante durant quelques mois.
- Le montage des campagnes de mesure visant à montrer les possibilités des DOAS pour le suivi des émissions de NO<sub>x</sub> et des BTX par le trafic routier et aéroportuaire a rencontré de nombreux problèmes : réouverture tardive au trafic poids lourds du tunnel du Mont Blanc, annulation, in extremis, par AdP de la campagne prévue à Roissy, à laquelle nous avons pu substituer avec l'aide de Coparly une campagne à l'aéroport de Lyon. De ce fait, les essais se poursuivront durant les premiers mois de 2003. Les résultats préliminaires montrent que le comportement des appareils est très satisfaisant en terme de disponibilité (plus de 80% de données validées sur quatre mois d'essai dans les conditions difficiles de la campagne du Mont Blanc), et que, par ailleurs, il existe une bonne corrélation entre les concentrations en NO/NO<sub>2</sub> mesurées par les DOAS et par les analyseurs classiques. Des rapports complets seront rédigés au premier semestre 2003.
- La participation à la normalisation européenne (groupe de travail CEN TC 264 WG 18, « Instruments à long trajet optique ») a été poursuivie. Les travaux du GT sont actuellement focalisés essentiellement sur les analyseurs FTIR, malgré notre demande. Par ailleurs, pour ce qui concerne le calibrage, le GT propose d'autoriser l'utilisation de spectres de référence, ce qui simplifie le travail des opérateurs mais nous paraît très critiquable au plan de la qualité de la mesure.

## INTRODUCTION

L'INERIS conduit depuis 1996 des travaux sur les appareils de mesure à long trajet optique de type UV-DOAS, qui ont permis notamment de :

- mettre en évidence les bonnes performances des appareils existants pour la mesure de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> et ozone,
- montrer que la mesure du benzène et du toluène reste indicative, les appareils manquant encore de sensibilité pour ces polluants,
- préciser les bonnes pratiques d'utilisation de ces appareils en réseau de mesure (mise en œuvre et installation, calibrage, contrôles qualité...)

Le programme 2002 prévoyait de poursuivre ces travaux dans plusieurs directions :

- Poursuite de l'assistance aux AASQA, notamment en procédant aux essais de réception des appareils avant leur mise en service, en effectuant une assistance à l'installation de DOAS dans les réseaux (installation du DOAS d'AIRAQ) et en mettant à disposition des associations des moyens permettant de faciliter le calibrage périodique des appareils (générateur d'ozone à haute concentration et cellules scellées).
- Réalisation de campagnes de mesures visant à préciser les possibilités d'utilisation d'un DOAS dans des zones fortement émettrices de NO et de composés aromatiques (benzène, toluène).

La campagne d'essai programmée début 2002 pour suivre l'effet de la réouverture du tunnel du Mont Blanc à la circulation des poids lourds a été très fortement retardée en raison du maintien des restrictions de circulation et se déroulera jusqu'à mars 2003.

De même, la campagne d'essai envisagée sur le site de Roissy en collaboration avec Aéroports de Paris a été annulée in extremis par AdP. Fort heureusement, une autre campagne a pu être montée avec Coparly et l'aéroport de Lyon Saint Exupéry de mi-décembre à mi-janvier 2003.

En raison du déroulement tardif des campagnes du tunnel du Mont Blanc et de l'aéroport de Lyon, le présent rapport ne donne que des résultats partiels. Chaque campagne fera l'objet de rapports complets spécifiques dans le courant du premier semestre 2003.

## 1. ESSAIS DE RECEPTION DE L'APPAREIL DOAS SANOA DU RESEAU AIRAQ-BORDEAUX

---

L'INERIS a réalisé du 9 août au 15 septembre 2002, pour le compte d'AIRAQ, des essais visant à vérifier le bon état de marche et les performances métrologiques d'un analyseur SANOA d'ENVIRONNEMENT SA (Cf. compte rendu en annexe 1).

Les essais réalisés sur l'appareil SANOA pour le compte d'AIRAQ n'ont pas mis en évidence de dysfonctionnement de l'appareil. En particulier, pour le NO<sub>2</sub> et le SO<sub>2</sub>, la procédure de calibrage utilisant la cellule intégrée à l'appareil est équivalente à celle mise en œuvre par l'INERIS (cellules de 1 et 2 mètres de longueur).

Cette évaluation de l'équivalence des procédures n'a pas pu être menée sur le polluant O<sub>3</sub> du fait de l'absence de générateur d'ozone haute concentration. L'évaluation réalisée sur une cellule de 5 mètres n'a pas montré de dysfonctionnement de l'appareil. Mais, en revanche, nous avons constaté une interférence du gaz SO<sub>2</sub> sur la mesure de l'ozone.

Les droites de calibrage obtenues à l'INERIS pour les polluants gazeux NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> ne sont valables que dans les conditions d'essais dans la galerie souterraine de l'INERIS et ne sauraient être extrapolées à l'appareil sur son site final d'implantation.

Au cours de l'installation sur site, il conviendra de vérifier que l'appareil n'invalide pas les données de mesure en NO<sub>2</sub> lorsque les concentrations en ce composé sont faibles.

Ces essais ont également mis en évidence une modification de la configuration logiciel vis à vis des précédents instruments, entraînant une invalidation des mesures négatives : interprétées comme une concentration nulle par les DOAS. Il serait important d'autoriser l'obtention de résultats négatifs qui sont réels compte tenu de la technique de mesure, afin de ne pas influencer les outils statistiques de traitement et d'analyse de données. En effet, la technique DOAS utilise un traitement optique par méthode différentielle autorisant donc l'obtention de résultats négatifs contrairement à d'autres instruments tels que ceux fonctionnant par chimiluminescence qui utilisent un rendement de conversion donc nécessairement positif. Cette invalidation des mesures négatives est issue d'un paramétrage constructeur du logiciel de traitement des signaux DOAS.

Les modifications de la configuration logiciel étant en dehors de notre domaine d'intervention (limitée à l'évaluation d'instrument), nous conseillons à AIRAQ de contacter le constructeur et de lui demander de veiller à fournir une configuration initiale qui soit conforme aux exigences des utilisateurs.



## 2. CALIBRAGE OZONE DES INSTRUMENTS DOAS

---

Le calibrage sur site des DOAS serait largement facilité par l'utilisation de cellules scellées remplies de gaz à haute concentration. Ceci éviterait aux utilisateurs le transport de cylindres de gaz comprimés nécessaires à l'alimentation des cellules à circulation, qui est souvent difficile en raison de l'implantation en hauteur des appareils.

Ceci est concevable pour SO<sub>2</sub>, NO/NO<sub>2</sub> et les BTX, mais cependant à la condition expresse que l'étanchéité soit garantie durant au moins un semestre, durée nécessaire à la mise en circulation de telles cellules à l'ensemble des utilisateurs de DOAS.

Compte tenu des autres contraintes, notamment géométriques, le problème n'est pas simple et nos consultations sont restées infructueuses. La société Néréides poursuit actuellement des essais, mais les résultats ne sont pas encore suffisamment concluants. De même, nous avons engagé des contacts avec des organismes utilisant des cellules scellées de gaz haute pression, et notamment des universités spécialisées dans les lidar de type RAMAN, afin de connaître précisément l'étanchéité et la réactivité chimique de ces cellules. Nous espérons pouvoir obtenir un premier prototype de cellule scellée au cours du premier semestre 2003.

Pour ce qui concerne l'ozone, le calibrage sur site nécessite l'utilisation d'un générateur qui puisse produire des fortes concentrations et dont les caractéristiques de fonctionnement soient suffisamment stables et répétables.

LNI n'a pas pu honorer la commande du matériel que nous avons passée en 2001, et un second appel d'offre fin mai 2002 auprès des principaux fournisseurs d'instruments (Cf. Annexe 2). NEREIDES et LNI ont répondu favorablement au cahier des charges soumis. La société LNI a notamment proposé un calibre d'ozone fonctionnant sur un nouveau concept. Au vu des difficultés qu'ils ont rencontrés lors de la construction du premier calibre d'ozone, notamment sur la lecture de la concentration via un canal basse teneur, ils nous ont proposé un instrument utilisant les compétences de chacun. En effet, la détermination de la concentration sera effectuée en utilisant, d'une part, les compétences de LNI sur la dilution (canal de dilution de 1 000 par buses soniques) et, d'autre part, les compétences de fournisseurs spécialisés sur la mesure environnementale : la détermination de la concentration est effectuée en utilisant un analyseur d'ozone standard. En résumé, la proposition de LNI se compose de plusieurs modules indépendants, (Cf. Annexe 2) :

- Un module de génération d'ozone haute teneur d'une grande stabilité, permettant de générer des concentrations d'ozone sur la gamme 100-2 000 ppm. Ce module sera d'une taille identique à celle d'un analyseur classique et pourra, de ce fait, être installé dans un rack 19 pouces.
- Ce module de génération décrit ci-dessus possédera également un module de dilution par buse sonique (facteur de dilution de 1 000) pouvant être calibré par ailleurs, en utilisant un gaz neutre. Ce module permet de créer un canal basse teneur dont le taux de dilution est très précisément déterminé.
- Un module indépendant de détermination de la concentration basse teneur. Il s'agit d'un analyseur d'ozone environnemental standard (SERES, ENV SA., TEI).
- Un module électronique de rétro-action permettant d'agir sur le module de génération, au vu de la concentration lue par l'analyseur d'ozone standard sur le canal dilué. Ce module sera installé dans le module de génération haute teneur.

Ainsi le calibrage des instruments DOAS pour le polluant ozone sera effectué au moyen de deux modules : celui de génération (instrument LNI mis à disposition par l'INERIS) et celui de contrôle de la concentration générée (analyseur d'ozone standard connecté sur le canal basse teneur).

On constate donc que la détermination de la concentration haute teneur, ne pouvant être déterminée directement, est obtenue via le canal de dilution. De ce fait, les deux principales sources d'incertitudes étant sur la dilution et sur la lecture basse teneur, il était fondamental de pouvoir connaître précisément le taux de dilution (calibrage par gaz neutre) et de pouvoir raccorder l'analyseur d'ozone à un étalon de transfert national.

Cet instrument doit être livré à l'INERIS mi-février 2003, où nous effectuerons des tests de réception durant 1.5 mois, afin de déterminer ses spécifications et d'en vérifier l'adéquation vis-à-vis de notre cahier des charges. Une fois confirmées ses caractéristiques, il sera mis à la disposition des AASQA. Ainsi, ces dernières devraient être à même d'effectuer un calibrage sur site des DOAS pour le polluant ozone, dans le second semestre 2003. Un premier test de calibrage ozone pourrait alors être effectué sur l'instrument OPSIS du réseau AREM Lille Métropole début avril 2003.

### **3. EFFET DES VARIATIONS DU TRAFIC ROUTIER : CAMPAGNE DU TUNNEL DU MONT BLANC**

---

Dans le cadre du programme LCSQA sur le DOAS, il avait été convenu de préciser les conditions d'utilisation des appareils DOAS en site "trafic", en développant des coopérations avec des centres techniques de l'équipement, des sociétés autoroutières etc.... Dans ce cadre, nous avons décidé d'utiliser la réouverture du tunnel du Mont Blanc pour quantifier l'impact des variations de trafic routier sur la qualité de l'air au voisinage de la « route blanche » à proximité de Chamonix. A cet effet, nous avons installé un DOAS SANOA, couplé à une station équipée d'analyseurs ponctuels. Malheureusement, les très nombreux retards pris sur la date de réouverture du tunnel ont imposé la réalisation de cette campagne et deux étapes.

Nous avons effectué une première campagne de mesure de début janvier à début mai 2002. Cette période, qui devait initialement couvrir les phases de la réouverture du tunnel, n'a en réalité intégrée que la réouverture, limitée aux véhicules de moins de 7,5 tonnes.

Nous avons donc décidé de réaliser une seconde campagne, dans le cadre du programme LCSQA 2003, en collaboration avec l'étude POVA. Cette seconde campagne est en cours de réalisation. Durant cette période, le tunnel a été accessible aux poids lourds en régime d'alternance.

Ces deux campagnes de mesures successives nous ont permis d'obtenir un retour d'expérience essentiel sur les points cruciaux dans l'installation d'un DOAS. En effet, il nous a fallu trouver un site de mesure qui réponde aux contraintes suivantes :

- Mesure intégrée sur 150 à 200 m, perpendiculaire à la route blanche.
- Trajet optique Sud-Est vers Nord-Ouest (afin de minimiser l'éblouissement du détecteur, compte tenu de l'orientation de la vallée), sans masquage partiel ou occasionnel du faisceau (à au moins 5 m au-dessus de la route blanche).

- Les sites émetteur et récepteur devaient être situés sur des supports stables mécaniquement et thermiquement, c'est à dire pendant les alternances gel-dégel. Cette contrainte fut difficile à réaliser et nous a montré que, contrairement aux idées reçues, un balcon en bois offre une plus grande stabilité qu'un socle en béton posé sur le sol.
- Branchement de l'émetteur et du récepteur sur des lignes électriques protégées par onduleur. En effet, nous avons eu à déplorer un incident technique (destruction de la lampe et de son alimentation) suite à une micro-coupure électrique sur le site émetteur : en présence de micro-coupures, la lampe de l'émetteur s'éteint et reste en défaut (nécessité de débrancher l'émetteur, puis de le rebrancher afin de ré-allumer la lampe). Cela induit alors un phénomène de condensation sur la lampe si elle reste éteinte plusieurs jours et peut ensuite entraîner sa détérioration lors de son ré-allumage, voire une détérioration totale de son alimentation.

Ainsi, cette campagne de mesure, qui a imposé l'installation rapide d'un DOAS dans un contexte géographique et météorologique difficile, a montré que la prise en compte stricte des contraintes ci-dessus, permet d'effectuer une mesure DOAS en continu sur plusieurs mois avec un taux très important de données validées. Ainsi, sur les 4 mois de mesures de la première phase, nous avons obtenu un taux de données de 80 % et un taux de données validées de 70 %. On rappellera que les principales raisons qui ont entraîné une absence de données sont, d'une part, l'explosion de la lampe (15 jours, soit 10 %) et, d'autre part, un bug informatique lors du passage de l'heure d'hiver à l'heure d'été (15 jours, soit 10%). Enfin le léger écart existant entre le nombre de données enregistrées et le nombre de données validées, est principalement dû à un signal lumineux trop faible lors de situations météorologiques de neige ou de brouillard.

Un rapport détaillé sera rédigé durant le premier semestre 2003. Néanmoins, les premiers résultats obtenus montrent très nettement l'influence de la circulation alternée sur la qualité de l'air. En effet, ces deux campagnes successives ont permis de montrer les points suivants :

- Caractérisation de la vitesse d'oxydation du NO : les premiers résultats obtenus permettent de montrer, par un couplage avec un analyseur ponctuel de NO<sub>x</sub>, la spatialisation et la vitesse de la transformation NO->NO<sub>2</sub>, ainsi que la très bonne cohérence des mesures de NO<sub>x</sub> entre le DOAS et l'analyseur ponctuel. En effet, si les deux appareils fournissent des concentrations en NO<sub>x</sub> identiques, les valeurs en NO et NO<sub>2</sub> diffèrent (NO<sub>DOAS</sub> < NO<sub>analyseur</sub>), traduisant cette réactivité de transformation du NO en NO<sub>2</sub> entre un point de mesure à proximité des émetteurs et une mesure intégrée sur 160 m.
- Quantification de l'influence de la circulation alternée et effet de dilution : la mise en correspondance des données de la station et des données DOAS permet de montrer nettement l'augmentation brutale de la concentration en NO<sub>x</sub> lors du passage des poids lourds dans le sens de la montée (Fayet-Ouches-Tunnel). Par ailleurs, en comparant les données NO<sub>x</sub> obtenues par l'analyseur et le DOAS, on observe nettement un effet de dilution : les données DOAS, intégrées sur 160 m en travers de la route restent inférieures aux données de l'analyseur installé à 15 m de la route, en revanche le niveau de fond est identique (on observe bien un effet de dilution et non pas un effet d'offset).

- Augmentation du niveau de fond en  $\text{NO}_x$  : la comparaison des valeurs moyennes mensuelles obtenues respectivement en janvier-février 2002 et janvier-février 2003, doit nous permettre de confirmer les augmentations des niveaux de fonds en  $\text{NO}$  et  $\text{NO}_2$ . Néanmoins, si de premiers résultats tendent à le montrer, il est nécessaire de la confirmer par une mise en comparaison de données obtenues dans les mêmes conditions météorologiques. Ainsi, il sera important de comparer ces concentrations pour des températures identiques, afin notamment de s'assurer que l'on effectue cette mise en comparaison « à émission de chauffage urbain identique ».

Il ne s'agit que de résultats préliminaires, qui doivent être analysés plus en détail, puis être couplés aux données obtenues par les groupes de POVA. En effet, cette campagne de mesures DOAS s'étant réalisée en parallèle de la campagne POVA, l'ensemble des mesures obtenues par l'INERIS sera disponible à des fins de recherche, dans le cadre de l'étude POVA.

De même, nous devrions avoir accès à d'autres données importantes, telles que les comptages de véhicules ou bien encore les résultats des deux stations de mesures du réseau de surveillance AIR-APS, qui nous permettront, d'une part, de confirmer ou infirmer les résultats préliminaires ci-dessus, et d'autre part, d'étudier par exemple la spatialisation des  $\text{NO}_x$  générés par le trafic au niveau de la Route Blanche : en couplant les données du DOAS (mesures intégrées sur 158 m perpendiculairement à la route) aux données de notre cabine (mesures ponctuelle 15 m à l'Est de la route) et enfin aux données du réseau de surveillance AIR-APS (mesures ponctuelles 2 m à l'Est de la route), nous devrions pouvoir évaluer la distribution spatiale des  $\text{NO}_x$  (quantification de l'écart type et du maximum en supposant la distribution gaussienne) suivant différentes conditions météorologiques.

#### **4. ETUDE DOAS SUR ZONE AEROPORTUAIRE : CAMPAGNE DE MESURES SUR L'AEROPORT LYON-SAINT-EXUPERY**

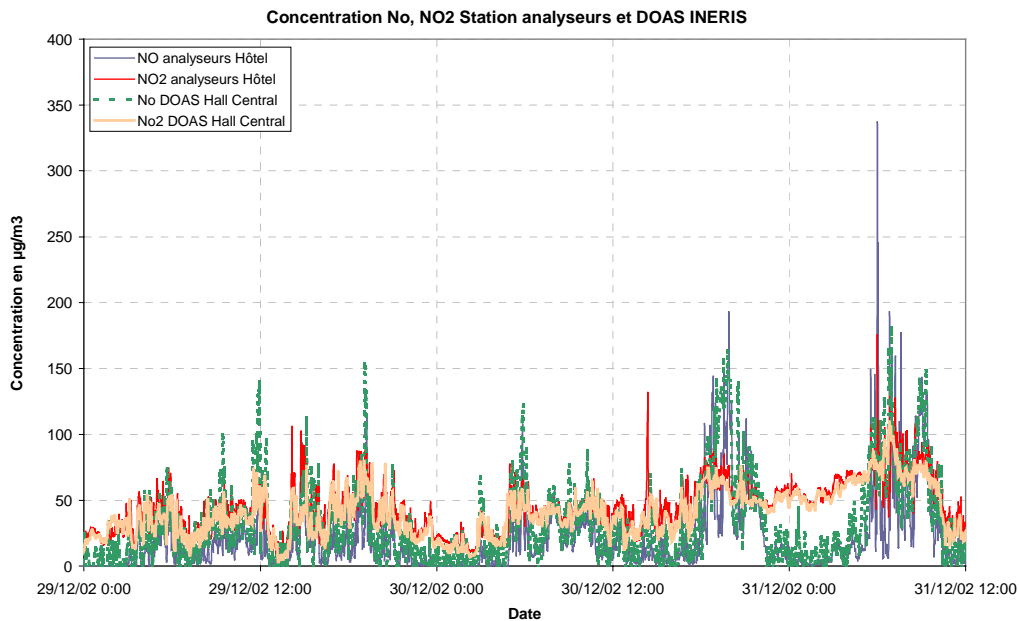
---

L'INERIS avait programmé une campagne DOAS sur la zone aéroportuaire de Roissy CDG durant le mois de juin 2002, qui devait s'effectuer en parallèle de la campagne de mesures organisée par AIRPARIF. Pour ce faire, 4 DOAS devaient être installés respectivement sur l'autoroute A1 (longeant Roissy Charles de Gaulle), sur la zone de fret et en bout des deux principales pistes de décollage/atterrissage. L'instrumentation de chacun de ces 4 sites devait également comporter des analyseurs  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{BTX}$  ainsi que des tubes passifs. Cela aurait permis de différencier les émissions dues à l'autoroute A1 et ses voies adjacentes de celles dues à la zone aéroportuaire. Cette campagne, qui s'effectuait en cofinancements Aéroport de Paris / LCSQA permettant ainsi la divulgation générale de l'ensemble des données obtenues, a été malheureusement reportée puis annulée 10 jours avant le lancement de la campagne en raison de la réorganisation interne au sein de la société Aéroport de Paris (cf. lettre jointe en fin d'annexe 4).

Par ailleurs COPARLY, dans le cadre d'un partenariat avec l'aéroport de Lyon-Saint-Exupéry, devait engager fin 2002, une campagne de mesures sur cette zone aéroportuaire. COPARLY, qui a fait récemment l'acquisition d'un DOAS 2000 MEGATEC, souhaitait pouvoir inclure ce type de mesures dans le cadre de sa campagne. Il a donc été décidé, après avis du MEDD, que la campagne de mesure DOAS, initialement prévue sur Roissy CDG, se ferait sur l'aéroport de Lyon-Saint-Exupéry en collaboration avec COPARLY.

Cette campagne, qui s'est déroulée du 13 décembre 2002 au 13 janvier 2003 en association avec la campagne de COPARLY, a impliqué l'ensemble des moyens suivants :

- 3 DOAS : le DOAS de l'INERIS installé sur la zone de transfert des passagers, le DOAS OPSIS d'AMPASEL installé en fin de piste B Sud (atterrissage) et enfin le DOAS 2000 de COPARLY installé en fin de piste A Sud (décollage).
- 3 stations de mesures multigaz : Station INERIS installé sur le toit de l'hôtel principal, la station COPARLY installé en fin de piste A et enfin le laboratoire mobile d'ASCOPARG installé au Nord de l'aéroport.
- 2 campagnes, de une semaine chacune, de 10 tubes passifs répartis sur 10 sites.



exemple de données NO et NO<sub>2</sub>, obtenues par l'analyseur NO<sub>x</sub> installé sur le toit de l'hôtel Sofitel au centre de l'aérogare et par le DOAS installé sur le toit du hall central (à proximité des avions) lors de leurs phases de chargement/déchargement des passagers)

Tous les moyens impliqués dans cette campagne, et notamment les 3 DOAS, ont été en fonctionnement optimal, fournissant des données en continue du 13 décembre 2002 au 13 janvier 2003. Nous avons obtenu les taux de fonctionnement suivants :

- DOAS SANOA INERIS : Taux de fonctionnement de 94 % (perte d'intensité lumineuse en situation neigeuse) et taux de données validées de 93 %, pour les polluants NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>. Par ailleurs, un suivi des BTX fut effectué, sans pouvoir conclure à l'heure actuelle sur le taux de données validées pour ces polluants.
- DOAS OPSIS AMPASEL : Taux de fonctionnement proche de 90% pour le polluant NO<sub>2</sub>, à confirmer lors du traitement de l'ensemble des données. En revanche, un dysfonctionnement sur cet appareil ne nous a pas permis d'effectuer la mesure des polluants SO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> : spectromètre d'analyse endommagé par l'humidité (stockage durant plusieurs trimestres hors tension), entraînant un span supérieur à 2 et un offset d'environ 300 ppb sur les polluants SO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>.
- DOAS 2000 COPARLY : Taux de fonctionnement de 73%, pour les polluants NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>. Par ailleurs, un suivi des BTX fut effectué, sans pouvoir conclure à l'heure actuelle sur le taux de données validées pour ces polluants.

- Station INERIS d'analyseurs ponctuels : Taux de fonctionnement de 100 % et taux de données validées de 100 %, pour les polluants NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>. Par ailleurs, un suivi des BTX (PID/FID) fut effectué du 6 au 13 janvier 2003, sans pouvoir conclure à l'heure actuelle sur le taux de données validées pour ces polluants.
- Station COPARLY d'analyseurs ponctuels : Taux de fonctionnement de 100 % pour les polluants NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et BTX.
- Par ailleurs, la mise en comparaison des données du DOAS INERIS, avec la station de mesure installée à proximité démontre la cohérence et la validité des données DOAS. Ainsi, sur la base de l'exemple ci-dessus, nous avons notamment obtenu des concentrations moyennes identiques la nuit (en situation d'homogénéité atmosphérique sur la station de mesure et sur tout le long du trajet optique (156 m). En effet, la différence des valeurs moyennes obtenues sur ces deux instrument, pour une période nocturne identique, était de 0,2 µg/m<sup>3</sup> pour une concentration moyenne de 3,5 µg/m<sup>3</sup> dans le cas du NO et de 2,5 µg/m<sup>3</sup> pour une concentration moyenne de 35 µg/m<sup>3</sup> dans le cas du NO<sub>2</sub>, sachant que l'écart-type obtenu sur ces valeurs moyennes était largement supérieur à l'écart observé entre les instruments.

Par ailleurs, nous devrions obtenir très prochainement les informations suivantes :

- Le trafic avion sur la zone de transfert des passagers (type, heure d'arrivée et heure de départ) afin qu'elles soient mises en corrélation avec les variations périodiques de la concentration en NO<sub>x</sub> observées par le DOAS INERIS installé sur le toit du hall central. Ce DOAS intégrait en effet 6 postes d'accès (3 portes) auxquels venaient se relier les avions, lors des opérations de chargement ou déchargement des passagers. Des résultats préliminaires ont montré de rapides et importantes fluctuations (d'une amplitude de l'ordre de 300 % vis-à-vis du niveau de fond nocturne) diurnes et notamment dans les tranches horaires (5h-9h) et (16h-19h).
- Les données météorologiques (Température, Pression, Humidité, Direction et vitesse du vent au sol) afin d'optimiser le traitement des tubes passifs, mais également afin de définir d'éventuelle corrélation entre l'activité aéroportuaire et les flux entrant et sortant du domaine d'étude. En effet, en situation de vent de Nord, l'unité mobile nous fournissait une évaluation du niveau de fond entrant sur la zone. De même les deux DOAS installés en fin des pistes A et B Sud, nous renseignaient, en absence de trafic piste, sur les concentrations quittant le domaine.
- Les mouvements des avions (types, atterrissages et décollages) afin qu'ils soient mis en corrélation avec les fluctuations observées sur les deux DOAS situés en fin de piste et sur la station de mesure se trouvant à proximité.
- Les résultats des deux campagnes de mesures « tubes passifs BTX », afin qu'ils soient mis en correspondance des données obtenues par les DOAS (INERIS et COPARLY) et par les analyseurs ponctuels. Ces données devraient également, compte tenu de la localisation des 10 sites retenus, permettre d'évaluer la spatialisation des émissions BTX issues de la zone aéroportuaire.

Ainsi, les quelques résultats préliminaires de cette campagne de mesure nous ont permis de démontrer les performances des DOAS lorsque leur installation a tenu compte des principales contraintes de fonctionnement. Par ailleurs, la mise en comparaison des données du DOAS INERIS et des mesures ponctuelles, a permis de confirmer la validité de ces dernières. Enfin, nous avons pu mettre en évidence des fluctuations importantes sur les concentrations en  $\text{NO}_x$ , qui devraient naturellement être corrélées à l'activité des avions sur cette zone.

## **5. GROUPE DE TRAVAIL CEN TC 264 GT 18 SUR LES INSTRUMENTS A LONG TRAJET OPTIQUE « LIDAR, DOAS ET FTIR »**

---

L'INERIS participe activement aux travaux du CEN TC 264/GT 18 sur les appareils de mesure à long trajet optique (FTIR, DOAS et LIDAR). Néanmoins, les activités de ce groupe de travail sont actuellement orientées sur la mise en place de la norme FTIR.

Lors de la réunion, qui s'est déroulée les 25 et 26 juin 2002 à Essen (Allemagne), l'INERIS a notamment insisté très fortement sur la nécessité de concevoir un projet de norme DOAS qui se fasse en parallèle de la norme FTIR, afin de répondre rapidement aux nombreuses interrogations des utilisateurs d'appareils DOAS. Cette demande, qui avait finalement été acceptée à l'issue de la réunion, ne figure pas dans les résolutions du groupe de travail.

L'INERIS a, d'autre part, insisté lors de cette réunion sur l'importance d'utiliser un protocole de calibrage de référence ou à défaut d'une méthode reconnue équivalente.

Enfin, la dernière réunion qui s'est déroulée les 28-29 novembre à South Hill - Chislehurst (Angleterre), visait principalement la poursuite de la norme FTIR. Bien que quelques modifications aient été apportées, il reste proposé d'effectuer un calibrage de référence en utilisant ou bien un gaz de référence ou bien un spectre de référence (document CEN264WG18N047.pdf pages 9 à 12).

Or, l'INERIS a souligné à de nombreuses reprises ses réticences vis-à-vis d'un calibrage initial par spectre de référence. Cette technique, qui n'utilise pas de gaz de référence, mais sa signature spectrale, permet de simplifier le processus de calibrage et notamment de l'effectuer sur site sans aucune contrainte matérielle, mais elle présente de nombreuses limitations et notamment :

- Elle ne permet pas d'évaluer les principales caractéristiques de l'appareil telles que sa limite de détection, sa répétabilité ou bien encore l'incertitude instrumentale.
- Elle ne prend pas en compte le vieillissement de l'appareil (système de détection, lampe) induisant une perte de sensibilité ou bien encore de l'influence de l'atmosphère générant par exemple une interférence des aérosols ou une distorsion spectrale globale.
- Elle ne tient pas compte de la linéarité de la chaîne de détection (effet de saturation du détecteur). En effet, de nombreuses études ont montré que la réponse d'une chaîne de détection n'est pas linéaire et que la dégradation du spectre de référence afin de correspondre aux spécificités du détecteur (résolution spectrale) ne peut être uniquement basée sur une moyenne spectrale.

De ce fait, l'INERIS redemandera, lors de la prochaine réunion prévue le 23 mai 2003 en Allemagne, qu'il soit démontré qu'en matière de calibrage d'instruments, l'utilisation d'un spectre de référence est une « méthode équivalente » à la méthode de référence qui se fonde sur l'utilisation d'un gaz de référence.

Enfin, l'INERIS proposera lors de cette prochaine réunion, qu'il soit notifié dans les prochaines résolutions du GT qu'un projet de norme DOAS se mette en place, en parallèle du projet de norme FTIR. En effet, de nombreux points du projet de norme FTIR, pourraient être utilisés dans le cadre norme DOAS.



### Liste des annexes

<b>Repère</b>	<b>Désignation précise</b>	<b>Nb pages</b>
1	Evaluation du DOAS AIRAQ-Bordeaux	23
2	Cahier des charges INERIS du calibrateur d'ozone haute teneur	4
3	Campagne de mesure DOAS sur la vallée de Chamonix	11
4	Campagne de mesure DOAS sur l'Aéroport de Lyon-Saint-Exupéry	21

# **ANNEXE 1**

## **Annexe 1: Evaluation du SANOA de AIRAQ**

# Étude des instruments à long trajet optique « DOAS »

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

Convention 31/2001

personnes ayant participé à l'étude  
Emeric FREJAFON - Amandine FIEVET

Ce document comporte 26 pages (hors couverture).

	<b>Rédaction</b>	<b>Vérification</b>	<b>Approbation</b>
<b>NOM</b>	Emeric FREJAFON	Rémi PERRET	Martine RAMEL
<b>Qualité</b>	Ingénieur Unité AIRE	Responsable Unité AIRE	Responsable LCSQA
<b>Visa</b>			

## TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>18</b>
<b>COMPTE RENDU GENERAL.....</b>	<b>19</b>
1. Introduction.....	19
2. Déroulement des essais .....	19
3. déballage du matériel .....	19
4. essais métrologiques.....	20
4.1 installation du matériel	20
4.2 Réalisation des essais.	20
5. Synthèse .....	26
6. Liste des annexes.....	28
<b>ANNEXE A : RÉSULTATS DES CALIBRAGES AVEC LE SO<sub>2</sub>.....</b>	<b>29</b>
<b>ANNEXE B : RÉSULTATS DES CALIBRAGES AVEC LE NO<sub>2</sub>.....</b>	<b>31</b>
<b>ANNEXE C : RÉSULTATS DES CALIBRAGES AVEC O<sub>3</sub>.....</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXE D : DONNEES METEOROLOGIQUES ET STABILITE TEMPORELLE</b> <b>.....</b>	<b>35</b>
<b>ANNEXE E : TECHNIQUE DOAS ET UNITE DE MESURE DU NIVEAU DE</b> <b>FOND .....</b>	<b>37</b>
<b>ANNEXE F : CALIBRATION DOAS ET CIRCUIT DE GENERATION EN GAZ..</b>	<b>38</b>

# Compte rendu général

## 6. INTRODUCTION

---

L'INERIS a réalisé du 9 août au 15 septembre 2002, pour le compte d'AIRAQ, des essais visant à vérifier le bon état de marche et les performances métrologiques d'un analyseur SANOA d'ENVIRONNEMENT SA.

Le présent rapport consigne les résultats de ces essais et vise à permettre à AIRAQ de prononcer la réception du matériel.

## 7. DEROULEMENT DES ESSAIS

---

Le matériel a été livré à l'INERIS le 5 août 2002 par Environnement SA. Un premier contrôle de la conformité des éléments livrés a été réalisé en présence d'un représentant de AIRAQ le 9 août 2002.

Le matériel a alors été acheminé vers la galerie souterraine de l'INERIS où il a été installé, sur un trajet optique de 95 mètres. Les paramètres de fonctionnement de l'analyseur n'ont pas été modifiés par rapport à leur réglage en usine, si ce n'est la longueur du trajet optique paramétrée dans le logiciel de l'appareil à 95 mètres.

Le programme des essais réalisés était conforme au projet AFNOR de guide pour l'utilisation d'appareils de type UV-DOAS (document AFNOR X43D N 148 du 27 juillet 2000, réf. 014-98), à l'exception des essais avec l'ozone. En effet, l'INERIS étant toujours en attente d'un calibrateur d'ozone haute concentration, nous avons utilisé un calibrateur d'ozone basse concentration (TEI 49C) couplé à des cellules de 5 mètres.

## 8. DEBALLAGE DU MATERIEL

---

Au cours du déballage, diverses vérifications ont été réalisées.

Au niveau de l'émetteur

état visuel du miroir	OK
fonctionnement de l'alimentation (allumage de la lampe pendant 5 minutes)	OK

Au niveau du récepteur

état visuel du miroir	OK
-----------------------	----

D'une manière plus générale, aucun problème notable n'a été identifié au cours de l'inspection visuelle pendant le déballage du Sanoa et du matériel informatique.

## 9. ESSAIS METROLOGIQUES

### 9.1 INSTALLATION DU MATERIEL

L'INERIS n'a pas détecté de problème particulier au cours de l'installation du matériel dans sa galerie souterraine. Au cours des essais, l'intensité lumineuse reçue par le spectromètre était d'environ 80 % pour les polluants gazeux mesurés NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>.

### 9.2 REALISATION DES ESSAIS.

Ces essais ont consisté à injecter des concentrations connues des polluants à mesurer dans deux cellules de calibration placées en série sur le trajet optique de l'appareil. Ces cellules avaient pour longueur 1 mètre pour le polluant NO<sub>2</sub>, 2 mètres pour le polluant SO<sub>2</sub> et enfin 5 mètres pour le polluant O<sub>3</sub>. Les concentrations visées sur le trajet optique de l'appareil sont reportées dans les tableaux I et II ci-dessous.

	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
C' <sub>0</sub>	0	0	0
C' <sub>1</sub>			75,2
C' <sub>2</sub>			132,2
C' <sub>3</sub>			200
C' <sub>4</sub>			430,6
C' <sub>5</sub>			600
C' <sub>6</sub>			856,5

concentrations générées dans les cellules, en µg/m<sup>3</sup>

*Tableau I*

	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
C <sub>0</sub>	0	0	0
C <sub>1</sub>	14,84	0	7,77
C <sub>2</sub>	22,37	30,02	13,66
C <sub>3</sub>	62,04	59,04	20,66
C <sub>4</sub>	93,44	115,79	44,49
C <sub>5</sub>	269,10	344,68	61,99
C <sub>6</sub>	652,45	583,26	88,49

concentrations équivalentes en µg/m<sup>3</sup> sur 95 mètres

*Tableau II*

Où  $c_0(\mu\text{g} / \text{m}^3) = c'_0(\mu\text{g} / \text{m}^3) \times \frac{l}{95}$  avec  $l$  la longueur de la cellule (exprimée en mètre)

Le programme d'application de ces concentrations était conforme au projet AFNOR de guide pour l'utilisation d'appareils de type UV-DOAS (document AFNOR X43D N 148 du 27 juillet 2000, réf. 014-98), avec des paliers d'une heure.

Compte tenu du paramétrage de l'appareil SANOA, une valeur de concentration était délivrée toutes les 3 minutes pour les 3 polluants.

### 9.2.1 Résultats en SO<sub>2</sub>

La moyenne des valeurs 3 minutes mesurées par l'appareil en dehors des périodes d'alimentation des cellules de calibrage s'élève à 0,75 µg/m<sup>3</sup> (sur gaz réel, non corrigé de la pression et de la température), pour un écart-type expérimental de 0,15 µg/m<sup>3</sup>. Il est important de noter que la configuration choisie par le constructeur invalide toutes les mesures négatives et les ramène à zéro, réduisant de ce fait l'écart-type expérimental et augmentant la valeur moyenne.

Au cours de la période d'essais, l'intensité lumineuse moyenne reçue par le spectromètre dans les plages de longueur d'onde caractéristiques du SO<sub>2</sub> était de 80% pour un écart type de 0,7 %.

On trouvera en annexe A l'ensemble des résultats obtenus avec le SO<sub>2</sub>.

Les droites de calibrage en SO<sub>2</sub> correspondantes sont reportées ci-dessous, d'une part pour les essais sur cellules longues en présence de NO<sub>2</sub> et d'O<sub>3</sub> et d'autre part, pour les essais avec la cellule de calibrage intégrée à l'appareil.

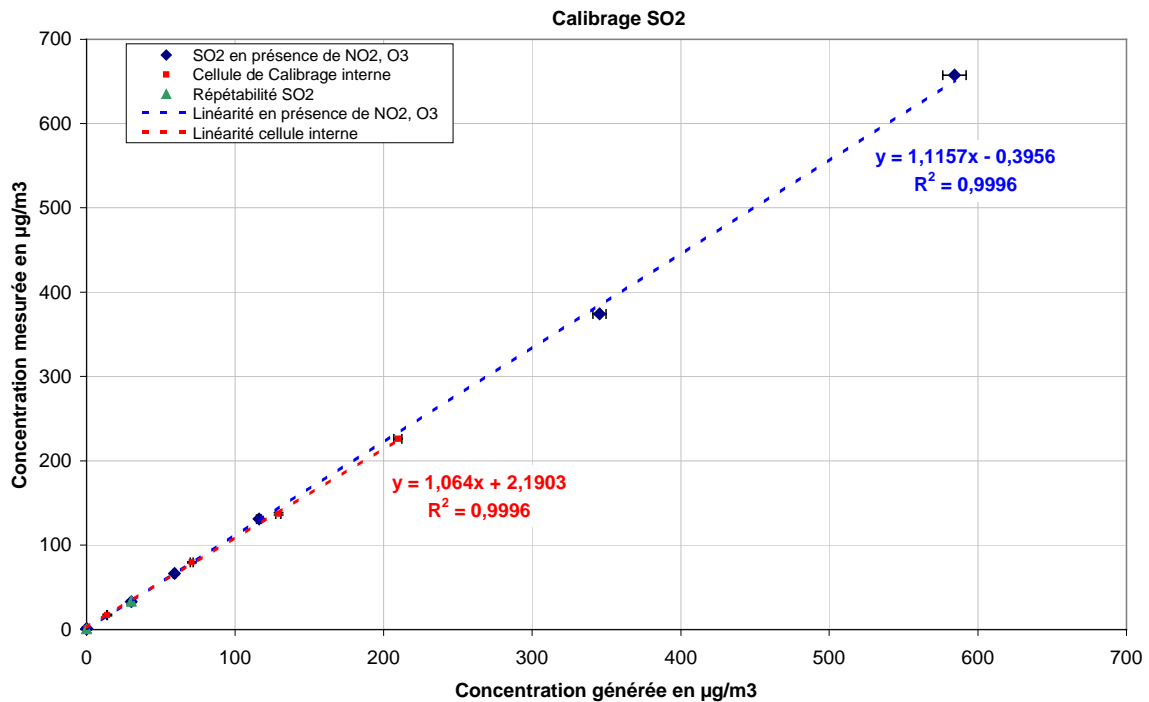


Figure 1

Les courbes de calibration ainsi obtenues ont pour équation, respectivement :

- $c_0 = 1,08c_r + 1,68$  (SO<sub>2</sub> en présence de NO<sub>2</sub> forte concentration)
- $c_0 = 1,12c_r + 0,40$  (SO<sub>2</sub> en présence de NO<sub>2</sub> en forte concentration)
- $c_0 = 1,06c_r + 2,19$  (petite cellule de calibration de 34mm de long)

où :

- $c_0$  est la concentration mesurée par l'analyseur Environnement SA
- $c_r$  la concentration réelle équivalente sur 95 mètres, déduite de la concentration mesurée au moyen des analyseurs INERIS grâce à la relation :

$$c_r (\mu\text{g} / \text{m}^3) = c_m (\text{ppm}) \times \frac{64}{24} \times \frac{293}{273 + T} \times \frac{p}{101325} \times \frac{l}{95},$$

avec T la température dans les cellules en °C, p la pression dans les cellules en Pascal et l la longueur de la cellule de calibration en mètre.

Compte tenu des écarts types expérimentaux observés, on peut conclure que les droites de calibration en SO<sub>2</sub>, déterminées, d'une part, en présence de NO<sub>2</sub> et, d'autre part, avec la petite cellule de calibration contenant du SO<sub>2</sub> seul, ne sont pas significativement différentes. Elles montrent chacune un écart au zéro de l'ordre de 2 µg/m<sup>3</sup> (conditions réelles de pression et de température).



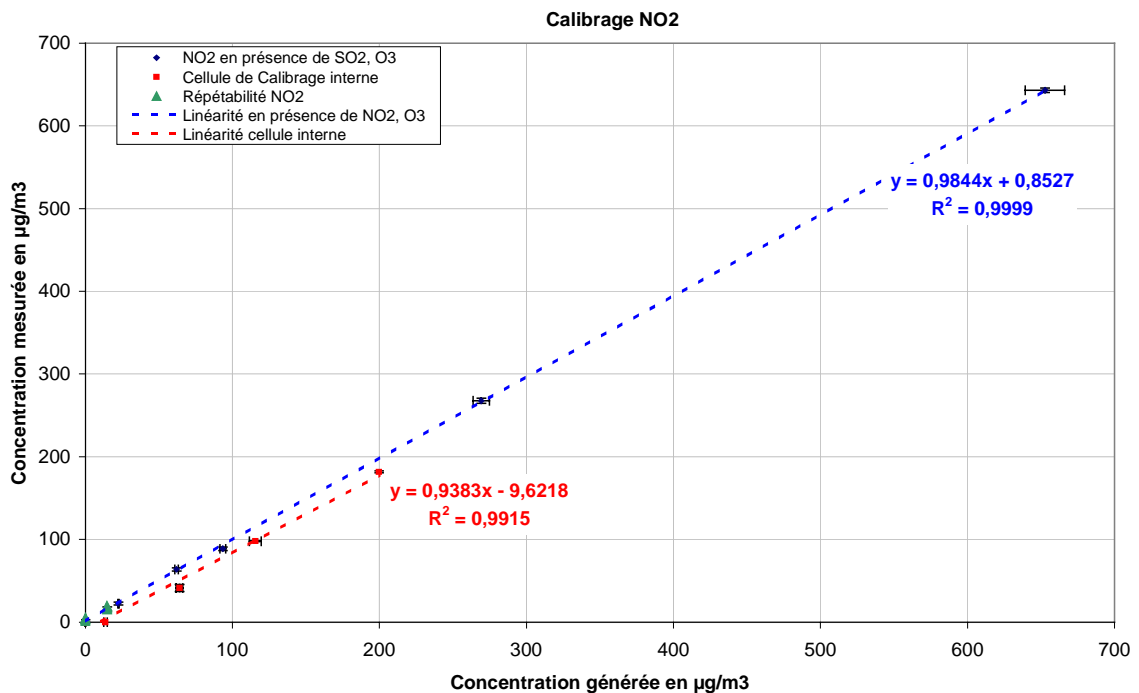
### 9.2.2 Résultats en NO<sub>2</sub>

La moyenne des valeurs 3 minutes mesurées par l'appareil en dehors des périodes d'alimentation des cellules de calibration s'élève à +1,29 µg/m<sup>3</sup> (sur gaz réel, non corrigé de la pression et de la température), pour un écart-type expérimental de 1,43 µg/m<sup>3</sup>. Il est rappelé que, compte tenu de la configuration choisie par le constructeur, toutes les mesures négatives étaient invalidées et mises à zéro, réduisant de ce fait l'écart-type expérimental et augmentant la valeur moyenne.

Au cours de la période d'essais, l'intensité lumineuse moyenne reçue par le spectromètre dans les plages de longueur d'onde caractéristiques du NO<sub>2</sub> était de 80 % pour un écart type de 0,7 %.

On trouvera en annexe B l'ensemble des résultats obtenus avec le NO<sub>2</sub>.

Les droites de calibration en NO<sub>2</sub> correspondantes sont reportées ci-dessous, d'une part pour les essais sur cellules longues en présence de SO<sub>2</sub> et d'O<sub>3</sub> et, d'autre part, pour les essais avec la cellule de calibration intégrée à l'appareil.



*Figure 2*

Les courbes de calibration ainsi obtenues ont pour équation, respectivement :

- $c_0 = 0,98c_r + 0,85$  (NO<sub>2</sub> en présence de SO<sub>2</sub>)
- $c_0 = 0,96c_r - 9,62$  (petite cellule de calibration de 34 mm de long)
- sachant que la mesure de fond était de 1,29 µg/m<sup>3</sup> pour un écart-type expérimental de +1,4 µg/m<sup>3</sup>

où :

- $c_0$  est la concentration mesurée par l'analyseur Environnement SA

- $c_r$  la concentration réelle équivalente sur 95 mètres, déduite de la concentration mesurée au moyen des analyseurs INERIS grâce à la relation :

$$c_r (\mu\text{g} / \text{m}^3) = c_m (\text{ppm}) \times \frac{46}{24} \times \frac{293}{273 + T} \times \frac{p}{101325} \times \frac{l}{95},$$

avec T la température dans les cellules en °C, p la pression dans les cellules en Pascal et l la longueur de la cellule de calibrage en mètre.

Compte tenu des écarts types expérimentaux observés, on peut conclure que les droites de calibrage en NO<sub>2</sub>, déterminées d'une part, en présence de SO<sub>2</sub> et d'autre part, avec la petite cellule de calibrage contenant du NO<sub>2</sub> seul, ne sont pas significativement différentes.

### 9.2.3 Résultats en O<sub>3</sub>

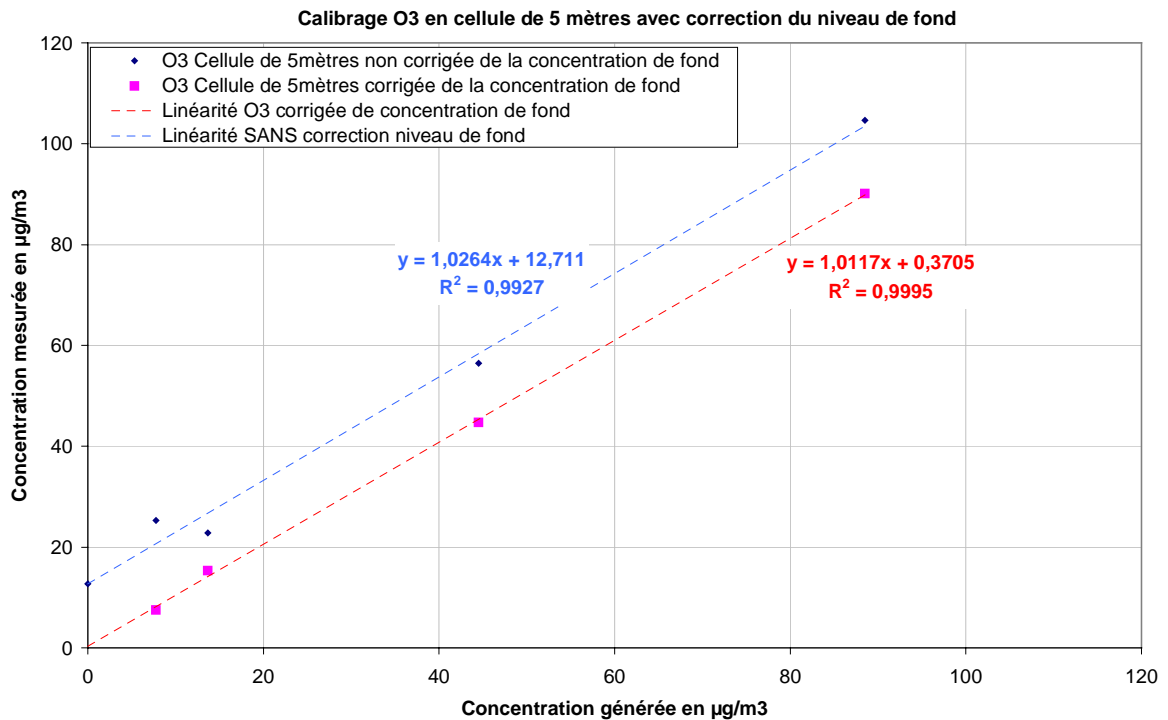
La moyenne des valeurs 3 minutes mesurées par l'appareil en dehors des périodes d'alimentation des cellules de calibrage s'élève à 13,16 µg/m<sup>3</sup> (sur gaz réel, non corrigé de la pression et de la température), pour un écart-type expérimental de 3,06 µg/m<sup>3</sup>. Il est rappelé que, compte tenu de la configuration choisie par le constructeur, toutes les mesures négatives étaient invalidées et mises à zéro, réduisant de ce fait l'écart-type expérimental et augmentant la valeur moyenne. Néanmoins, compte tenu de la concentration en ozone dite de fond de l'ordre de 10 µg/m<sup>3</sup>, aucune valeur négative fut obtenue par le DOAS, garantissant de ce fait les résultats obtenus.

Au cours de la période d'essais, l'intensité lumineuse moyenne reçue par le spectromètre dans les plages de longueur d'onde caractéristiques du O<sub>3</sub> était de 80 % pour un écart type de 0,7%.

On trouvera en annexe C l'ensemble des résultats obtenus avec le O<sub>3</sub>.

Les droites de calibrage en O<sub>3</sub> correspondantes sont reportées ci-dessous pour les essais sur cellules longues. Il ne nous a pas été possible d'effectuer une courbe de calibrage pour les essais utilisant les cellules internes, compte tenu de l'absence d'un calibrateur haute concentration.

Un test visant à évaluer la dépendance de la réponse du DOAS aux fortes concentrations d'ozone et de particules fut réalisé. Pour cela nous avons généré des concentrations élevées en ozone et nous avons fortement atténué le flux lumineux. Nous avons pu confirmer que les mesures fournies par l'appareil n'étaient pas nulles ou invalidées en présence d'une très forte concentration en ozone (200 ppb) et lorsque le flux lumineux devient faible (24 %).



*Figure 3*

Les courbes de calibrage ainsi obtenues ont pour équation, respectivement :

- $c_0 = 1,01c_r + 0,37$  ( $O_3$  corrigé de l'évolution de la concentration de fond)
- $c_0 = 1,03c_r + 12,71$  ( $O_3$  non corrigé de l'évolution de la concentration de fond)
- sachant que la concentration de fond était de  $13,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour un écart-type expérimental de  $+3\mu\text{g}/\text{m}^3$

où :

- $c_0$  est la concentration mesurée par l'analyseur Environnement SA
- $c_r$  la concentration réelle équivalente sur 95 mètres, déduite de la concentration mesurée au moyen des analyseurs INERIS grâce à la relation :

$$c_r (\mu\text{g} / \text{m}^3) = c_m (\text{ppm}) \times \frac{46}{24} \times \frac{293}{273 + T} \times \frac{p}{101325} \times \frac{l}{95}, \text{ avec } T \text{ la température dans les cellules en } ^\circ\text{C}, p \text{ la pression dans les cellules en Pascal et } l \text{ la longueur de la cellule de calibrage en mètre.}$$

Compte tenu des écarts-types expérimentaux observés, on peut conclure que les droites de calibrage en  $O_3$ , déterminées, d'une part, sans correction du niveau de fond et, d'autre part, avec correction du niveau de fond (zéro intermédiaire), ne sont pas significativement différentes. De plus, l'ordonnée à l'origine obtenue sans correction du niveau de fond est de l'ordre de grandeur de ce dernier obtenu en absence d'alimentation des cellules.

Nous n'avons pas constaté d'interférence du gaz  $NO_2$  sur la mesure de l'ozone.

En revanche, nous avons constaté une interférence du polluant SO<sub>2</sub> sur la mesure de l'ozone. En effet, la présence de fortes concentrations en gaz SO<sub>2</sub> engendre une interférence négative sur la mesure de l'ozone. Compte tenu de l'invalidation automatique des données négatives (configuration constructeur), il ne nous a pas été possible de quantifier cette interférence. Néanmoins nous avons constaté qu'une concentration en SO<sub>2</sub> d'environ 60 µg.m<sup>-3</sup> entraîne une interférence sur l'ozone d'environ -1 µg.m<sup>-3</sup>. De même, une concentration en SO<sub>2</sub> de 600 µg.m<sup>-3</sup> entraîne une interférence sur l'ozone supérieure à 10 µg.m<sup>-3</sup> (la mesure DOAS du niveau de fond passe de 9 µg.m<sup>-3</sup> à une valeur négative sous l'action de la présence de 600 µg.m<sup>-3</sup> de gaz SO<sub>2</sub>). Nous conseillons donc à AIRAQ de se mettre en rapport avec le constructeur afin d'une part, de modifier cette invalidation de données négatives et, d'autre part, d'évaluer cette interférence et de la limiter.

## 10. SYNTHÈSE

---

Les essais réalisés sur l'appareil SANOA pour le compte d'AIRAQ n'ont pas mis en évidence de dysfonctionnement de l'appareil. En particulier, pour le NO<sub>2</sub> et le SO<sub>2</sub>, la procédure de calibrage utilisant la cellule intégrée à l'appareil est équivalente à celle mise en œuvre par l'INERIS (cellules de 1 et 2 mètres de longueur).

Cette évaluation de l'équivalence des procédures n'a pas pu être menée sur le polluant O<sub>3</sub> du fait de l'absence de générateur d'ozone haute concentration. Néanmoins, l'évaluation réalisée sur une cellule de 5 mètres n'a pas montré de dysfonctionnement de l'appareil. En revanche, nous avons constaté une interférence du gaz SO<sub>2</sub> sur la mesure de l'ozone.

Les droites de calibrage obtenues à l'INERIS pour les polluants gazeux NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> ne sont valables que dans les conditions d'essais dans la galerie souterraine de l'INERIS et ne sauraient être extrapolées à l'appareil sur son site final d'implantation.

Au cours de l'installation sur site, il conviendra de vérifier que l'appareil n'invalide pas les données de mesure en NO<sub>2</sub> lorsque les concentrations en ce composé sont faibles.

Ces essais ont également mis en évidence une modification de la configuration logiciel vis-à-vis des précédents instruments, entraînant une invalidation des mesures négatives : interprétées comme une concentration nulle par les DOAS. Il serait important d'autoriser l'obtention de résultats négatifs qui sont réels compte tenu de la technique de mesure, afin de ne pas influencer les outils statistiques de traitement et d'analyse de données. En effet, la technique DOAS utilise un traitement optique par méthode différentielle autorisant donc l'obtention de résultats négatifs contrairement à d'autres instruments tels que ceux fonctionnant par chimiluminescence qui utilisent un rendement de conversion donc nécessairement positif. Cette invalidation des mesures négatives est issue d'un paramétrage constructeur du logiciel de traitement des signaux DOAS.

Les modifications de la configuration logiciel étant en dehors de notre domaine d'intervention (limitée à l'évaluation d'instrument), nous conseillons à AIRAQ de contacter le constructeur et de lui demander de veiller à fournir une configuration initiale qui soit conforme aux exigences des utilisateurs.

Enfin, nous avons évalué, d'une part, l'effet du taux de lumière sur la mesure de l'ozone en se plaçant sous deux situations différentes (80 % et 24 % de lumière) et d'autre part l'effet de fortes concentrations (200 ppb d'ozone). Les résultats obtenus n'ont pas mis en évidence de dépendance et autorisent donc l'utilisation de cet instrument en atmosphère polluée et pour des flux lumineux entre 100 % et environ 20 %. Il s'agit d'un résultat important car le groupe d'utilisateur DOAS avait mis en évidence la perte de données O<sub>3</sub> lors de journées fortement polluées par ce gaz.

## 11. LISTE DES ANNEXES

---

<b>Repère</b>	<b>Désignation précise</b>	<b>Nb/N° pages</b>
A	Résultats pour le polluant gazeux SO <sub>2</sub>	2/15
B	Résultats pour le polluant gazeux NO <sub>2</sub>	2/17
C	Résultats pour le polluant gazeux O <sub>3</sub>	2/19
D	Données météorologiques et stabilité temporelle	2/21
E	Technique DOAS et unité de mesure du niveau de fond	2/23
F	Calibration DOAS et génération de gaz	2/25

## ANNEXE A : RESULTATS DES CALIBRAGES AVEC LE SO<sub>2</sub>

### 12. EVALUATION CELLULE LONGUE SUR 60 MIN

Évaluation DOAS AIRAQ le 03.09.02: essai avec t=60mn								
		Point 0	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
SO <sub>2</sub>	Concentration générée dans la cellule de 2m	0,00	0,00	0,54	1,07	2,10	6,25	10,57
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)			B1+C+ D	A1+C+ D	B2+C+ D	B2+C	B3+C+ D
	Concentration générée (µg/m <sup>3</sup> @24°C)	0,00	0,00	30,07	59,15	116,00	345,32	584,34
	Incertitude concentration générée (µg/m <sup>3</sup> )			0,40	0,80	1,56	4,54	7,87
	Concentration moyenne DOAS (µg/m <sup>3</sup> )	0,81	0,55	33,05	66,30	131,16	374,16	657,40
	Nombre de points de mesure DOAS	18	21	21	19	17	18	15
	Écart Type sur la concentration DOAS	0,89	0,64	1,35	1,15	1,34	0,96	1,33

### 13. EVALUATION CELLULE LONGUE SUR 30 MIN

Évaluation DOAS AIRAQ le 02.09.02: essai avec t=30mn								
		Point 0	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
SO <sub>2</sub>	Concentration générée dans la cellule de 2m	0,00	0,00	0,54	1,07	2,10	6,25	10,57
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)			B1+C+ D	A1+C+ D	B2+C+ D	B2+C	B3+C+ D
	Concentration générée (µg/m <sup>3</sup> @24°C)	0,00	0,00	30,07	59,15	116,00	345,32	584,34
	Incertitude concentration générée (µg/m <sup>3</sup> )			0,40	0,80	1,56	4,54	7,87
	Concentration moyenne DOAS (µg/m <sup>3</sup> )	0,52	0,40	25,06	61,11	129,26	376,68	659,19
	Nombre de points de mesure DOAS	7	10	7	4	6	5	7
	Écart Type sur la concentration DOAS	0,73	0,53	3,15	0,96	0,83	0,61	2,31

### 14. EVALUATION CELLULE COURTE SUR 30 MIN

Évaluation DOAS AIRAQ le 17.09.02: essai direct cellule DOAS avec t=30mn						
		Point 0	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
SO <sub>2</sub>	Concentration générée cellule de 3,47cm	0,00	14,47	73,99	135,10	219,25
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)		A2+C	B4+D	B4+C	B5+C
	Concentration générée (µg/m <sup>3</sup> @25°C)		13,83	70,74	129,16	209,61
	Incertitude concentration générée (µg/m <sup>3</sup> )		0,18	0,93	1,70	2,76
	Concentration moyenne DOAS (µg/m <sup>3</sup> )	1,47	17,15	79,66	137,12	226,02
	Nombre de points de mesure DOAS	6	5	5	4	4
	Écart Type sur la concentration DOAS	1,01	0,96	0,75	1,13	0,40

## 15. ESSAI D'INTERFERENCE, REPETABILITE

Évaluation DOAS AIRAQ le 04.09.02: essai d'interférence avec variation du NO2; t=45mn				
		Point 0	Point 1	Point 2
NO2	Concentration générée dans la cellule de 1m	0,00	3,12	32,85
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)		B2+C+D	A3+C+D
	Concentration générée (µg/m3@24°C)	0,00	62,06	652,69
	Incertitude sur concentration générée (µg/m3)		1,27	13,34
	Concentration moyenne DOAS (µg/m3)	3,33	62,71	654,14
	Nombre de points de mesure DOAS	15	12	13
	Écart Type sur la concentration DOAS	1,95	2,21	2,48
SO2	Concentration générée (µg/m3)	0,00	0,00	0,00
	Concentration moyenne DOAS (µg/m3)	0,59	0,85	0,80
	Nombre de points de mesure DOAS	15	12	14
	Écart Type sur la concentration DOAS	0,79	0,66	0,75
O3	Concentration générée (µg/m3)	0,00	0,00	0,00
	Concentration moyenne DOAS (µg/m3)	15,85	14,31	16,38
	Nombre de points de mesure DOAS	15	12	14
	Écart Type sur la concentration DOAS	1,58	1,82	1,32

Évaluation DOAS AIRAQ le 04.09.02: répétabilité avec t=20 mn puis retour à zéro													
		1	zéro	2	zéro	3	zéro	4	zéro	5	zéro	6	zéro
SO2	Concentration générée dans la cellule de 2m	0,54	0,00	0,54	0,00	0,54	0,00	0,54	0,00	0,54	0,00	0,54	0,00
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)	B1+C+D		B1+C+D		B1+C+D		B1+C+D		B1+C+D		B1+C+D	
	Concentration générée (µg/m3@24°C)	30,07	0,00	30,07	0,00	30,07	0,00	30,07	0,00	30,07	0,00	30,07	0,00
	Incertitude sur concentration générée (µg/m3)	0,40		0,40		0,40		0,40		0,40		0,40	
	Concentration moyenne DOAS (µg/m3)	33,84	0,68	33,68	0,51	34,02	0,31	33,39	0,56	33,20	0,45	33,09	0,44
	Nombre de points de mesure DOAS	6	5	6	40	5	4	5	4	5	5	4	5
	Ecart Type sur la concentration DOAS	1,11	0,66	1,31	0,61	0,73	0,21	0,53	0,54	0,86	0,37	1,36	0,32



## ANNEXE B : RESULTATS DES CALIBRAGES AVEC LE NO<sub>2</sub>

### 1. EVALUATION CELLULE LONGUE, INTEGRATION DE 60 MIN

Evaluation DOAS AIRAQ le 03.09.02: essai avec t=60mn								
		Point 0	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
NO <sub>2</sub>	Concentration générée dans la cellule de 1m	0,00	0,75	1,13	3,12	4,70	13,55	32,85
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)		B1+C+ D	B1+D	B2+C+ D	B2+D	B3+C+ D	A3+C+ D
	Concentration générée (µg/m <sup>3</sup> @24°C)	0,00	14,84	22,38	62,06	93,47	269,20	652,69
	Incertitude concentration générée (µg/m <sup>3</sup> )		0,30	0,45	1,27	1,89	5,50	13,34
	Concentration moyenne DOAS (µg/m <sup>3</sup> )	1,29	16,02	22,45	63,91	88,90	267,69	643,02
	Nombre de points de mesure DOAS	19	19	19	20	20	18	19
	Ecart Type sur la concentration DOAS	1,43	2,42	1,74	1,94	2,13	3,22	2,79

### 2. EVALUATION CELLULE LONGUE, INTEGRATION DE 30 MIN

Evaluation DOAS AIRAQ le 02.09.02: essai avec t=30mn								
		Point 0	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
NO <sub>2</sub>	Concentration générée dans la cellule de 1m	0,00	0,75	1,13	3,12	4,70	13,55	32,85
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)		B1+C+ D	B1+D	B2+C+ D	B2+D	B3+C+ D	A3+C+ D
	Concentration générée (µg/m <sup>3</sup> @24°C)	0,00	14,84	22,38	62,06	93,47	269,20	652,69
	Incertitude sur concentration générée (µg/m <sup>3</sup> )		0,30	0,45	1,27	1,89	5,50	13,34
	Concentration moyenne DOAS (µg/m <sup>3</sup> )	2,01	15,27	20,25	62,67	84,20	265,43	641,26
	Nombre de points de mesure DOAS	8	7	7	8	9	8	7
	Ecart Type sur la concentration DOAS	1,26	1,30	0,93	1,42	0,79	2,56	1,54

### 3. EVALUATION CELLULE COURTE, INTEGRATION DE 30 MIN

Évaluation DOAS AIRAQ le 17.09.02: essai direct cellule DOAS de 3,47cm avec t=30mn							
		Point 0	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	
NO <sub>2</sub>	Concentration générée dans la cellule 3,47cm	0,00	19,89	93,20	168,30	290,78	
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)		A2+C	B4+D	B4+C	B5+C	
	Concentration générée (µg/m <sup>3</sup> @25°C)	0,00	13,67	64,04	115,65	199,82	
	Incertitude sur concentration générée (µg/m <sup>3</sup> )			0,28	1,29	2,34	4,04
	Concentration moyenne DOAS (µg/m <sup>3</sup> )	0,00	0???	41,34	97,88	181,61	
	Nombre de points de mesure DOAS				5	4	4
	Écart Type sur la concentration DOAS				4,27	0,55	1,14

#### 4. ESSAI D'INTERFERENCE, REPETABILITE

Évaluation DOAS AIRAQ le 05.09.02: essai d'interférence avec variation du SO2; t=30mn					
		Point 0	Point 1	Point 2	Point 0
NO2	Concentration générée (µg/m3)	0,00	0,00	0,00	0,00
	Concentration moyenne DOAS (µg/m3)	0,30	1,22	0,00	1,53
	Nombre de points de mesure DOAS	11	9	7	2
	Écart Type sur la concentration DOAS	0,89	1,36	0,00	2,07
<b>SO2</b>					
SO2	Concentration générée dans la cellule de 2m	0,00	1,07	10,57	0,00
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)		A1+C+D	B3+C+D	
	Concentration générée (µg/m3@24°C)	0,00	59,15	584,34	0,00
	Incertitude sur concentration générée (µg/m3)		0,80	7,87	
	Concentration moyenne DOAS (µg/m3)	0,94	67,50	653,19	1,01
	Nombre de points de mesure DOAS	11	9	7	2
	Écart Type sur la concentration DOAS	0,79	2,53	3,14	1,42
<b>O3</b>					
O3	Concentration générée (µg/m3)	0,00	0,00	0,00	0,00
	Concentration moyenne DOAS (µg/m3)	9,06	8,32	0,00	8,98
	Nombre de points de mesure DOAS	11	9	7	2
	Écart Type sur la concentration DOAS	0,56	0,82	0,00	0,30

Évaluation DOAS AIRAQ le 04.09.02: répétabilité avec t=20 mn puis retour à zéro													
		1	zéro	2	zéro	3	zéro	4	zéro	5	zéro	6	zéro
NO2	Concentration générée cellule de 1m	0,75	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)	B1+C+D		B1+C+D		B1+C+D		B1+C+D		B1+C+D		B1+C+D	
	Concentration générée (µg/m3@24°C)	14,84	0,00	14,84	0,00	14,84	0,00	14,84	0,00	14,84	0,00	14,84	0,00
	Incertitude concentration générée (µg/m3)	0,30		0,30		0,30		0,30		0,30		0,30	
	Concentration moyenne DOAS (µg/m3)	17,42	2,98	17,79	5,46	19,71	4,24	16,10	1,46	15,43	3,67	18,92	3,34
	Nombre de points de mesure DOAS	5	4	6	40	5	4	5	4	5	5	4	5
Écart Type sur la concentration DOAS	2,96	1,05	1,30	2,96	2,48	1,71	6,06	1,75	1,66	2,98	4,12	3,67	

## ANNEXE C : RESULTATS DES CALIBRAGES AVEC O<sub>3</sub>

### 5. EVALUATION CELLULE 5 METRES, INTEGRATION DE 60 MIN

Evaluation DOAS AIRAQ le 05.09.02: essai 03 avec t=60mn								
		Point 0	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6
O <sub>3</sub>	Concentration générée (µg/m <sup>3</sup> )	0,00	7,77	13,66	20,66	44,49	61,99	88,49
	Concentration moyenne DOAS (µg/m <sup>3</sup> )	<b>12,75</b>	<b>25,28</b>	<b>22,84</b>		<b>56,48</b>		<b>104,68</b>
	zéro intermédiaire		<b>17,76</b>	<b>7,50</b>		<b>11,75</b>		<b>14,57</b>
	concentration mesurée réelle		<b>7,52</b>	<b>15,34</b>		<b>44,73</b>		<b>90,11</b>

### 6. ESSAIS D'INTERFERENCE, REPETABILITE

Evaluation DOAS AIRAQ le 05.09.02: essai d'interférence avec variation du SO <sub>2</sub> ; t=30mn					
		Point 0	Point 1	Point 2	Point 0
NO <sub>2</sub>	Concentration générée (µg/m <sup>3</sup> )	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	Concentration moyenne DOAS (µg/m <sup>3</sup> )	<b>0,30</b>	<b>1,22</b>	<b>0,00</b>	<b>1,53</b>
	Nombre de points de mesure DOAS	11	9	7	2
	Ecart Type sur la concentration DOAS	0,89	1,36	0,00	2,07
<b>SO<sub>2</sub></b>					
SO <sub>2</sub>	Concentration générée dans la cellule de 2m	<b>0,00</b>	<b>1,07</b>	<b>10,57</b>	<b>0,00</b>
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)		A1+C+D	B3+C+D	
	Concentration générée (µg/m <sup>3</sup> @24°C)	<b>0,00</b>	<b>59,15</b>	<b>584,34</b>	<b>0,00</b>
	Incertitude sur concentration générée (µg/m <sup>3</sup> )		0,80	7,87	
	Concentration moyenne DOAS (µg/m <sup>3</sup> )	<b>0,94</b>	<b>67,50</b>	<b>653,19</b>	<b>1,01</b>
	Nombre de points de mesure DOAS	11	9	7	2
	Ecart Type sur la concentration DOAS	0,79	2,53	3,14	1,42
	<b>O<sub>3</sub></b>				
O <sub>3</sub>	Concentration générée (µg/m <sup>3</sup> )	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	Concentration moyenne DOAS (µg/m <sup>3</sup> )	<b>9,06</b>	<b>8,32</b>	<b>0,00</b>	<b>8,98</b>
	Nombre de points de mesure DOAS	11	9	7	2
	Ecart Type sur la concentration DOAS	0,56	0,82	0,00	0,30

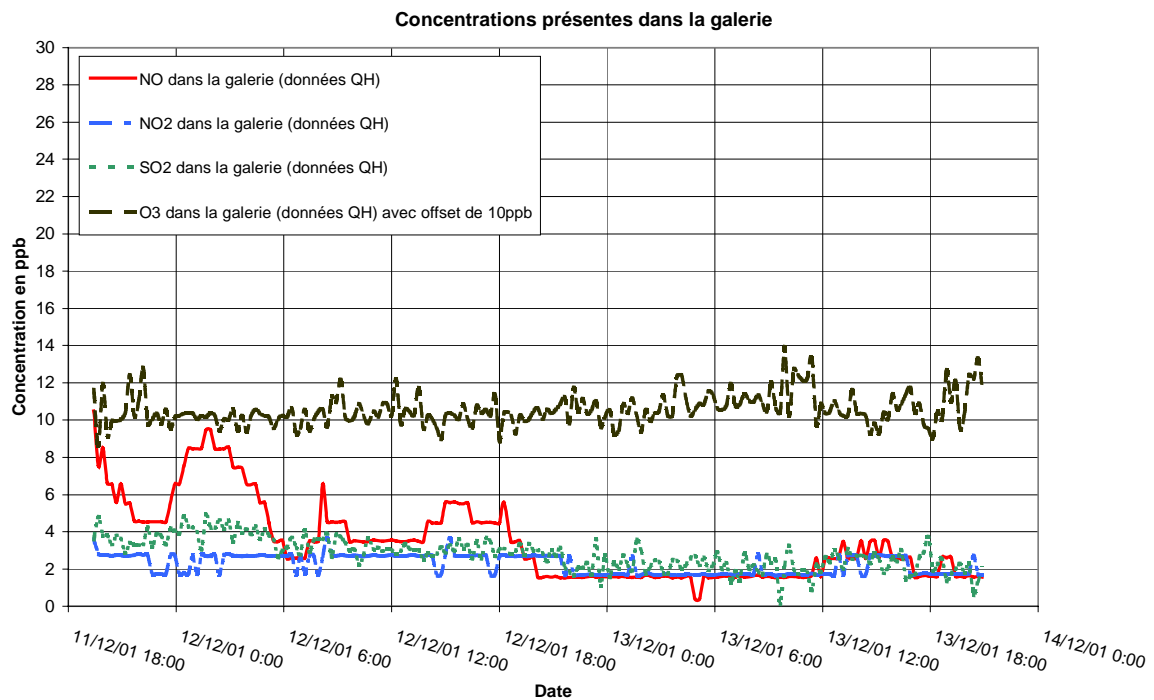
<b>Evaluation DOAS AIRAQ le 04.09.02: essai d'interférence avec variation du NO2; t=45mn</b>				
		Point 0	Point 1	Point 2
<b>NO2</b>	Concentration générée dans la cellule de 1m	<b>0,00</b>	<b>3,12</b>	<b>32,85</b>
	Points de Dilution (Diluteur quaternaire)		B2+C+D	A3+C+D
	Concentration générée (µg/m3@24°C)	<b>0,00</b>	<b>62,06</b>	<b>652,69</b>
	Incertitude sur concentration générée (µg/m3)		1,27	13,34
	Concentration moyenne DOAS (µg/m3)	<b>3,33</b>	<b>62,71</b>	<b>654,14</b>
	Nombre de points de mesure DOAS	15	12	13
	Ecart Type sur la concentration DOAS	1,95	2,21	2,48
<b>SO2</b>	Concentration générée (µg/m3)	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	Concentration moyenne DOAS (µg/m3)	<b>0,59</b>	<b>0,85</b>	<b>0,80</b>
	Nombre de points de mesure DOAS	15	12	14
	Ecart Type sur la concentration DOAS	0,79	0,66	0,75
<b>O3</b>	Concentration générée (µg/m3)	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	Concentration moyenne DOAS (µg/m3)	<b>15,85</b>	<b>14,31</b>	<b>16,38</b>
	Nombre de points de mesure DOAS	15	12	14
	Ecart Type sur la concentration DOAS	1,58	1,82	1,32

## ANNEXE D : DONNEES METEOROLOGIQUES ET STABILITE TEMPORELLE

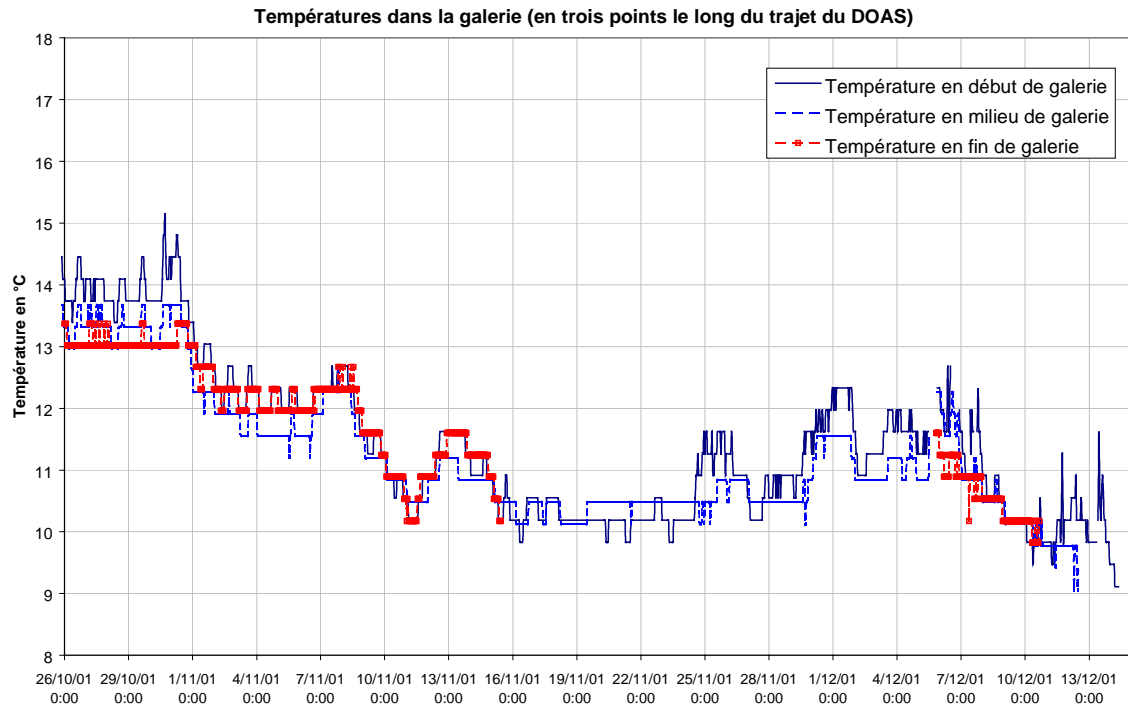
Une étude fut réalisée durant l'été 2001 visant à évaluer les caractéristiques météorologiques et chimiques dans la galerie ainsi que sa stabilité.

On a observé que les concentrations en SO<sub>2</sub> et NO<sub>2</sub> sont stables et correspondent à des niveaux de fond caractéristiques de zones rurales :

- Moyenne NO<sub>2</sub> : environ 3 ppb avec un écart type de 1 ppb
- Moyenne SO<sub>2</sub> : environ 3 ppb avec un écart type de 1 ppb
- Moyenne NO : environ 4 ppb avec un écart type de 2 ppb traduisant vraisemblablement quelques légères émissions matinales dues au trafic local à proximité de la galerie.



On a effectué un contrôle de la température le long du trajet optique du DOAS (3 points répartis dans la galerie). Un gradient de température inférieur à 1°C fut constaté entre les 3 points de mesures, confirmant la stabilité de la galerie.



## ANNEXE E : TECHNIQUE DOAS ET UNITE DE MESURE DU NIVEAU DE FOND

### 7. DESCRIPTION DE L'APPAREIL DOAS SANOA

---

Il se décompose en 2 parties réparties sur deux sites (émission et réception) :

- Le module d'émission composé d'une lampe de 150 W émettant sur la gamme UV et visible.
- L'unité de réception intégrant un télescope de collection du flux lumineux ainsi qu'un spectromètre d'analyse Cette unité est connectée à un ordinateur distant via un câble RS232.

### 8. DESCRIPTION DE L'UNITE D'EVALUATION DU NIVEAU DE FOND :

---

Un suivi des niveaux de fond présents dans la galerie était effectué au centre de la galerie, durant la semaine d'évaluation du DOAS. Cette unité se composait de 3 analyseurs ( $O_3$ ,  $NO_x$  et  $SO_2$ ) préalablement raccordés à un étalon de transfert NIST :



*Figure 4 : unité d'évaluation des concentrations dans la galerie*

## ANNEXE F : CALIBRATION DOAS ET CIRCUIT DE GENERATION EN GAZ

### 9. MONTAGE DE CONTROLE DES CONCENTRATIONS EN SO<sub>2</sub> ET NO<sub>2</sub>

Les concentrations en NO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub> étaient générées dans les deux cellules en utilisant des bouteilles hautes teneurs couplées à deux systèmes de dilutions quaternaires par buses soniques :

- Bouteille de SO<sub>2</sub> : B50 dosée à 805 ppm avec une incertitude de 2%
- Bouteille de NO<sub>2</sub> : B50 dosée à 803 ppm avec une incertitude de 2%
- Complément de dilution : air zéro
- Diluteurs quaternaires : SONIMIX LNI 8021, dilutions par vannes levier/ bascules sur des buses soniques sans volume mort.

Les teneurs générées étaient analysées en sortie de cellule par des analyseurs haute concentration raccordés.

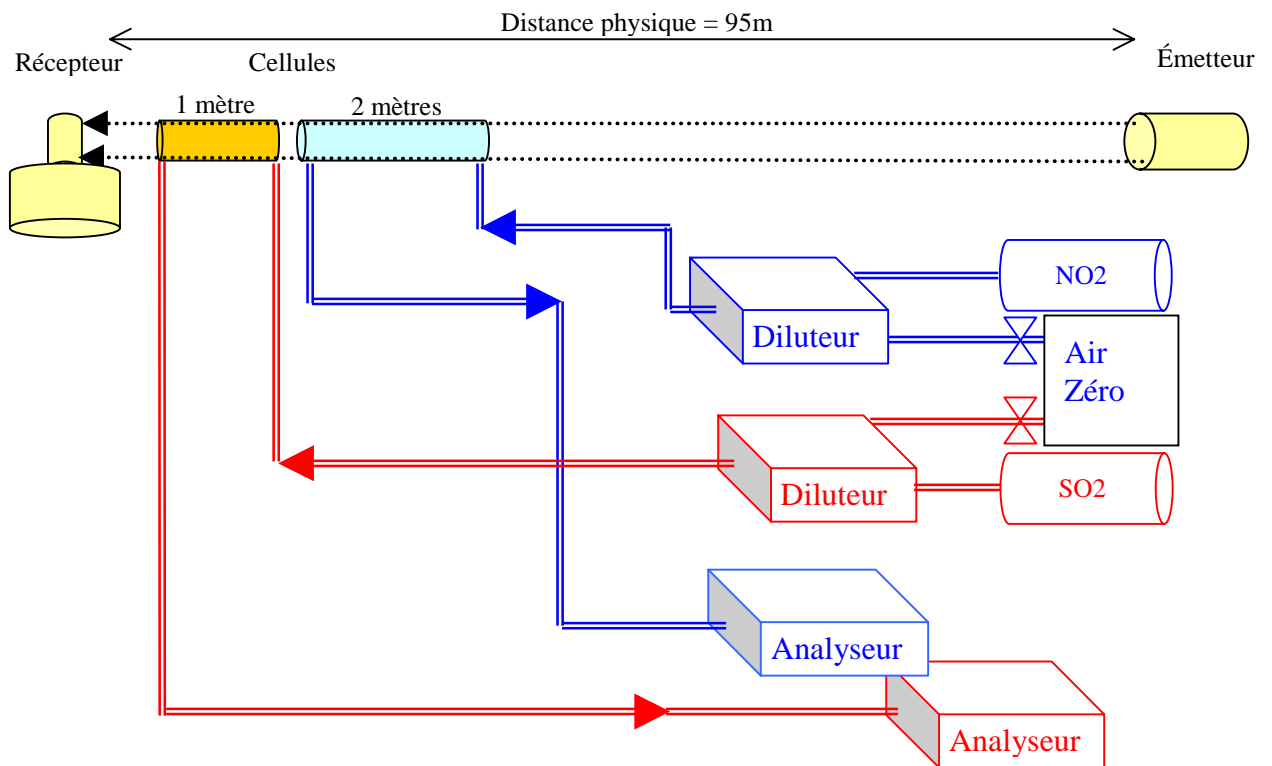


Figure 4 : montage de génération et de contrôle des gaz pour les polluants NO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub>



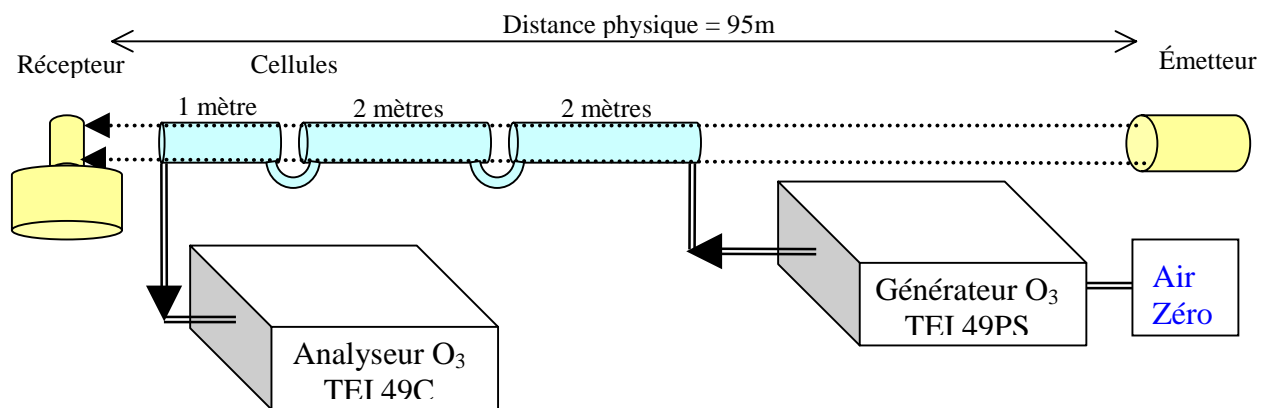
## 10. MONTAGE DE CONTROLE DE LA CONCENTRATION EN O<sub>3</sub>

:

Les concentrations en O<sub>3</sub> étaient générées dans une cellule équivalente de 2 mètres, en utilisant un calibrateur d’ozone TEI 49PS raccordé au LNE. Cet appareil possède une très grande stabilité de la concentration générée et est utilisé comme instrument de référence lors du raccordement des analyseurs d’ozone présents dans les AASQA.

Les teneurs générées étaient contrôlées en sortie de cellule par un analyseur d’ozone basse concentration TEI 49C sur la gamme 0-200 ppm.

Ce montage nous a permis d’effectuer une courbe de calibrage du DOAS sur la gamme 0-40 ppb. Afin de vérifier le fonctionnement du DOAS pour de fortes concentrations en ozone, nous avons ensuite utilisé un générateur d’ozone haute concentration qui nous a permis d’obtenir une concentration équivalente sur 95 m d’environ 200 ppb.



*Figure 5 : montage de génération et de contrôle des gaz pour O<sub>3</sub>*

# **ANNEXE 2**

**Annexe 2: Cahier des charges INERIS du  
calibrateur d'ozone haute teneur**

DRC-02-39200-AIRE n° 285-EFr/AFi

Verneuil-en-Halatte, le 27 mai 2002

☎ E. FREJAFON 03 44 55 63 13

Fax direct : 03 44 55 63 02

e-mail : [emeric.frejafon@ineris.fr](mailto:emeric.frejafon@ineris.fr)

**Objet :** Cahier des charges d'un calibrateur d'ozone haute concentration pour les instruments à long trajet optique de types DOAS et LIDAR

Madame, Monsieur,

L'INERIS, dans le cadre de sa mission d'assistance aux AASQA au travers du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA), s'intéresse notamment depuis de nombreuses années aux instruments à long trajet optique de types LIDAR et DOAS et notamment sur leurs aspects métrologiques. Ainsi, des méthodes de calibrage ont été mises en place au moyen de cellules de calibrage, nécessitant la génération de gaz étalon en forte concentration. S'il est relativement aisé d'obtenir des cylindres de gaz étalons pour les polluants SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, Benzène et Toluène en concentrations supérieures à 1 000 ppmV, cela n'est en revanche pas réalisable dans le cas du polluant ozone.

De ce fait, nous souhaiterions posséder un instrument de calibrage pour le polluant ozone qui soit adapté aux instruments à long trajet optique. En effet, leur technique particulière de calibrage au moyen de cellules courtes impose la génération d'ozone à très haute concentration (>1 000 ppmV) et ce, de manière reproductible et stable.

Ce calibrateur d'ozone LIDAR/DOAS devra donc, d'une part, générer une forte concentration d'ozone stable et nous devons également connaître exactement la concentration générée. Il est donc formé de deux entités qui pourront être jumelées ou indépendantes :

- une unité de génération d'ozone sur la gamme 0-2 000 ppmV,
- une unité d'analyse de la concentration d'ozone sur la gamme 0-2 000 ppmV.

### **Description de l'unité de génération d'ozone**

Les caractéristiques de l'unité de génération d'ozone devront être les suivantes :

- plage de génération d'ozone : au moins 16 points répartis sur une gamme de 0 ppmV à au moins 2 000 ppmV,
- affichage du taux de lumière généré par pas de 1% sur la gamme 0-100%,
- sortie haute teneur par raccord métallique,
- sortie basse teneur avec facteur de dilution de 1 000, par buses soniques passivées,

- précision sur la génération, incluant l'incertitude sur la valeur affichée : 1%,
- durée de stabilisation : < 5 minutes,
- répétabilité et reproductibilité des mesures : <1%,
- contrôle de la pression d'entrée en Air sec avec affichage en façade avant,
- débit sortie: > 2 Normo-Litres /Minute avec une régulation du débit meilleure que 5%,
- contrôle thermostatique de la génération,
- alimentation électrique : 230VAC et 12VDC,
- connexions gaz entrées / sorties : par raccord double bague 1/4" métallique,
- temps de mise en route : < 60 minutes,
- température de fonctionnement : de 10°C à 40°C,
- humidité : aucune contrainte,
- étanchéité : garantie meilleure de  $10^{-7}$  stdcc/sec He,
- dimensions: 19' de type rack en un ou deux modules,
- poids : < 20 kg,
- sortie analogique et numérique du taux de lumière, de la pression d'entrée, du débit de sortie ainsi que des alarmes pour enregistrement sur unité d'acquisition de type AOIP ou autres.

### **Description de l'unité d'analyse de la concentration d'ozone**

Les caractéristiques de l'unité d'analyse de la concentration d'ozone devront être les suivantes :

- plage de mesure : de 0 ppmV à au moins 2 000 ppmV,
- affichage de la concentration sur façade avant,
- précision sur la mesure : 1%,
- répétabilité et reproductibilité des mesures : <1%,
- débit entré: < 1 Nlitre/Min,
- contrôle thermostatique de la chambre d'analyse,
- filtre téflon en entrée,
- filtre ozone en sortie par charbon actif en option,
- valeur du  $I_0$  par photomètre étalon et non pas Scrubber,
- alimentation électrique : 230VAC et 12VDC,
- connexions gaz entrées / sorties : par raccord double bague 1/4" métallique,
- temps de mise en route : < 60 minutes,
- température de fonctionnement : de 10°C à 40°C,

- humidité : aucune contrainte,
- dimensions: 19' de type rack en un ou deux modules,
- poids : < 20 kg,
- sortie analogique et numérique de la concentration, des paramètres de mesures ainsi que des alarmes pour enregistrement sur unité d'acquisition de type AOIP ou autres.

Dans l'hypothèse où vous seriez à même de délivrer toute ou partie de ce calibrateur d'ozone, nous vous serions reconnaissant de bien vouloir nous transmettre une offre commerciale ainsi que les descriptions techniques (spécifications, principe de fonctionnement) associées.

Enfin, dans la mesure où les performances techniques de cet instrument ainsi que ses caractéristiques métrologiques sont d'une importance capitale dans l'utilisation que nous souhaitons en faire, l'engagement financier de l'INERIS ne pourra se faire qu'après une évaluation complète des caractéristiques de l'appareil ou de chacune de ces deux unités, nécessitant, de ce fait, leur mise à disposition à l'INERIS durant une période supérieure à 30 jours.

Dans l'espoir que ce cahier des charges puisse correspondre à un instrument en votre possession, veuillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de mes salutations distinguées.

# **ANNEXE 3**

## **Annexe 3: Campagne de mesure Chamonix**

# EFFET DES VARIATIONS DU TRAFIC ROUTIER : CAMPAGNE DU TUNNEL DU MONT BLANC

## 1. INTRODUCTION

---

Dans le cadre de nos missions LCSQA relatives aux instruments DOAS, il était convenu d'effectuer une campagne DOAS axée sur une étude de modulation de trafic.

Nous avons alors étudié la faisabilité d'une campagne de mesures s'effectuant lors de la réouverture du tunnel du Mont Blanc. Cette perspective s'est avérée être la configuration idéale pour notre étude.

En effet, la vallée de Chamonix possède une configuration optimale de modulation de trafic. La fermeture du tunnel du Mont Blanc a entraîné une chute très importante du flux de véhicules circulant dans la vallée. Par exemple, le trafic quotidien des poids lourds était de 2 500 PL par jour avant sa fermeture. Sa réouverture en circulation alternée a engendré un trafic au moins identique compte tenu du report des poids lourds utilisant le tunnel de Fréjus.

Néanmoins, la réouverture tardive et partielle ( VL et PL <7,5t) du tunnel ne nous a pas permis de remplir nos objectifs en 2002. Nous avons alors réalisé une seconde campagne, dans le cadre du programme LCSQA, en collaboration avec l'étude POVA.

Notre DOAS qui a fonctionné de janvier 2002 à mai 2002 , puis de janvier 2003 à mars 2003, couplé à une station de mesure d'analyseurs ponctuels ainsi qu'à l'instrumentation de la vallée par les collaborateurs de POVA, va nous permettre d'effectuer une analyse de la qualité de l'air intégrée spatialement afin d'évaluer l'impact local d'un flux de véhicules.

Les polluants suivis sont le NO, le NO<sub>2</sub>, le SO<sub>2</sub>, ainsi que le benzène et le toluène en maxima horaires ; tous ces polluants étant caractéristiques du trafic routier.

La vallée de Chamonix, de par ces conditions météorologiques rudes, nous à tout de même apporté de nombreuses contraintes :

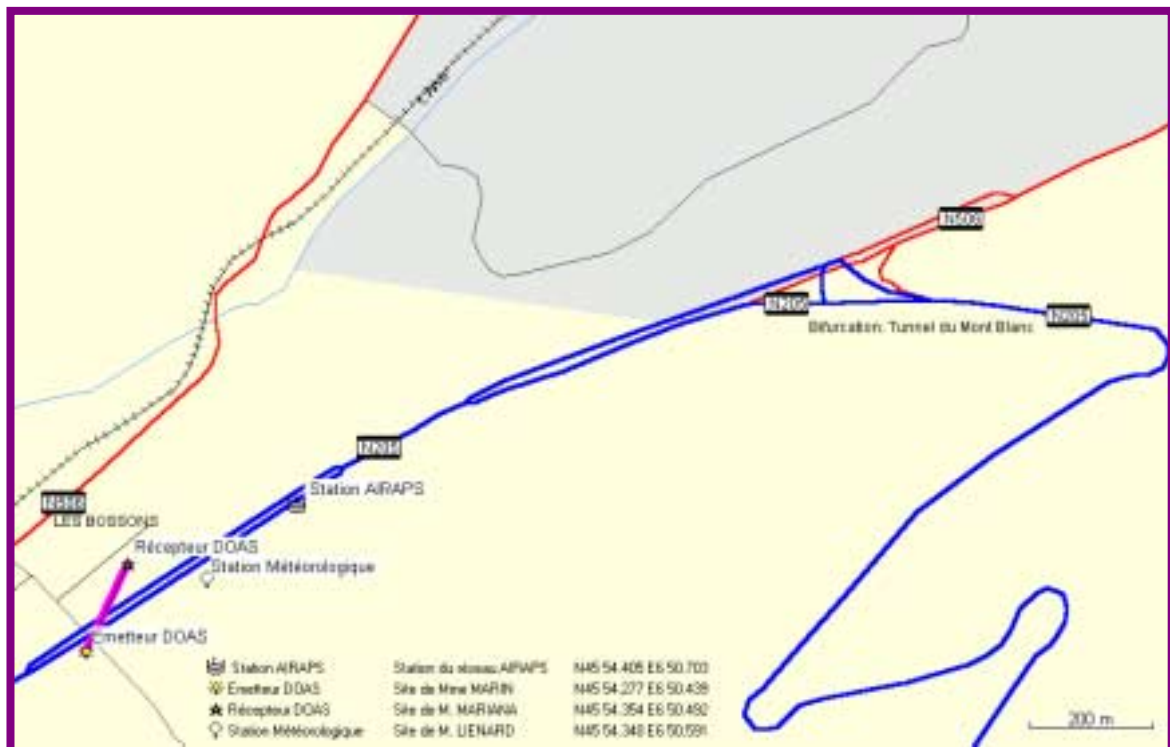
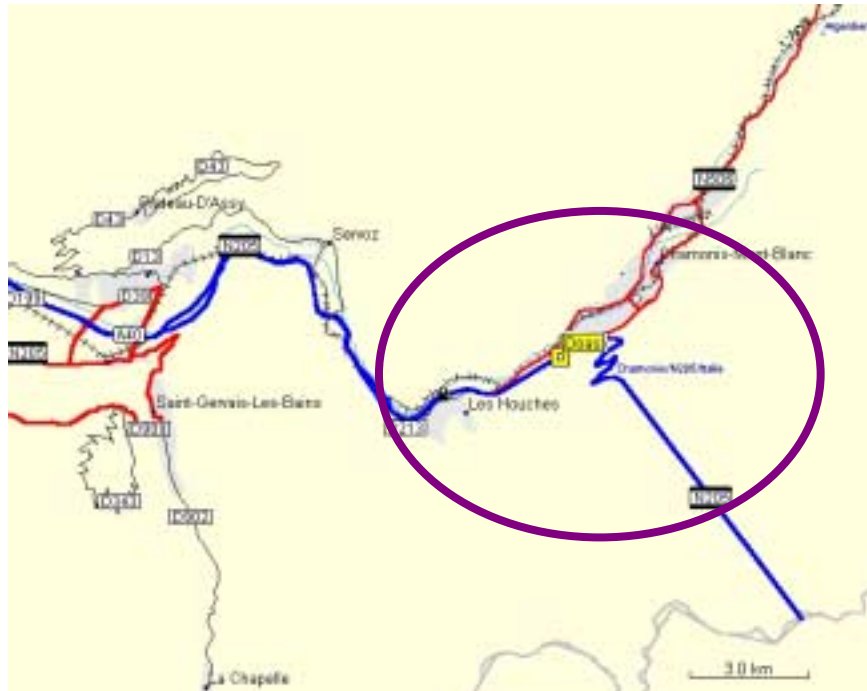
- Les périodes de gel et de dégel entraînant un mouvement non négligeable du sol, qui nous a obligés à changer de site.
- Les micro-coupures du réseau électrique qui ont engendré une destruction de notre lampe ainsi que de notre alimentation.
- Un bug informatique qui a entraîné la perte de données durant deux semaines.
- Les périodes de neige intensive et de brouillard qui ont réduit fortement notre intensité lumineuse et ainsi perturbé nos mesures.

Ces nombreuses contraintes nous ont permis d'obtenir un retour d'expérience sur les points importants de l'installation d'un DOAS.

Un rapport final sera rédigé courant mai 2003, le présent rapport ne faisant état que de la mise en place de nos campagnes et d'une interprétation des premiers résultats obtenus, interprétation qui sera approfondie à la fin de la seconde campagne.

## 2. DESCRIPTION DETAILLEE DE LA CAMPAGNE DE MESURE

Le trafic du tunnel du Mont Blanc emprunte la Nationale 205 jusqu'aux Houches, puis bifurque sur le Tunnel trois kilomètres avant d'arriver à Chamonix. Cette nationale, qui se trouve en milieu de vallée, est composée pour sa quasi-totalité d'une 2 fois 2 voies, présentant un fort dénivelé d'une manière générale.





Polluants mesurés de manière continue : la sensibilité du DOAS vis-à-vis du NO<sub>2</sub> et du SO<sub>2</sub> permet une étude des niveaux dits de fond, qui seront donc quantifiés, toutes les 3 minutes, lors de cette campagne de mesure.

Polluants suivis de manière continue : la sensibilité du DOAS vis-à-vis du NO, du benzène et du toluène ne permet que difficilement une étude des niveaux dits de fond. Ainsi nous proposons un suivi de ces deux polluants, ne pouvant garantir des résultats validés sur l'ensemble de la période de mesure.

Mesures annexes : une station météorologique a également été installée à proximité du DOAS, afin d'effectuer un suivi de la vitesse et de la direction du vent, de la température, de la pression, de l'humidité et enfin du rayonnement global. Cela permettra notamment de mieux comprendre et quantifier les phénomènes liés aux processus de formation de NO<sub>2</sub> le long de cet axe routier.

Distance optimale de mesure : afin d'optimiser la qualité des données, il était souhaitable que le DOAS soit positionné afin de mesurer, d'une part, le SO<sub>2</sub> et le NO<sub>2</sub> et, d'autre part, de suivre les évolutions du NO, du benzène et du toluène. Les distances optimales de mesures sont différentes suivant le polluant mesuré. Ainsi, par exemple, la distance maximale de mesurage du NO est d'environ 200 m. En revanche la distance optimale de mesure du SO<sub>2</sub> est de l'ordre de 250 m. Nous en avons déduit qu'une distance d'environ 150 m à 200 m était donc optimale pour cette étude.

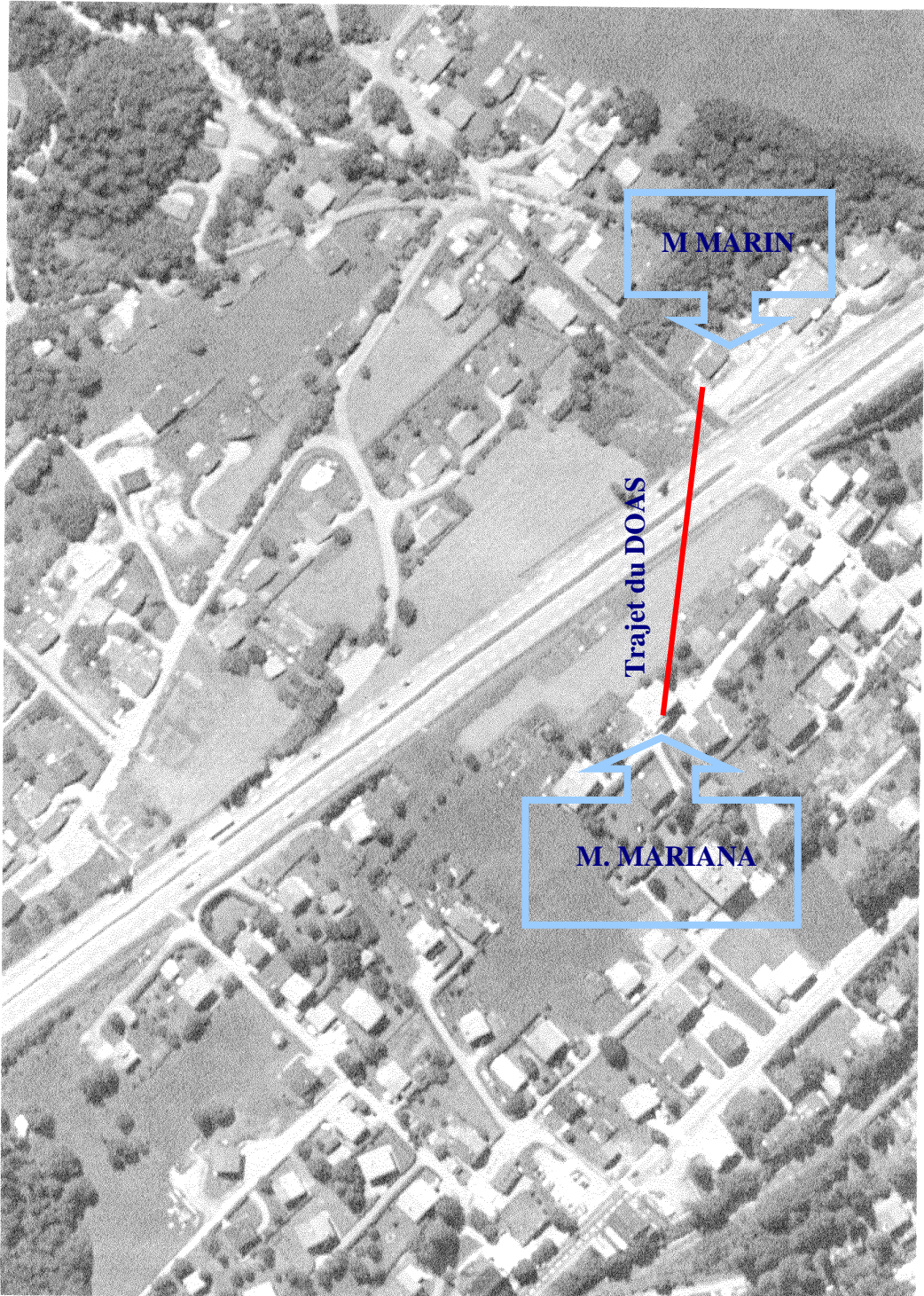
Nuisances : Le positionnement de l'émetteur bien au-dessus de la zone de visibilité des conducteurs de véhicule, ainsi que sa divergence, n'entraînent aucune gêne oculaire de ces derniers. Il est également à noter que la divergence du faisceau émis limite toute gêne du voisinage.

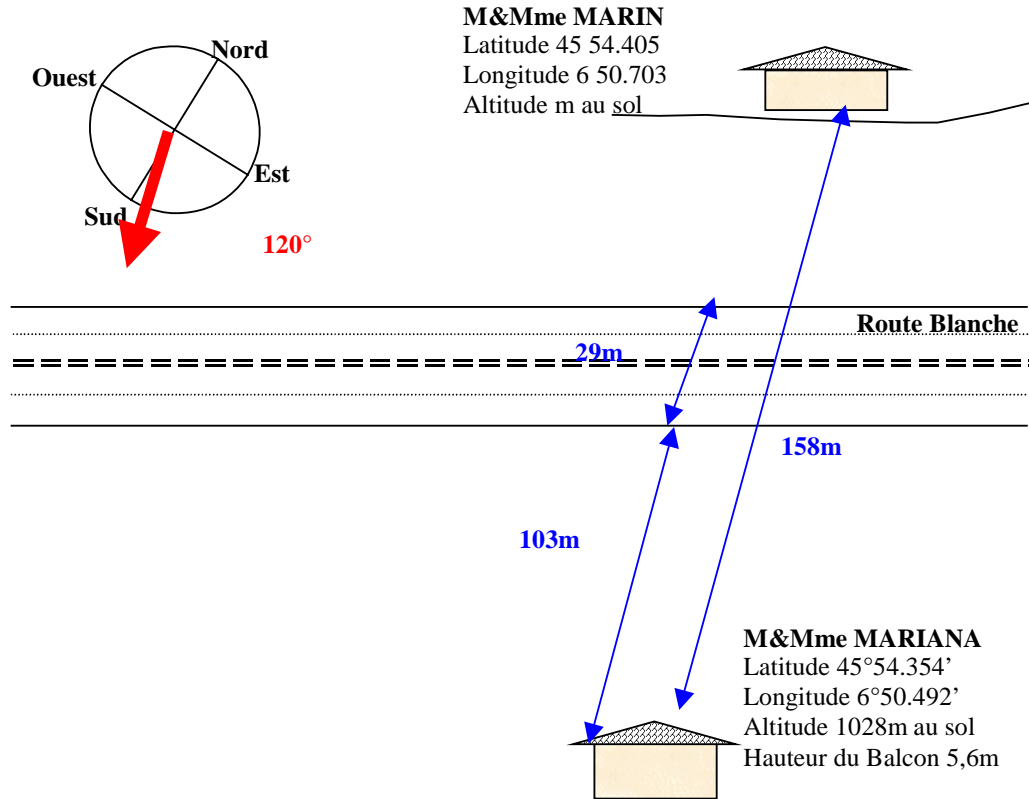
## **LOCALISATION PRECISE DE LA CAMPAGNE DE MESURES**

### Localisation du site de mesure :

- Lieu-dit « les Bossons », 74400 Chamonix Mont Blanc,
- 1 400 m en aval de la bifurcation entre les nationales N205 et N506 : cette bifurcation correspond à la voie d'accès au tunnel.
- Perpendiculairement à la nationale 205, appelée « Route Blanche ».
- La hauteur de mesure est de 6 m, soit donc environ 2 m au-dessus des poids lourds.

La mesure DOAS est donc effectuée perpendiculairement à la N205, sur une distance intégrée de 158 m, à une hauteur de 6 m au-dessus de la route.





Maison de M&Mme MARIANA qui est vue depuis M&Mme MARIN



Maison de M&Mme MARIN

## **INSTALLATION DU DOAS : SITE EMETTEUR**

### Localisation du site :

- Monsieur et Madame MARIN



Aménagement du site : Le récepteur se situant sur un balcon bétonné, aucun aménagement quant à la sensibilité aux vibrations ainsi qu'aux fluctuations thermiques n'est nécessaire.

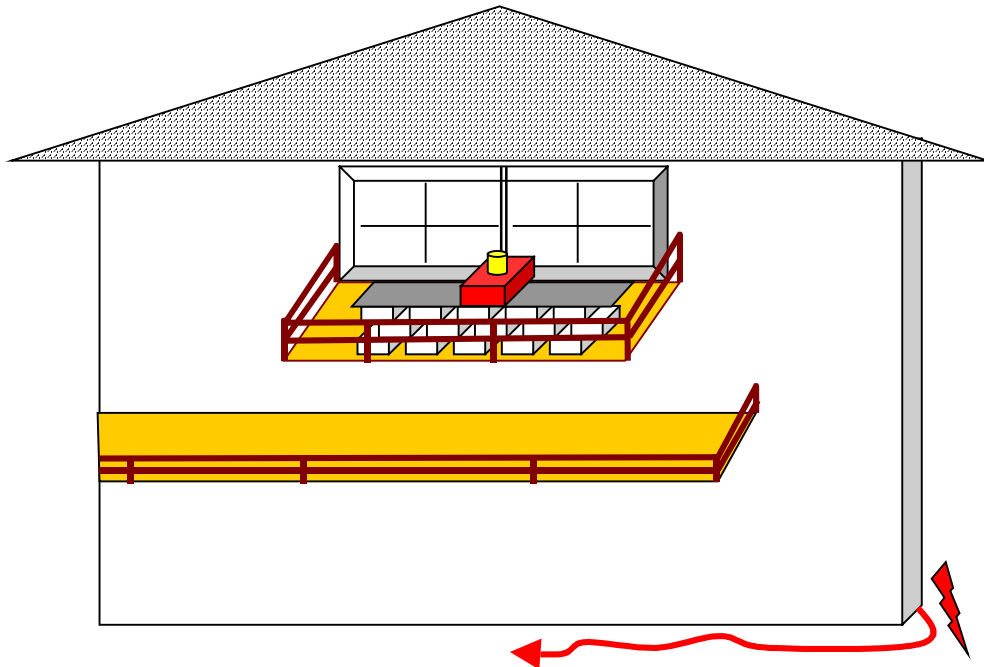
Le branchement électrique 220V/16A se fait chez les particuliers.

Cet aménagement de site est nécessairement réversible et ne doit en aucun cas être visible pendant ou à l'issue de la campagne. Ainsi aucun scellement n'a été effectué.

## **INSTALLATION DU DOAS : SITE RECEPTEUR**

### Localisation du site :

- Monsieur et Madame MARIANA
- Sur le balcon supérieur, comme le montre la figure et la photo ci-dessous :



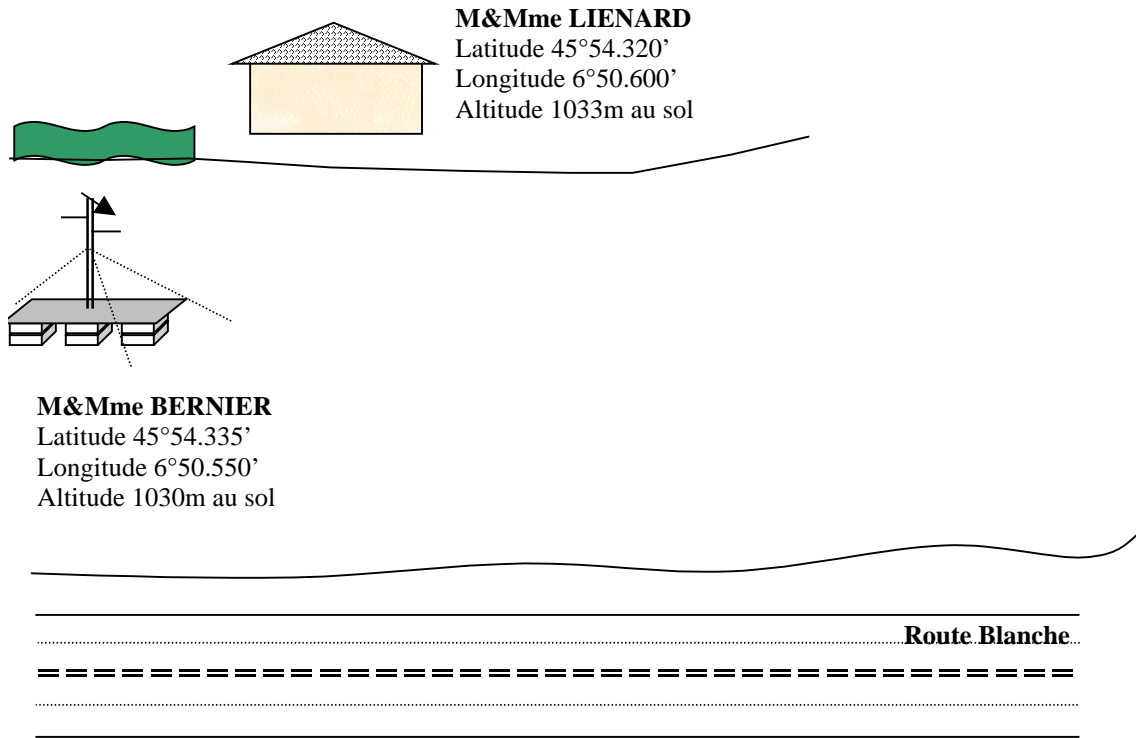
Aménagement du site : Le récepteur a été fixé sur des moellons placés sur le balcon, aucun scellement n'a été effectué.

## **INSTALLATION DE LA STATION METEOROLOGIQUE**

Etant donné notre collaboration en 2003 avec la campagne POVA, cet aménagement n'a été nécessaire que lors de la campagne 2002.

Localisation du site :

- Monsieur et Madame BERNIER
- Sur le terrain situé entre la maison de M. & Mme LIENARD et la « Route Blanche », comme le montre la figure ci-dessous



Aménagement du site : cet instrument est autonome (aucune alimentation électrique nécessaire). En revanche, il était important de pouvoir la fixer sur un terrain stable. Pour ce faire, un aménagement, tel que décrit ci-dessous a été effectué par la Mairie de Chamonix :

- 1 plaque de béton d'environ L200cm, l200cm, e20cm,
- 10 moellons standards.

Cet aménagement de site était nécessairement réversible : aucun scellement n'a été effectué.

### 3. RESULTATS PRELIMINAIRES

Les seuls résultats que nous pouvons fournir aujourd'hui sont une première exploitation des premiers résultats de 2003 distinguant clairement l'alternat opéré par le tunnel du Mont Blanc ainsi que la dilution des polluants (cf. graphique ci-après).

Une première comparaison des niveaux dits « de fond », nous est en effet, à l'état actuel de notre seconde campagne, impossible étant donné les conditions climatiques.

Les températures de cette année s'avèrent être plus douces qu'en 2002. Une comparaison des niveaux de fond ne peut s'opérer que si les conditions climatiques sont identiques, notamment au niveau des températures. A l'issue de notre campagne 2003, une telle interprétation sera possible.

## Mesure des NO<sub>x</sub>, Avec l'alternance (janvier 2003)

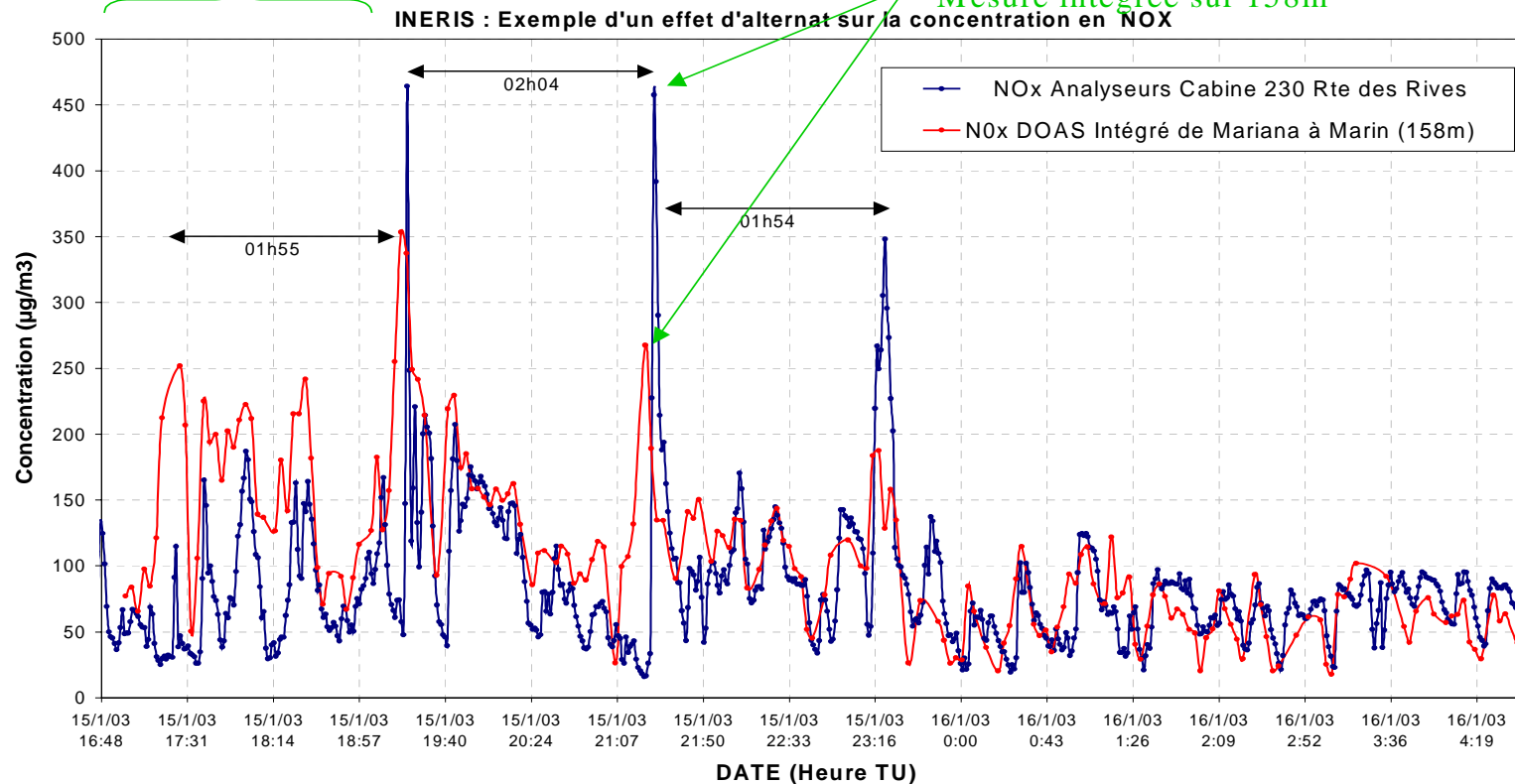
Carrefour de la Vigilance:

Blocage de l'alternance au carrefour de la Vigie

Dilution :

Mesure ponctuelle à 15m de la route

Mesure intégrée sur 158m



## 4. RETOUR D'EXPERIENCE

---

### ➤ Contraintes des températures

La contrainte principale des DOAS est l'installation délicate nécessitant de lourds aménagements afin d'éviter toutes vibrations mécaniques ou fluctuations thermiques entraînant un désalignement entre le projecteur et le récepteur. Les sites émetteur et récepteur doivent donc être situés sur des supports stables mécaniquement et thermiquement.

Le premier site de l'émetteur que nous avons choisi, ne répondait pas aux exigences d'une telle installation. En effet, nous n'avions pas pris en compte les conséquences engendrées par les périodes de gel et de dégel de la vallée de Chamonix. Les températures variaient d'environ  $-10^{\circ}\text{C}$  à  $5^{\circ}\text{C}$ . A de telles variations thermiques, le sol subit un mouvement vertical sous l'effet du gel et du dégel du sol. Ce phénomène soulevait notre cabine qui supportait l'émetteur de quelques centimètres, alors qu'elle se trouvait sur une dalle de béton de 500 kg.



Une variation de quelques centimètres côté émetteur engendrait un décalage, pouvant aller jusqu'à plus d'un mètre côté récepteur, ce qui nécessite de fréquents réglages.

Une campagne autonome étant impossible dans ces circonstances, nous nous sommes installés sur le balcon bétonné de Monsieur et Madame MARIN.

Il est donc important de prendre en compte lors d'installation de DOAS sur des sites soumis à des climats rigoureux en hiver, le mouvement important du sol en période de gel et de dégel. Il est alors plutôt conseillé de se fixer sur un mur ou sur un balcon en bois, qui lui offre une plus grande stabilité qu'un socle en béton (sauf s'il est « hors gel », c'est-à-dire, enterré jusqu'à 1,50m dans le sol).





➤ Micro-coupures électriques

Branchement de l'émetteur et du récepteur sur des lignes ondulées. En effet, nous avons eu à déplorer un incident technique (destruction de la lampe et de son alimentation) suite à une micro-coupure électrique sur le site émetteur. En effet, en présence de micro-coupures, la lampe de l'émetteur s'éteint et reste en défaut (nécessité de débrancher l'émetteur, puis de le rebrancher afin de ré-allumer la lampe). Cela induit alors un phénomène de condensation sur la lampe si elle reste éteinte plusieurs jours et peut ensuite entraîner sa détérioration lors de son ré-allumage, voire une détérioration totale de son alimentation.

➤ Bug informatique

Notre logiciel fonctionne en corrélation avec Windows 98 ou 95, donc même s'il tourne sous DOS, il reste en lien continu avec Windows. Or, le programme du pilotage du DOAS nécessite d'être en tâche principale.

Ainsi lors du changement d'heure le 31 mars 2002, la demande de confirmation de Windows a arrêté le logiciel d'acquisition du DOAS. Windows attendait en effet une validation du changement d'heure, ayant pour conséquence l'arrêt du programme. Pour une utilisation autonome du DOAS, il faut veiller à retirer tous les programmes, ainsi que toutes les fonctionnalités système qui pourraient bloquer temporairement le logiciel.

A terme, un guide sera rédigé, reprenant les contraintes et les bonnes pratiques d'installation d'un SANO pour un fonctionnement quasi-autonome.

# **ANNEXE 4**

**Annexe 4: Campagne de mesure sur zone  
aéroportuaire: Lyon-St-Exupéry**

# Campagne de Mesure DOAS sur la zone aéroportuaire de Lyon-Saint-Exupéry

## **1. CADRE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS :**

---

L'INERIS, dans le cadre de sa mission d'assistance auprès des AASQA, avait programmé la réalisation d'une campagne DOAS sur zone aéroportuaire, avec pour objectif principal de démontrer la faisabilité d'une surveillance intégrée et son utilité dans la quantification de l'impact environnemental d'un émetteur hétérogène ayant une large extension spatiale.

Par ailleurs, dans le cadre de la mise en place de l'ISO 14000 relative à la prise en compte de l'impact environnemental, l'Aéroport Lyon-Saint Exupéry adhère à l'association de surveillance de la qualité de l'air COPARLY. Dans ce cadre, l'Aéroport Lyon-Saint Exupéry a souhaité engager en partenariat avec COPARLY une vaste étude sur la qualité de l'air en 2001-2002, qui concerne à la fois le recensement des émissions et la surveillance de la qualité de l'air ambiant. Ce projet devrait permettre à l'aéroport de quantifier les impacts direct et indirect des émissions liées à l'activité aérienne.

De ce fait, il nous a paru important d'effectuer une collaboration active entre ces deux projets, notamment dans le but de concrétiser les actions suivantes :

- Fournir une assistance sur l'implémentation d'un DOAS au sein des AASQA et plus particulièrement dans le cadre de leurs campagnes de mesures. Cela devait permettre à COPARLY d'accéder à un retour d'expérience important sur l'utilisation de leur appareil et plus particulièrement dans le cadre de campagnes de mesures temporaires : contraintes d'implantation, mise en route et maintenance, fonctionnement.
- Démontrer l'apport de la technique DOAS dans l'évaluation de l'impact environnemental d'une source diffuse, notamment dans son couplage avec des instruments de mesures ponctuels.
- Effectuer un couplage entre différentes techniques de mesurage, afin d'accéder à des informations complémentaires, telles que la spatialisation des émissions ou leurs réactivités chimiques.

## 2. MISE EN PLACE DE LA CAMPAGNE



*Instrumentation de la zone aéroportuaire : sites des 3 DOAS, Tubes passifs, stations*

### 2.1 INSTRUMENTS ENGAGES ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES SITES

Les instruments engagés dans cette campagne de mesure, par l'INERIS ou par COPARLY, étaient les suivants :

- DOAS SANOA INERIS pour les polluants NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et les BTX.
- DOAS OPSIS AMPASEL, pour les polluants NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> prêté pour la campagne.
- DOAS 2000 COPARLY, pour les polluants NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et afin pour la première fois, les BTX
- Stations d'analyseurs INERIS, pour la mesure des polluants NO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et BTX (FID/PID, Synthec 8500)
- Station d'analyseurs COPARLY, pour la mesure des polluants NO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> et BTX (FID, AC71M)
- Laboratoire mobile COPARLY, pour la mesure des polluants NO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM10 et BTX (Synthec 8000)
- Remorque mobile COPARLY, pour la mesure des polluants NO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM10.
- Campagne de 2 fois 1 semaine Tube passif BTX répartis sur 10 sites
- Campagne Canistère de 1 jour sur 3 sites.

## 2.2 INSTALLATION DU OAS SANOA INERIS « HALL CENTRAL »

Le site retenu était situé au niveau du hall central, de manière à accéder à une mesure intégrée de la qualité de l'air sur la zone de chargement/déchargement des passagers. Le parcours optique est de 160 m Nord-Sud, pour un dénivelé d'environ 10 m.

### 2.2.1 Description de l'instrument

Il s'agit d'un instrument bistatique nécessitant la fourniture d'une servitude électrique en deux points distants d'environ 250 m. Chacun de ces deux points devra posséder un support stable ne subissant aucune fluctuation mécanique ou thermique. Le toit du bâtiment, composé d'une dalle de béton de très large épaisseur, permettrait une installation aisée de cet appareil, notamment au moyen de chevilles de fixation.



*DOAS SANOA : à gauche l'unité de réception et à droite l'unité d'émission.*

### 2.2.2 Installation site émetteur (Toit de l'hôtel Sofitel)

Le point retenu a été le toit du bâtiment technique de l'ascenseur de l'hôtel Sofitel, comme le montre les deux photos ci-dessous.



Pour avoir la plus grande stabilité thermique et mécanique possible, sans pour autant détériorer l'étanchéité du toit de ce bâtiment, le point de fixation de l'émetteur a été renforcé par une équerre à 4 points de fixation verticaux (fixation sur les parois verticales du bâtiment et non pas par le dessus où se trouve la jonction d'étanchéité).

### 2.2.3 Installation site Récepteur (Toit du Terminal 1, Pilote 4, Porte 15)



**Trajet optique**

**Poste de contrôle DOAS  
portes d'embarquement**



**Équerre**

**Récepteur**

**émetteur**

Pour les mêmes raisons que ci-dessus, nous avons utilisé une équerre spécifique.

Comme nous le verrons dans les paragraphes traitant du fonctionnement des appareils, cette installation nous a permis d'obtenir un taux de fonctionnement de plus de 90 %, confirmant de ce fait la très bonne stabilité thermique et mécanique obtenue en utilisant ces deux équerres.

### 2.3 INSTALLATION DE LA STATION DE MESURE « HOTEL SOFITEL »

La station de mesure a été installée à proximité immédiate du site émetteur (environ 10 m), dans un bâtiment technique du même type.



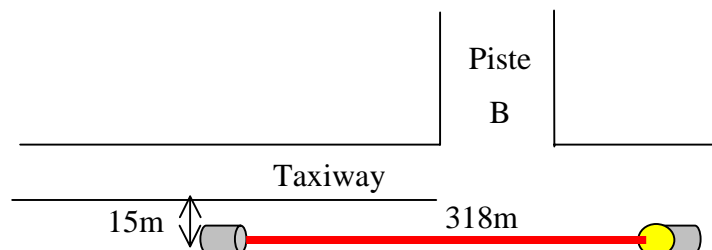
Elle était caractérisée par les instruments suivants :

- 1 analyseur NO<sub>x</sub> TEI, calibré par l'INERIS puis raccordé à l'étalon national par COPARLY
- 1 analyseur O<sub>3</sub> TEI, calibré par l'INERIS puis raccordé à l'étalon national par COPARLY
- 1 analyseur SO<sub>2</sub> TEI calibré par l'INERIS puis raccordé à l'étalon national par COPARLY
- 1 analyseur PID/FID BTX Synthec 8500 ainsi que son générateur d'hydrogène, son générateur d'air zéro et enfin un cylindre B20 de N<sub>2</sub>. Il était très important de posséder un générateur d'hydrogène et non pas un cylindre haute pression, compte tenu de la réglementation aéroportuaire sur l'utilisation de gaz inflammable ou explosibles.
- 1 station d'acquisition AOIP paramétré pour l'acquisition de données moyennées sur une période de 1 minute.

Sur les photos, nous observons à gauche les différents analyseurs, au centre une vue détaillée du site tube passif (abris en aluminium de type « cage à oiseaux ») et la ligne de prélèvement ; enfin à droite, une vue générale du bâtiment technique.

## 2.4 INSTALLATION DU OAS OPSIS AMPASEL « PISTE B SUD »

Le site retenu était situé en retrait immédiat de la piste B atterrissage, côté Sud, comme le montre le plan au début de la section 2. Le trajet optique avait une distance de 318 m, parallèle au taxiway d'accès à la piste B, 15m en retrait de ce dernier



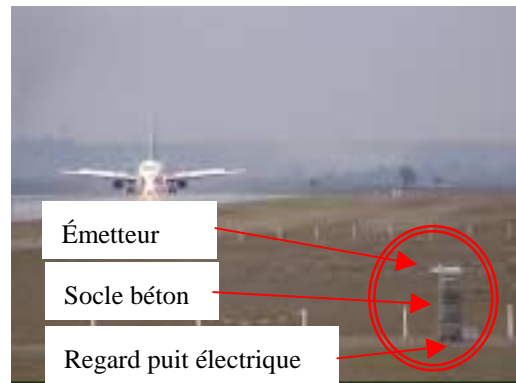
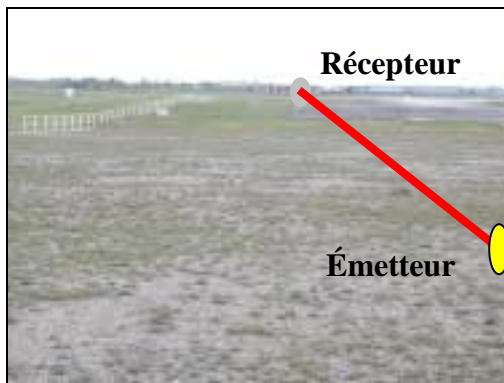
### 2.4.1 Description de l'instrument

Il s'agit d'un instrument bistatique nécessitant la fourniture d'une servitude électrique en deux points distants d'environ 300 m. Chacun de ces deux points devra posséder un support stable ne subissant aucune fluctuation mécanique ou thermique. Une visite du site a permis de montrer la présence de dalles en béton le long des bâtiments techniques présents sur cette zone. L'installation le long de ces bâtiments serait alors aisée.



*DOAS OPSIS : à gauche les unités d'émission et de réception, à droite l'unité de traitement.*

#### 2.4.2 Installation du site émetteur



*Aperçu du trajet optique et du socle de l'émetteur*

La stabilité de l'émetteur (vis-à-vis de vibrations mécaniques lors du passage des avions et vis-à-vis des variations thermiques en période hivernale) a été optimisée en utilisant un socle en béton scellé sur un regard de poste électrique enterré. Nous avons, en effet, utilisé comme support thermique stable un regard de poste électrique réformé : bâtiment enterré donc en zone hors gel. Par ailleurs, afin d'obtenir un socle d'environ 1,8 m de haut, stable thermiquement et insensible aux vibrations, tout en restant fragile en cas de collision avec un avion, nous avons utilisé des regards de bétons creux, scellés entre eux par du joint silicone.



### 2.4.3 Installation du site récepteur



Aperçu du trajet optique et du socle du récepteur et de son unité de traitement

La stabilité du récepteur ( vis-à-vis de vibrations mécaniques lors du passage des avions et vis-à-vis des variations thermiques en période hivernale) a été optimisée, comme dans le cas de l'émetteur, en utilisant un socle en béton scellé sur un regard de poste électrique enterré. Nous avons en effet utilisé comme support thermique stable un regard de poste électrique réformé : bâtiment enterré donc en zone hors gel. Par ailleurs, afin d'obtenir un socle d'environ 1,2 m de haut, stable thermiquement et insensible aux vibrations, tout en restant fragile en cas de collision avec un avion, nous avons utilisé des regards de bétons creux, scellés entre eux par du joint silicone.

## 2.5 INSTALLATION DU DOAS 2000 COPARLY « PISTE A SUD »

Le site retenu était situé en retrait immédiat de la piste A décollage, côté Sud. Il se trouvait également à proximité de la station de mesures COPARLY. Le trajet optique d'un système monostatique est égal au trajet émetteur-rétrorefléteur-récepteur, soit donc deux fois la distance entre le shelter et le rétro réflecteur. Ainsi l'intégration spatiale du DOAS était de 2 fois 230 m, soit donc 460 m. l'orientation du trajet optique était Est-Ouest, parallèle au taxiway reliant la piste A, comme le montre le plan en début de section 2.

### 2.5.1 Description technique

Il s'agit d'un instrument monostatique nécessitant la fourniture d'une servitude électrique en un seul point. Chacun de ces deux points devra néanmoins posséder un support stable ne subissant aucune fluctuation mécanique ou thermique. L'avantage majeur de cet instrument réside dans le fait qu'un seul point du site de mesure nécessite une servitude électrique et une installation particulière, le second point pouvant être un trépied fixé au sol par 3 pieux ayant un large diamètre.



*DOAS 2000 MEGATEC : à gauche l'unité d'émission/réception, au centre le rétro- réflecteur et à droite l'unité de traitement.*

### 2.5.2 Installation du site émetteur/récepteur

Cabine analyseurs

Support tube passif

Réception

Émission

Réception

Spectromètre

Émission

PC



*Aperçu de l'unité d'émission/réception ainsi que de la cabine d'analyseurs COPARLY*

L'unité d'émission/réception a été installée sur la dalle béton d'un transformateur électrique enterré, simplifiant également de ce fait les servitudes nécessaires au fonctionnement de cet instrument et permettant par ailleurs d'en assurer la stabilité thermique et mécanique.

### 2.5.3 Installation du rétro réflecteur

Rétro  
Réflecteur

Support



*Aperçu de rétro réflecteur ainsi que du trajet optique*

Le rétro-rélecteur a été monté sur un trépied photographique, sa stabilité thermique et mécanique étant sans influence sur l'alignement, compte tenu de la spécificité de ce module. On rappellera, en effet, qu'un rétro-rélecteur est un demi-cube qui permet de renvoyer la lumière dans la direction très exacte d'où elle vient, et ce, quelle que soit l'orientation du rétro-rélecteur vis-à-vis du trajet optique (à la base du principe catadioptrique).

## 2.6 INSTALLATION DE LA CAMPAGNE « TUBES PASSIFS BTX »

La campagne de mesure « tubes passifs BTX » avait les caractéristiques suivantes :

- 2 phases de 1 semaine de mesure chacune : du 16 au 13 décembre 2002 et du 6 au 13 janvier 2003
- 10 sites à raison de 1 tube passif par site : 6 sites sur la zone aéroportuaire, 2 sites au Nord, 2 sites au Sud
- Les tubes passifs étaient des Perkin Elmer-Radiello, comme conseillé par le GT utilisateurs.
- Les polluants suivis étaient les BTX.

Les photos ci-dessous et la carte ci-après montrent l'emplacement de ces 10 sites de mesures. On a donc cherché à évaluer la spatialisation des BTX, tant sur la zone aéroportuaire, que dans les environs immédiats.



Site de Mons, périphérie du village (Nord)



Site de Grenay au centre village (Sud)



Site de Satolas/Bons (Sud-Est)



Site de Pusignan (Nord-Ouest)



Site Aéroport, Piste B(Sud)



Site Aéroport, Piste B (Nord)



Site Aéroport, Toit de l'hôtel Sofitel



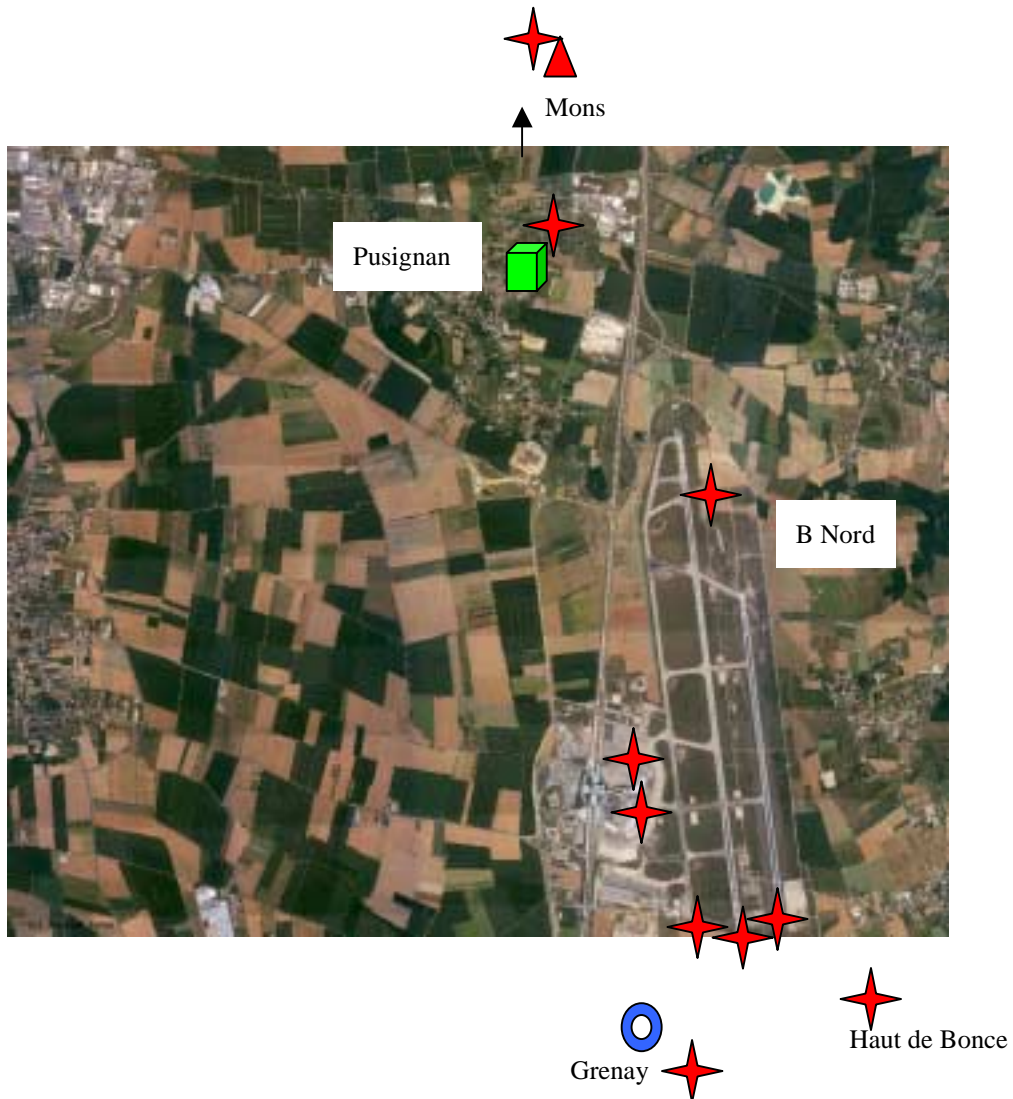
Site Aéroport, Terminal 1, Porte 15



Site Aéroport, Piste A (Sud)



Site Aéroport, entre Piste A et B (Sud)



## 2.7 AUTRES SITES INSTRUMENTES

Trois autres sites furent également instrumentés :

- Station analyseurs COPARLY, Piste A Sud, comme décrit dans la partie traitant des moyens mis en œuvre : SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, BTX. Un aperçu est présenté dans le paragraphe sur l'installation du DOAS 2000 (schématisé par la bouée bleu sur le plan ci-dessus).
- Laboratoire mobile COPARLY, installé à Pusignan (schématisé par le cube vert sur le plan ci-dessus), qui deviendra à l'issue de la campagne, un site de mesure du réseau COPARLY (station en cours d'installation).
- Remorque d'analyse de COPARLY installée à Vilette d'Anton (triangle rouge sur le plan précédent).

### 3. TAUX DE FONCTIONNEMENT

#### 3.1 FONCTIONNEMENT DU DOAS SANOVA INERIS « HALL CENTRAL »

##### Taux de Fonctionnement du DOAS INERIS

Emplacement :	site DOAS-H (Hall central, Terminal1, Porte15)		
Distance trajet optique:	158m		
mise en service	11/12/02	16:24	
arrêt final	13/01/03	10:00	
Nbre mesures	11210		
Nbre manquantes	650	Saturation du signal (Taux lumière >100%)	
Nbre invalidées: N/D	120	Chutes de neiges importantes	

**Fonctionnement % (données obtenues/données possibles) 94**

**Données validées % (Données validées/données possibles) 93**

Cet instrument fut calibré à l'INERIS, en effectuant un protocole identique à celui effectué lors de l'évaluation des nouveaux DOAS devant instrumentés les réseaux (Cf Annexe 1).

Cet instrument a parfaitement fonctionné durant l'ensemble de la campagne de mesures. Par ailleurs, la mise en comparaison des données du DOAS avec la station d'analyse de l'hôtel Sofitel, à démontré la très bonne qualité des données (cf synthèse et sections suivante).

#### 3.2 FONCTIONNEMENT DE LA STATION DE MESURE « HOTEL SOFITEL »

##### Taux de Fonctionnement Analyseur Hôtel Sofitel

Emplacement : site DOAS-H (Hall Aéroport - toit de l'hôtel Sofitel)

**Analyseur NOx** INERIS  
 mise en service 10/12/02  
 arrêt final 13/01/03  
 Nb j Fct 34j  
 Taux Fct 100%

**Analyseur SO2** INERIS  
 mise en service 10/12/02  
 arrêt final 13/01/03  
 Nb j Fct 34j  
 Taux Fct 100%

**Analyseur O3** INERIS  
 mise en service 10/12/02  
 arrêt final 13/01/03  
 Nb j Fct 34j  
 Taux Fct 100%

**Analyseur BTX** INERIS (Syntec)  
 mise en service 08/01/03  
 arrêt final 13/01/03  
 Nb j Fct 5j  
 Taux Fct 100%

Les analyseurs ont été calibrés à l'INERIS, puis raccordés à l'étalon national par le réseau COPARLY une fois qu'ils étaient installés sur site.

Leur fonctionnement a été optimal, sans perte de données durant le mois de campagne. Les données recueillies par l'AOIP sont des données moyennées sur 1 minute.

### 3.3 FONCTIONNEMENT DU DOAS OPSIS AMPASEL « PISTE B SUD »

Cet instrument a été prêté par le réseau AMPASEL, pour les besoins de la campagne de mesures. Nous l'avons testé durant plusieurs semaines à l'INERIS afin de vérifier son bon fonctionnement et d'effectuer un calibrage préliminaire à la campagne.

Nous avons rencontré de sérieux problèmes de dérives, de linéarité et d'offset sur l'instrument. Finalement, après plusieurs tentatives de calibrage infructueuses, où la linéarité était largement supérieure à 2 et l'offset de plusieurs centaines de ppb, nous avons décidé de n'effectuer que la mesure du NO<sub>2</sub> où la réponse de l'appareil semblait correcte et reproductible.

Après avis auprès de constructeur, il semble que le DOAS ait subi une avarie du spectromètre : réseau endommagé par un stockage en milieu humide. AMPASEL, INERIS, l'ADEME et le constructeur OPSIS, dont le représentant français est NEREIDES, devront définir un protocole négocié visant à remettre en état cet appareil. En effet, cet appareil, qui a été livré à AMPASEL en juin 2001, n'a jamais été installé sur site. Or il doit être remis en état et son réseau doit notamment être changé.

Nous avons effectué la mesure du NO<sub>2</sub> durant la campagne de mesures. Un traitement préliminaire des données montre un taux de fonctionnement d'environ 80 %, que nous allons maintenant détailler et analyser. Un rapport complet de fonctionnement sera par ailleurs envoyé à AMPASEL, détaillant les essais de calibrage effectués, les dysfonctionnements constatés et les taux de fonctionnements réalisés.

### 3.4 FONCTIONNEMENT DU DOAS 2000 COPARLY « PISTE A SUD »

#### Taux de Fonctionnement du DOAS de COPARLY

Emplacement :	site DOAS-A (Sud piste A décollage)		
mise en service	14/12/02 16:15		
arrêt *	18/12/02 17:45 Bug Wondows98		
remise en marche	23/12/02 13:40		
arrêt **	27/12/02 13:40 Désalignement trajet optique		
remise en marche	27/12/02 15:20		
arrêt *	01/01/03 06:30 Bug Wondows98		
remise en marche	06/01/03 15:15		
arrêt final	22/01/03 10:00		
	Heures	Jours	
total heures de fonctionnement	683,5	28,5	
total heures d'arrêt	246,5	10,3	
total heures de la campagne	930	38,8	
	Taux données	Taux de données validées	
<b>Taux de Fonctionnement en %</b>	<b>73,49</b>		

Le DOAS 2000 a été calibré et installé sur site avec l'aide du constructeur TEI.

Son fonctionnement ne fut pas optimal durant la campagne de mesures, principalement suite à plusieurs bug informatiques (Défaillance système de Windows 98). Il est regrettable que de tels instruments aient de telles défaillances et l'INERIS souhaiterait que le constructeur TEI corrige ce problème aussi rapidement que possible.

**Taux de Fonctionnement Analyseurs Piste A**

Emplacement : site DOAS-A (Sud piste A décollage)

**Analyseur NOx** AC31MLCD  
 mise en service 10/12/02  
 arrêt final 22/01/03  
 Nb j Fct 43j  
 Taux Fct 100%

**Analyseur SO2** AF21MLCD  
 mise en service 10/12/02  
 arrêt final 22/01/03  
 Nb j Fct 43j  
 Taux Fct 100%

**Analyseur BTX** VOC71MLCD  
 mise en service 10/12/02  
 arrêt final 22/01/03  
 Nb j Fct 43j  
 Taux Fct 100%

Les analyseurs ont été installés dans la cabine, puis raccordés à l'étalon national. Le stockage des données était effectué sur la mémoire des instruments et la récupération était effectuée périodiquement par COPARLY.

Le fonctionnement de tous les instruments a été optimal durant le mois de campagne.

**4. RESULTATS PRELIMINAIRES ET PERSPECTIVES**

---

Une très faible partie des résultats est déjà traitée. Ainsi, nous ne pouvons fournir que des résultats très préliminaires.

**4.1 MISE EN COMPARAISON DE DONNEES DOAS ET D'ANALYSEURS PONCTUELS**

La mise en comparaison des données du DOAS INERIS, avec la station de mesure installée à proximité, nous permet de confirmer la validité des données DOAS. De ce fait, nous avons évalué le DOAS vis-à-vis d'une méthode de référence. Cela nous a permis de montrer qu'il n'y avait pas d'erreur systématique (aucun offset constaté sur les valeurs moyennes respectives) et que l'erreur aléatoire correspondait très exactement à l'écart type constaté sur la valeur moyenne issue de la méthode de référence (l'analyseur).

En effet, l'exemple de la page suivante montre la correspondance entre les données de l'analyseur et celles du DOAS. Ainsi, sur la base de l'exemple ci-dessus, nous avons notamment obtenu les résultats suivants :

- Concentrations moyennes similaires la nuit, en situation d'homogénéité atmosphérique sur la station de mesure et sur tout le long du trajet optique (156 m). En effet, la différence des deux valeurs moyennes obtenues sur ces deux instruments, pour une période nocturne identique, était de 0,2 µg/m<sup>3</sup> pour une concentration moyenne de 3,5 µg/m<sup>3</sup> dans le cas du NO et de 2,5 µg/m<sup>3</sup> pour une concentration moyenne de 35 µg/m<sup>3</sup> dans le cas du NO<sub>2</sub>.
- Les écarts-types associés à ces deux moyennes, correspondaient très exactement entre eux. Et étaient largement supérieurs à l'écart observé entre les instruments.



- Par ailleurs, les variations diurnes sont observées par les deux instruments. De même on observe une dilution moindre car les valeurs maximales sont très proches. En effet, l'analyseur était situé sur le trajet DOAS, mais plus en retrait des émissions, que dans le cas de la campagne de mesures à Chamonix décrite dans l'annexe précédente.

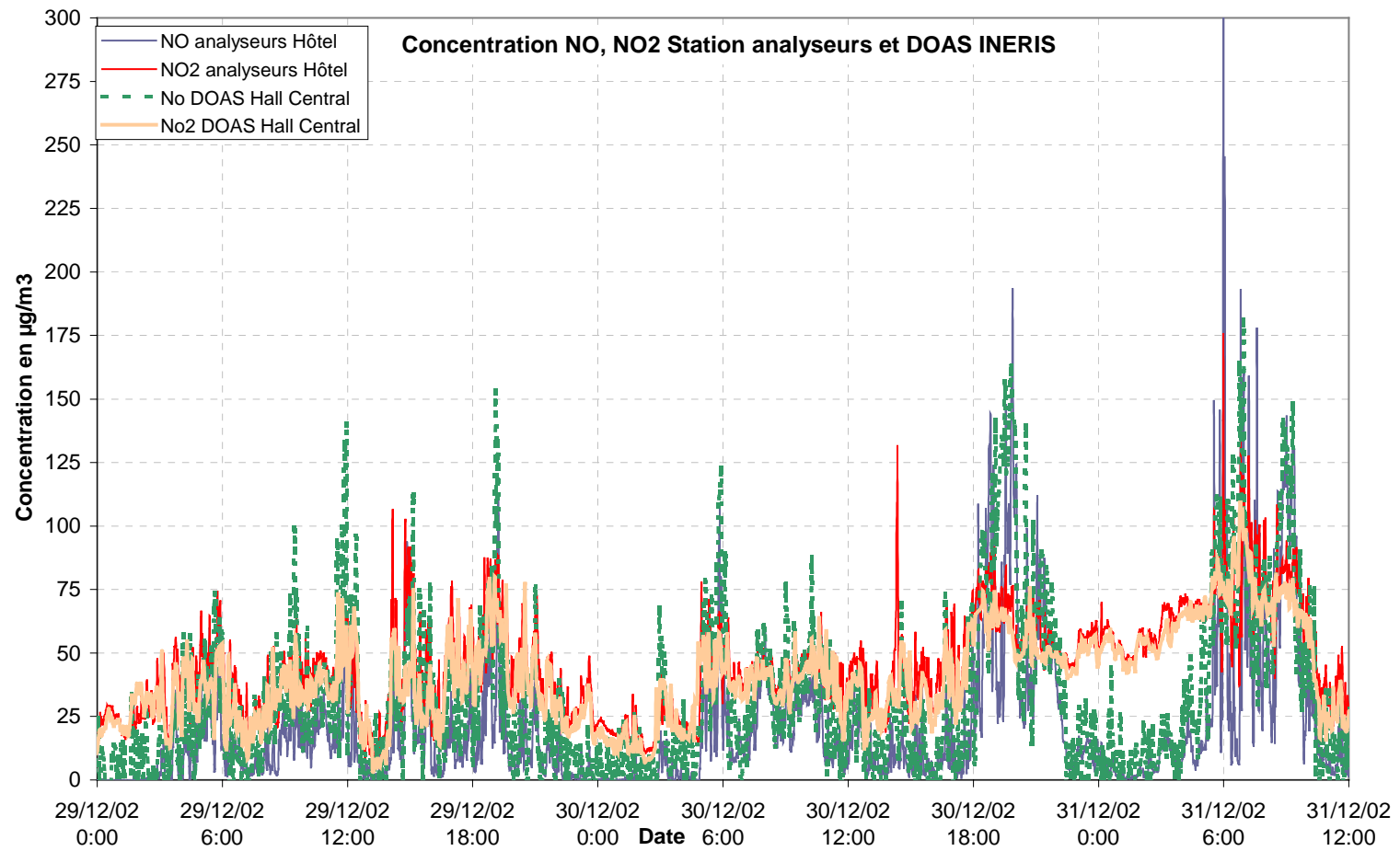
Une analyse plus détaillée devrait permettre de confirmer la qualité des données DOAS, bien que ces premiers résultats, extraits au hasard sur la période du mois de campagne, sont déjà très convainquant.

## 4.2 RESULTATS A COURT TERME

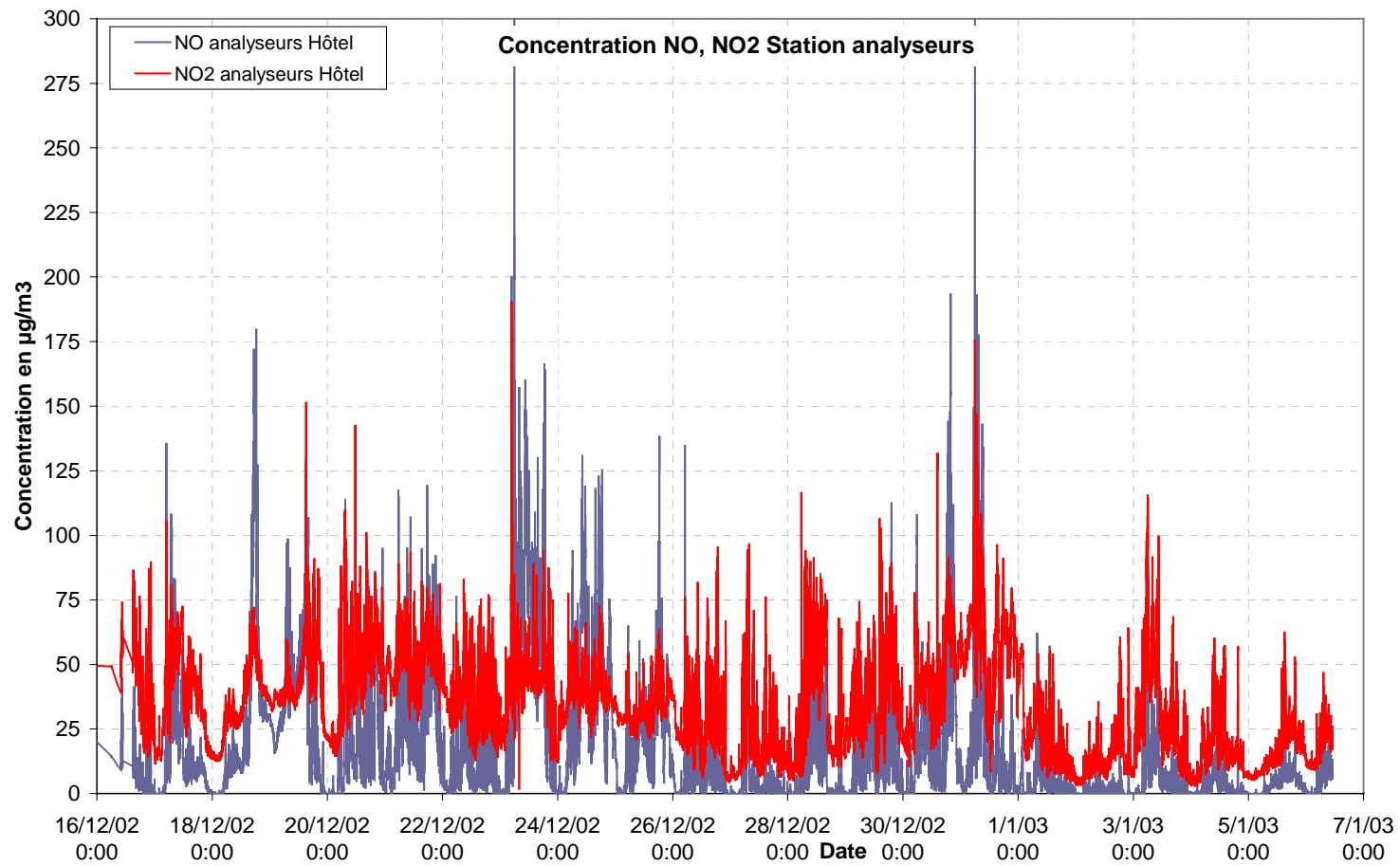
Par ailleurs, nous devrions obtenir très prochainement les informations suivantes :

- Le trafic avion sur la zone de transfert des passagers (type, heure d'arrivée et heure de départ) afin qu'elles soient mises en corrélation avec les variations périodiques de la concentration en NO<sub>x</sub> observées par le DOAS INERIS installé sur le toit du hall central. Ce DOAS intégrait en effet 6 postes d'accès (3 portes) auxquels venaient se relier les avions, lors des opérations de chargement ou déchargement des passagers. Des résultats préliminaires ont montré de rapides et importantes fluctuations (d'une amplitude de l'ordre de 300 % vis-à-vis du niveau de fond nocturne) diurnes et notamment dans les tranches horaires (5h-9h) et (16h-19h).
- Les données météorologiques (Température, Pression, Humidité, Direction et vitesse du vent au sol) afin d'optimiser le traitement des tubes passifs, mais également afin de définir d'éventuelle corrélation entre l'activité aéroportuaire et les flux entrant et sortant du domaine d'étude. En effet, en situation de vent de Nord, l'unité mobile nous fournissait une évaluation du niveau de fond entrant sur la zone. De même les deux DOAS installés en fin des pistes A et B Sud, nous renseignaient, en absence de trafic piste, sur les concentrations quittant le domaine.
- Les mouvements des avions (types, atterrissages et décollages) afin qu'ils soient mis en corrélation avec les fluctuations observées sur les deux DOAS situés en fin de piste et sur la station de mesure se trouvant à proximité.
- Les résultats des deux campagnes de mesures « tubes passifs BTX », afin qu'ils soient mis en correspondance des données obtenues par les DOAS (INERIS et COPARLY) et par les analyseurs ponctuels. Ces données devraient également, compte tenu de la localisation des 10 sites retenus, permettre d'évaluer la spatialisation des émissions BTX issues de la zone aéroportuaire.

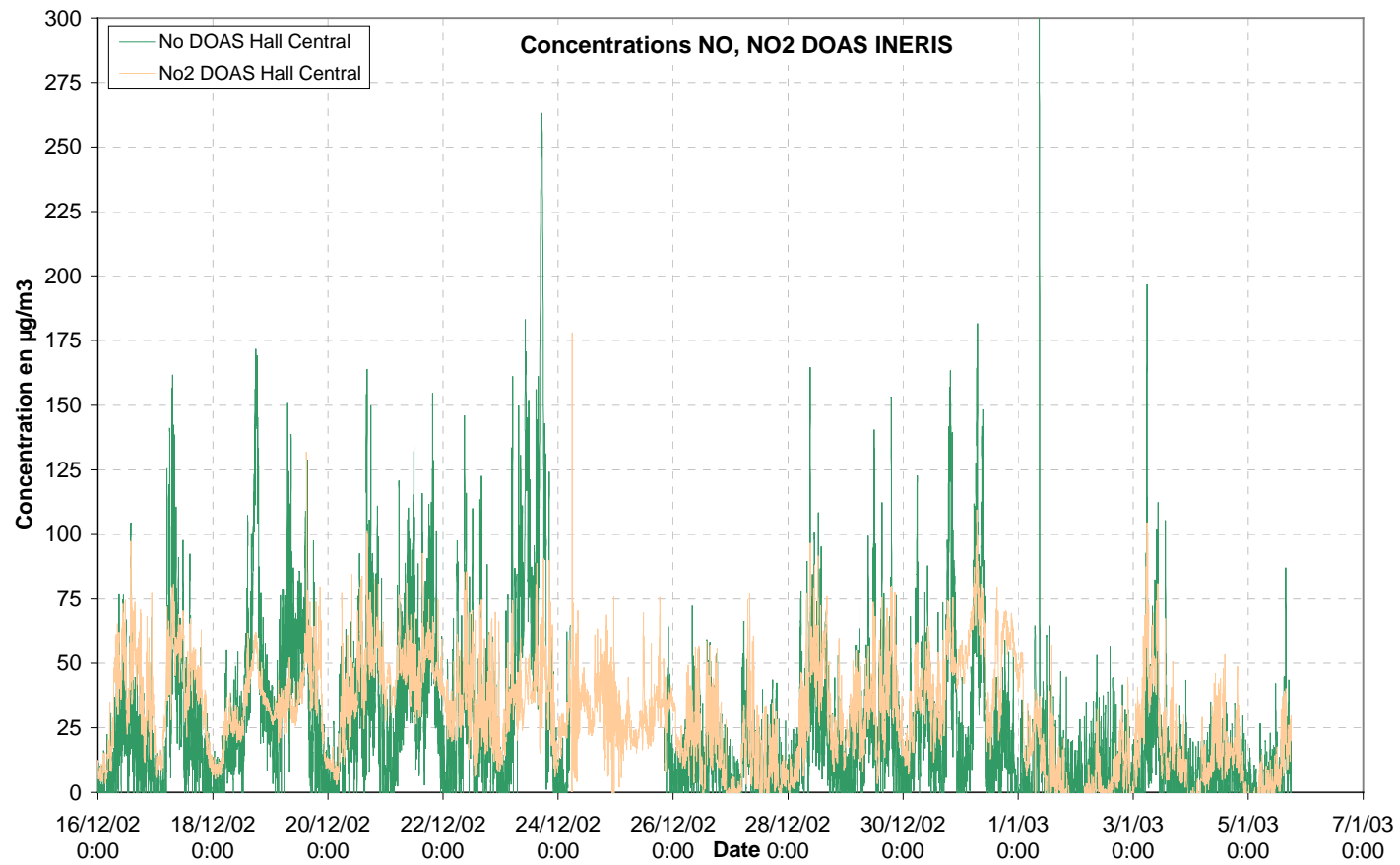
Ainsi, les quelques résultats préliminaires de cette campagne de mesure nous ont permis de démontrer les performances des DOAS lorsque leur installation a tenu compte des principales contraintes de fonctionnement. Par ailleurs, la mise en comparaison des données du DOAS INERIS et des mesures ponctuelles, a permis de confirmer la validité de ces dernières. Enfin, nous avons pu mettre en évidence des fluctuations importantes sur les concentrations en NO<sub>x</sub>, qui devraient naturellement être corrélées à l'activité des avions sur cette zone.



*Mis en comparaison des données NO et NO<sub>2</sub> obtenues par l'analyseur installé sur le toit de l'hôtel et par le DOAS INERIS installé sur le toit du hall central*

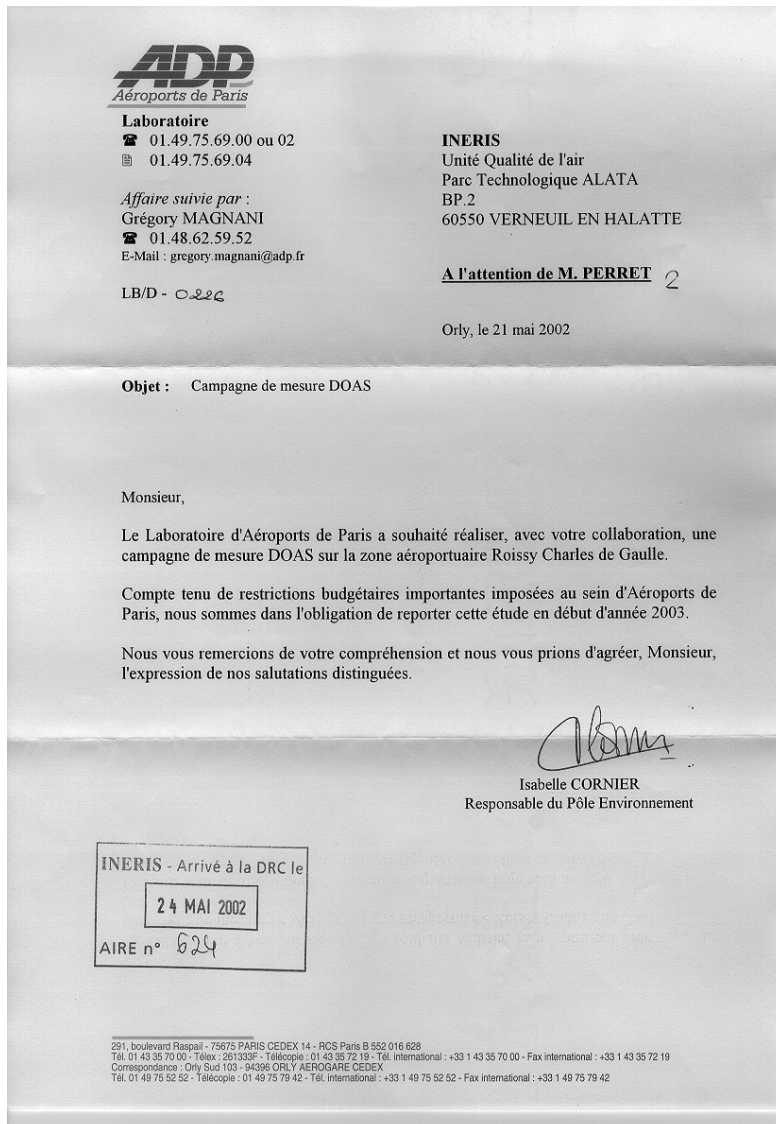


*Exemple de données obtenues par la station installée sur le toit de l'hôtel, montrant les variations diurnes des concentrations en NO et NO<sub>2</sub>*

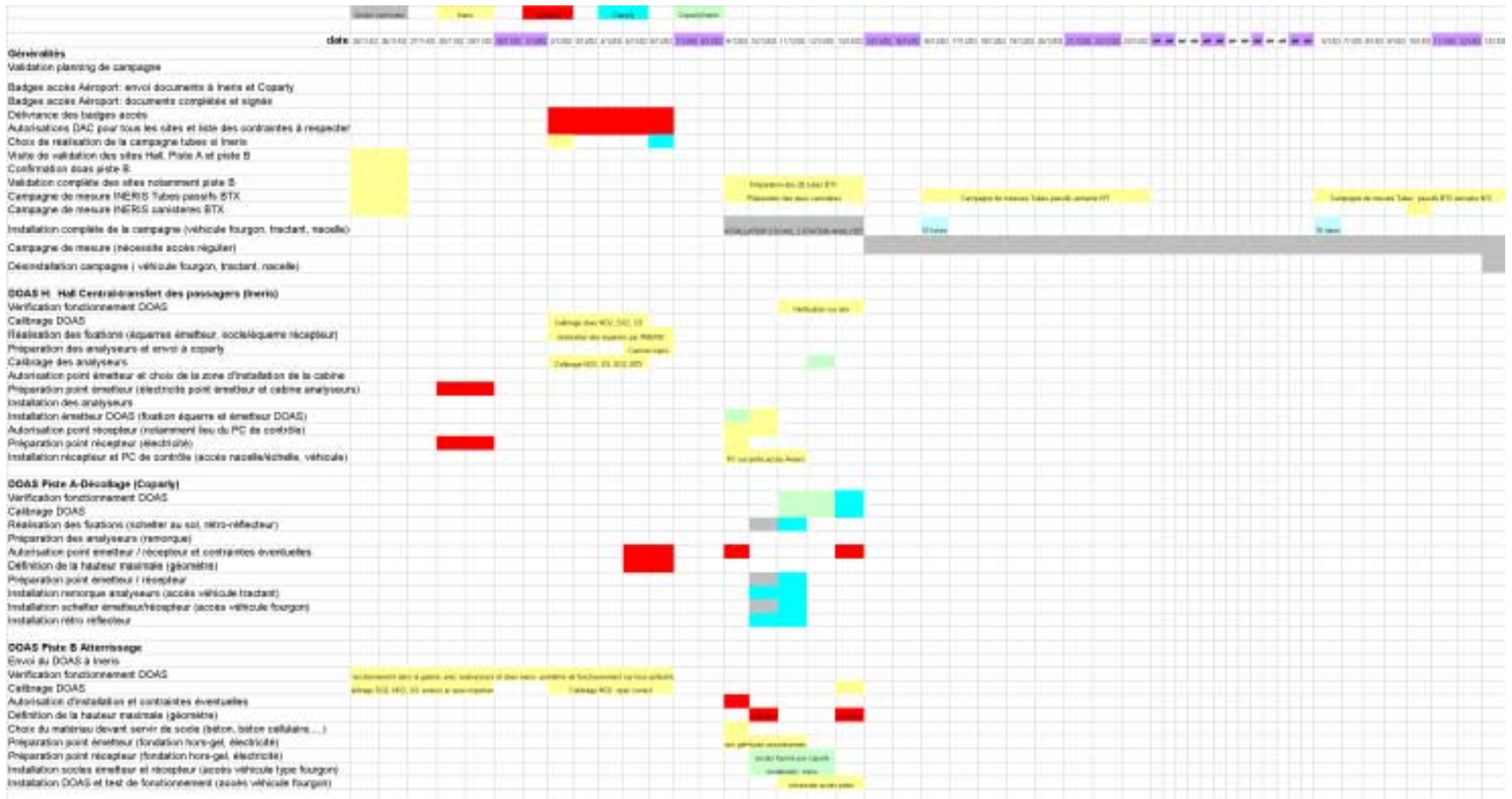


*Exemple de données obtenues par le DOAS INERIS installé sur le toit du hall central, montrant les variations diurnes des concentrations en NO et NO<sub>2</sub>*

## 5. DOCUMENTS ANNEXES : PLANNING, LETTRE ADP



Lettre d'annulation de la campagne DOAS sur l'aéroport de Roissy-CDG



*Planning de mise en place de la campagne DOAS sur l'aéroport de Lyon-Saint-Exupéry*

