



Campagne DOAS sur l'aéroport de Lyon-Saint-Exupéry

RAPPORT FINAL

Laboratoire Central de Surveillance de la
Qualité de l'Air

Convention 115/2003

Emeric FREJAFON

Unité Qualité de l'Air – Direction des Risques Chroniques

Septembre 2003

Campagne DOAS sur l'aéroport de Lyon-Saint-Exupéry

RAPPORT FINAL

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Convention 115/2003 financée par la Direction des Préventions des
Pollutions et des Risques (DPPR)

SEPTEMBRE 2003

personnes ayant participé à l'étude

Emeric FREJAFON, Amandine FIEVET

Ce document comporte 50 pages (hors couverture et annexes).

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

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	2
RÉSUMÉ	4
INTRODUCTION	6
1. CADRE DE L'ÉTUDE ET OBJECTIFS :	7
2. MISE EN PLACE DE LA CAMPAGNE	8
2.1 INSTRUMENTS INSTALLÉS ET RÉPARTITION DES SITES	8
2.2 CONTRAINTES GÉNÉRALES LIÉES À L'INSTALLATION DE DOAS	9
2.3 INSTALLATION DU DOAS SANOA INERIS « HALL CENTRAL »	10
2.3.1 DESCRIPTION DE L'INSTRUMENT	10
2.3.2 CONTRAINTES PARTICULIÈRES DANS LE CAS D'UN DOAS SANOA.	10
2.3.3 INSTALLATION SITE ÉMETTEUR (TOIT DE L'HÔTEL SOFITEL)	11
2.3.4 INSTALLATION SITE RÉCEPTEUR (TOIT DU TERMINAL 1, PILOTE 4, PORTE 15)	11
2.4 INSTALLATION DE LA STATION DE MESURE « HÔTEL SOFITEL »	12
2.5 INSTALLATION DU DOAS OPSIS D'AMPASEL « PISTE B SUD »	13
2.5.1 DESCRIPTION DE L'INSTRUMENT	13
2.5.2 CONTRAINTES SPÉCIFIQUES D'INSTALLATION, DANS LE CAS D'UN DOAS OPSIS.	13
2.5.3 INSTALLATION DU SITE ÉMETTEUR	14
INSTALLATION DU SITE RÉCEPTEUR	14
2.6 INSTALLATION DU DOAS 2000 TEI DE COPARLY « PISTE A SUD »	15
2.6.1 DESCRIPTION TECHNIQUE	15
2.6.2 CONTRAINTES SPÉCIFIQUES D'INSTALLATION, DANS LE CAS D'UN DOAS 2000 TEI.	15
INSTALLATION DU SITE ÉMETTEUR/RÉCEPTEUR	16
INSTALLATION DU RÉTRO RÉFLECTEUR	16
2.7 DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE « TUBES PASSIFS ET CANISTERS BTX »	16
2.8 AUTRES SITES, INSTRUMENTÉS PAR COPARLY	18
3. TAUX DE FONCTIONNEMENT	18
3.1 FONCTIONNEMENT DU DOAS SANOA INERIS « HALL CENTRAL »	18
3.2 FONCTIONNEMENT DE LA STATION DE MESURE « HÔTEL SOFITEL »	19
3.3 FONCTIONNEMENT DU DOAS OPSIS D'AMPASEL « PISTE B SUD »	19
3.4 FONCTIONNEMENT DU DOAS 2000 TEI DE COPARLY « PISTE A SUD »	20
4. RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE D'ANALYSE DES BTX	21
4.1 ANALYSE DES BTX PAR TUBES PASSIFS	21

4.2	ANALYSE DES BTX PAR CANISTERS POUR LA JOURNÉE DU 10/01/2003	23
4.3	MISE EN COMPARAISON DES ANALYSES BTX AVEC LES MESURES DU DOAS SANOA	24
5. RÉSULTATS DE LA STATION « HÔTEL SOFITEL »		25
6. RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DOAS		27
6.1	MISE EN COMPARAISON DE DONNÉES DOAS ET D'ANALYSEURS PONCTUELS	27
6.1.1	CORRESPONDANCE ANALYSEUR-DOAS EN PÉRIODE NOCTURNE	30
6.1.2	CORRÉLATION DES VARIATIONS JOURNALIÈRES	31
6.2	COMPARAISON DU DOAS « HALL CENTRAL » ET DU TRAFIC DES AVIONS	34
6.3	COMPARAISON DU DOAS 2000 TEI ET DE LA STATION COPARLY	36
6.3.1	TAUX DE DONNÉES VALIDÉES	36
6.3.2	MISE EN COMPARAISON DES DONNÉES DOAS AVEC LES ANALYSEURS PONCTUELS	39
6.3.3	ANALYSE COMPARÉE DE SITUATIONS MÉTÉOROLOGIQUES CARACTÉRISTIQUES	41
6.4	COMPARAISON DU DOAS OPSIS ET DU TRAFIC DES AÉRONEFS	42
7. CONCLUSION GÉNÉRALE		46
8. LISTE DES ANNEXES		50

RESUME

COPARLY, dans le cadre d'un partenariat avec l'aéroport de Lyon-Saint-Exupéry, devait engager fin 2002, une campagne de mesures sur la zone aéroportuaire. Ce dernier, qui a par ailleurs fait récemment l'acquisition d'un DOAS 2000 TEI MEGATEC, souhaitait inclure cet appareil dans cette campagne. L'INERIS, après avis du MEDD, a participé à cette étude, dans le cadre de sa mission d'assistance aux AASQA, et plus particulièrement en prenant à sa charge l'instrumentation de plusieurs DOAS, répartis sur la zone étudiée, avec comme principal objectif de préciser les conditions d'utilisation des DOAS en sites de proximité industrielle ainsi que la qualité des informations fournies.

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 SANOA 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 TEI 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 installée en fin de piste A et enfin le laboratoire mobile d'ASCOPARG installé au Nord de l'aéroport.
- Etude BTX par tubes passifs et canisters : deux campagnes, de une semaine chacune, associant 10 tubes passifs répartis sur 10 sites ainsi qu'une campagne de sur une journée associant 2 canisters. Cette étude a été financée pour partie par COPARLY.

Cette campagne de mesure nous a permis :

- De démontrer les performances des DOAS, lorsque leur installation respecte certaines contraintes de fonctionnement et qu'un contrôle qualité rigoureux est effectué préalablement à toute campagne de mesures.
- De mettre en évidence des dysfonctionnements concernant les DOAS OPSIS AMPASEL (spectromètre et calibrage) et DOAS 2000 TEI COPARLY (software, calibrage et alignement) nécessitant une intervention des constructeurs respectifs.
- De confirmer la validité des données du DOAS SANOA, notamment pour les polluants Ozone, NO₂, NO. En revanche, aucune corrélation n'a pu être établie entre les analyses BTX par tubes passifs et les mesures du DOAS SANOA concernant les polluants Benzène, Toluène et Xylène car les concentrations présentes étaient trop proches des seuils de détection de l'appareil. Afin de réduire cette source d'erreur, nous avons engagé une étude visant à concevoir des outils d'étalonnage des DOAS sur site qui ne nécessitent pas l'utilisation de cylindres haute pression et haute teneur.

- De confirmer l'absence de corrélation entre l'activité de la zone aéroportuaire et les concentrations de BTX pour des analyses hebdomadaires, journalières et horaires et de montrer que les valeurs présentes, tant sur la zone aéroportuaire que sur les zones environnantes, sont très proches des niveaux de fond nationaux. Ainsi, les BTX ne peuvent pas être considérés comme de réels indicateurs de l'activité aéroportuaire. Il serait donc utile d'effectuer des études complémentaires sur des composés organiques plus lourds et notamment les COSV qui, compte tenu du carburant utilisé, doivent être des indicateurs plus pertinents.
- De mettre en évidence des fluctuations importantes sur les concentrations en NO corrélées à l'activité des avions au niveau du Hall central, mais également avec les conditions météorologiques. Par ailleurs, bien que ce polluant ne soit pas réglementé compte tenu de sa forte réactivité, nous avons montré que les concentrations en NO peuvent devenir occasionnellement très élevées au niveau de la zone de transfert des passagers. Il serait souhaitable d'effectuer notamment une caractérisation des teneurs en polluants gazeux à l'intérieur du terminal et notamment au niveau de la salle d'attente d'embarquement car les caractéristiques intrinsèques du bâtiment peuvent favoriser les échanges intérieur / extérieur (absence d'étanchéité des parois et des portes d'accès, ventilation proche des émissions compte tenue de la faible hauteur du bâtiment).
- De mettre en évidence que les concentrations en NO₂ présentes au niveau du hall central étaient également corrélées avec l'activité aéroportuaire sur cette zone, mais de façon limitée par les faibles teneurs en ozone présentes en période hivernale. Cela nous a permis de montrer que les concentrations en NO_x présentes sur cette zone, notamment au niveau des zones de transfert des passagers, pouvaient être proches des valeurs limites réglementaires lorsqu'elles étaient exprimées en équivalent NO₂. Il serait donc souhaitable d'effectuer cette même étude en période estivale où les teneurs en ozone favorisent l'oxydation du monoxyde d'azote.
- De mettre en évidence des fluctuations importantes sur les concentrations en NO₂ corrélées avec les périodes de décollage des avions lorsque le vent est en régime de Nord. Cela nous a permis de clairement mettre en évidence que le régime moteur des avions influençait notablement le rapport NO/NO₂ émis sur la zone aéroportuaire.
- De confirmer la difficulté à comparer des instruments qui ne mesurent pas le même échantillon d'air (analyseur ponctuel et instrument à long trajet optique) et plus particulièrement en cas d'hétérogénéité atmosphérique pour les polluants primaires tels que le NO et le NO₂. En revanche, nous avons constaté une bonne corrélation entre les différents appareils pour l'Ozone aux différentes concentrations observées. Enfin, il est important de retenir que ces appareils sont complémentaires et que leur association permet d'accéder à une information plus pertinente en terme de compréhension des phénomènes.

INTRODUCTION

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. Ce dernier, qui a fait récemment l'acquisition d'un appareil à long trajet optique DOAS 2000 TEI commercialisé par son représentant français MEGATEC, souhaitait également pouvoir inclure ce type de mesures dans cette campagne. Il a donc été décidé, après avis du MEDD, que l'INERIS participe à cette étude, dans le cadre de sa mission d'assistance aux AASQA, en prenant à sa charge d'instrumenter la zone aéroportuaire de plusieurs DOAS.

Cette campagne, qui s'est déroulée du 13 décembre 2002 au 13 janvier 2003 en association avec la campagne de COPARLY, a impliqué 3 DOAS, des stations de mesures multi-gaz et enfin une étude BTX par tubes passifs.

Nous exposerons dans un premier temps la mise en place de cette campagne et notamment les consignes à respecter afin d'optimiser le rendu opérationnel des instruments DOAS, puis nous détaillerons le taux de fonctionnement obtenu par chaque appareil. Au vu de ces résultats, nous exposerons ensuite les résultats obtenus et effectuerons un couplage entre ces mesures, l'activité de la zone aéroportuaire et enfin les conditions météorologiques.

Nous détaillerons notamment la dynamique temporelle des concentrations en BTX, NO et NO₂ en fonction de la zone considérée (hall central, piste de décollage, piste d'atterrissage) et en fonction des conditions météorologiques (régime de Nord ou de sud).

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 directs et indirects des émissions liées à l'activité aérienne.

De ce fait, il nous a paru important de collaborer activement à ces deux projets et notamment de :

- Fournir une assistance sur l'implantation d'un DOAS au sein des AASQA et plus particulièrement dans le cadre de leurs études spécifiques. Cela devait notamment permettre à COPARLY ainsi qu'aux autres associations équipées de DOAS, d'accéder à un retour d'expérience important sur l'utilisation de leur appareil : 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 INSTALLES ET REPARTITION 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, NO₂, SO₂, O₃ et les BTX.
- DOAS OPSIS AMPASEL, pour les polluants NO₂, SO₂, O₃.
- DOAS 2000 COPARLY, pour les polluants NO₂, SO₂, O₃
- Station d'analyse INERIS, pour la mesure des polluants NO, NO_x, SO₂, O₃ et BTX (FID/PID, Synthec 8500)
- Station d'analyse COPARLY, pour la mesure des polluants NO, NO_x, SO₂ et BTX (FID, AC71M)
- Laboratoire mobile ASCOPARG, pour la mesure des polluants NO, NO_x, SO₂, O₃, PM10 et BTX (Synthec 8000)
- Remorque mobile COPARLY, pour la mesure des polluants NO, NO_x, SO₂, O₃, PM10.
- Campagne Tubes passifs BTX de 2 fois 1 semaine sur 10 sites
- Campagne Canister de 1 jour sur 2 sites.

2.2 CONTRAINTES GENERALES LIEES A L'INSTALLATION DE DOAS

D'une manière générale, les principales recommandations liées à l'installation d'instruments à long trajet optique DOAS sont celles fournies par l'EPA et traitent essentiellement de consignes visant à garantir une représentativité des mesures.

Or, nous avons constaté que certaines contraintes ont peu d'influence sur la mesure et qu'en revanche quelques-unes ont un impact très important. Par ailleurs, certaines de ces contraintes ne sont judicieuses que dans le cas de la construction d'une station de mesures intégrée à l'indice ATMO. Dans le cadre d'une campagne de mesure nous avons ainsi retenu les contraintes suivantes, par ordre d'importance :

1. Servitudes électriques sur les sites émetteur et récepteur. Ces servitudes électriques sont standards (16A, 220V), mais devront être munies d'onduleurs d'isolement standards (750 W, 15 minutes). En effet, toute micro-coupure peut entraîner un dysfonctionnement de l'émetteur et donc une intervention humaine pour sa remise en service. Par ailleurs, de telles micro-coupures peuvent endommager l'émetteur (la lampe ou son alimentation).
2. Trajet optique de 150 à 250 m pour la surveillance des polluants NO, NO₂, Ozone, SO₂, ou trajet optique de 300 à 400 m pour la surveillance des polluants NO₂, SO₂, Ozone, Benzène et Toluène. D'une manière générale on retiendra que la mesure du NO nécessite un trajet court (forte atténuation du signal car analyse effectuée sur un domaine spectral situé vers 210 nm) et qu'à contrario la mesure du benzène ou du toluène nécessite des trajets longs (grande intégration spatiale compte tenu de leur faible absorption des rayonnements issus de la lampe).
3. Stabilité mécanique et thermique de l'émetteur. Il est crucial de veiller à garantir une stabilité complète de l'émetteur. En effet, toute variation thermique ou mécanique entraînant une déformation du support de l'ordre de 1mm se traduit par une déviation du faisceau lumineux de plusieurs dizaines de cm à 300m, induisant une perte totale du signal. Ainsi, par exemple, des installations au sommet de pylônes électriques ou d'éclairage ou sur des bâtiments ayant une armature métallique sont à proscrire.
4. La stabilité mécanique et thermique du récepteur est moins importante car cet instrument possède un réalignement automatique. Néanmoins, plus grande sera la stabilité du récepteur, meilleur sera le taux de données validées.
5. Absence de feuillage ou branchage le long du faisceau, car ils détériorent fortement le rapport signal/bruit et donc la qualité des mesures.
6. Accès réguliers sur les sites émetteur et récepteur. Il est important de pouvoir accéder régulièrement à l'émetteur pour des actions de réglage (focalisation, alignement) ou de maintenance (changement de la lampe). De même, un accès plus ou moins régulier est à prévoir au niveau du récepteur, notamment pour le calibrage sur site de l'instrument ou la vérification de son fonctionnement.
7. Si possible, orienter le trajet optique de manière à éviter que le récepteur « regarde » le soleil. Le rayonnement solaire induit de fortes perturbations sur la mesure du NO₂ car l'analyse de ce polluant est effectuée sur une gamme spectrale proche du domaine visible. On retiendra que l'on doit s'attendre à une absence de données NO₂ lorsque le soleil est dans l'axe du trajet optique à $\pm 15^\circ$.

8. Prendre en compte que de fortes concentrations en aérosols (brouillard, émissions, smog) peuvent induire un biais sur la mesure du polluant NO₂. Supprimer ce biais est néanmoins possible, mais nécessite un post-traitement manuel important des données, non décrit dans le manuel d'utilisation. Il est donc souhaitable de s'éloigner des sources d'émission (latéralement ou en altitude) afin de limiter cette contrainte. Typiquement, pour un trafic normal 10 000 à 20 000 véhicules/jour on conseillera un éloignement latéral d'environ 10m et une altitude entre 5 et 15m. De même, on recommande d'éviter la proximité immédiate de parois le long du faisceau compte tenu des émissions de particules qu'elles génèrent.

2.3 INSTALLATION DU DOAS SANOA INERIS « HALL CENTRAL »

2.3.1 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.



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

2.3.2 Contraintes particulières dans le cas d'un DOAS SANOA.

Aux contraintes précédentes, il convient d'ajouter un accès régulier au poste de pilotage du DOAS qui peut être espacé d'environ 50m du site du récepteur. En effet, le contrôle de l'appareil est effectué par un ordinateur relié au récepteur par un câble de 50m. Il est donc nécessaire de prévoir un local pour son installation, qui peut être une cabine climatisée en extérieur ou tout autre moyen de protection de l'ordinateur contre les intempéries.

Le site retenu répondait à bon nombre de ces contraintes et notamment aux 6 premières contraintes générales ainsi qu'au cas particulier ci-dessus. Il 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.

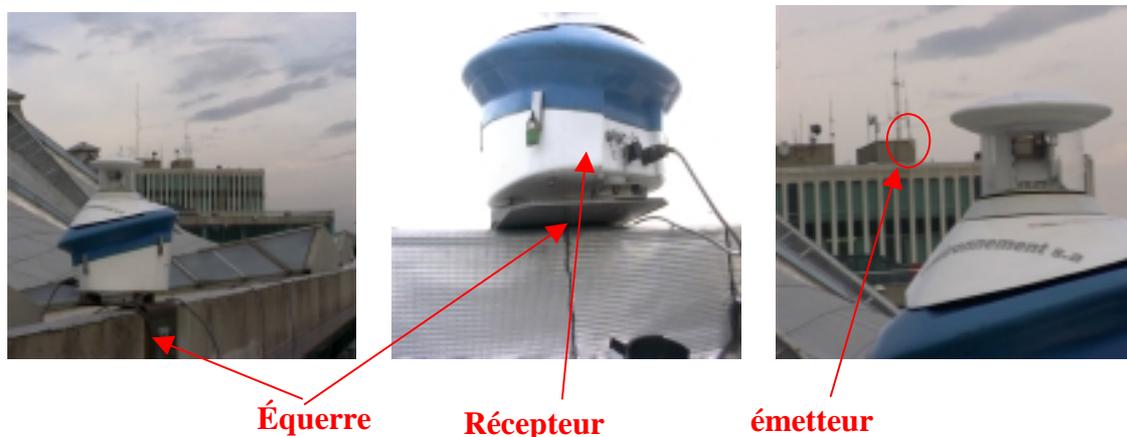
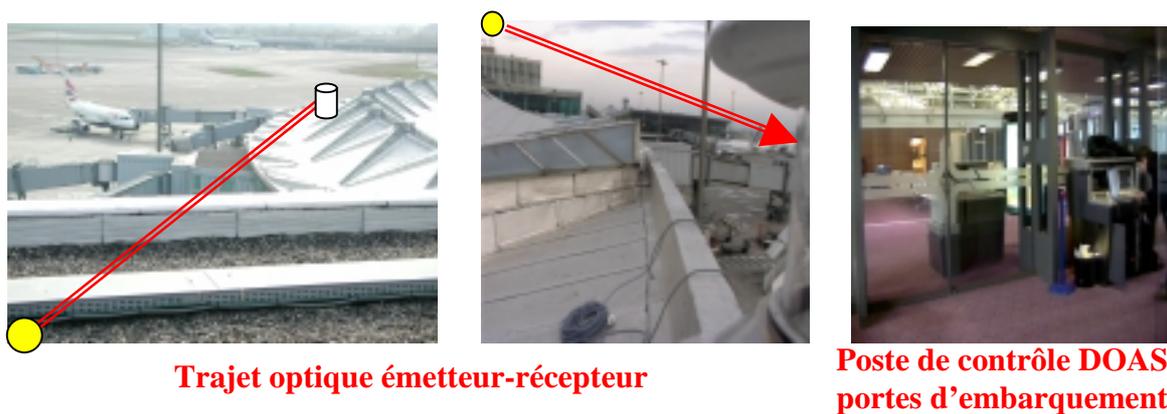
2.3.3 Installation site émetteur (Toit de l'hôtel Sofitel)

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 (fixation sur les parois verticales du bâtiment et non pas par le dessus où se trouve la jonction d'étanchéité).

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



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

La stabilité mécanique du site du récepteur était plus faible, car il était positionné sur une structure métallique. En revanche, notre module de réalignement automatique nous a permis de pallier ces fluctuations.

Ainsi, 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.

2.4 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.



Unité d'analyseurs Tube passifs et ligne de prélèvement analyseurs

Elle était caractérisée par les instruments suivants :

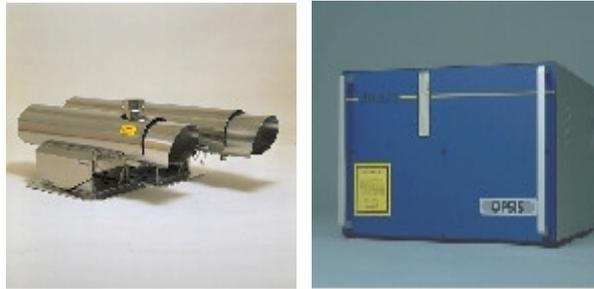
- 1 analyseur NO_x TEI, calibré par l'INERIS puis raccordé à l'étalon national par COPARLY
- 1 analyseur O₃ TEI, calibré par l'INERIS puis raccordé à l'étalon national par COPARLY
- 1 analyseur SO₂ TEI calibré par l'INERIS puis raccordé à l'étalon national par COPARLY
- 1 analyseur PID/FID BTX Synthec 8500 ainsi que son générateur d'hydrogène, son générateur d'air zéro et enfin un cylindre B20 de N₂. 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.

2.5 INSTALLATION DU DOAS OPSIS D'AMPASEL « PISTE B SUD »

2.5.1 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 doit posséder un support stable ne subissant aucune fluctuation mécanique ou thermique.



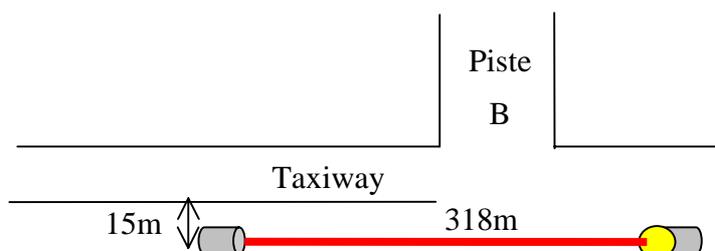
DOAS OPSIS : à gauche les unités d'émission et de réception, à droite l'unité de traitement.

2.5.2 Contraintes spécifiques d'installation, dans le cas d'un DOAS OPSIS.

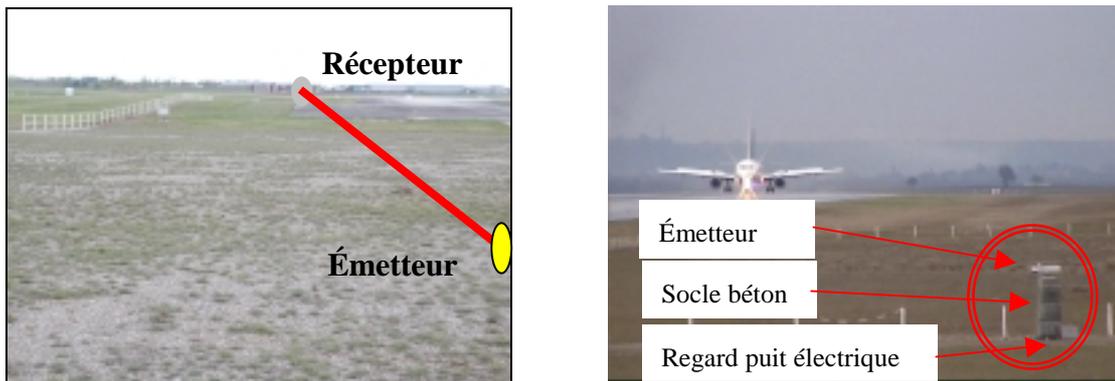
Aux contraintes générales décrites précédemment, nous devons veiller à assurer :

1. Un trajet optique de l'ordre de 300 à 400 m pour la surveillance des polluants NO₂, Ozone, SO₂ pour le modèle standard.
2. Un accès régulier sur le site de l'émetteur et du récepteur. Il est important de pouvoir accéder régulièrement à l'émetteur pour des actions de réglage (focalisation, alignement) ou de maintenance (changement de la lampe). De même, un accès régulier est à prévoir au niveau du récepteur, notamment pour le calibrage sur site de l'instrument et l'optimisation de l'intensité lumineuse reçue.
3. Une installation d'une cabine climatisée à proximité du récepteur (distance < 10 m) afin de permettre l'installation de l'unité de traitement et d'analyse des données.

Le site retenu, qui répondait aux 6 premières contraintes générales ainsi qu'aux contraintes particulières ci-dessus, 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.



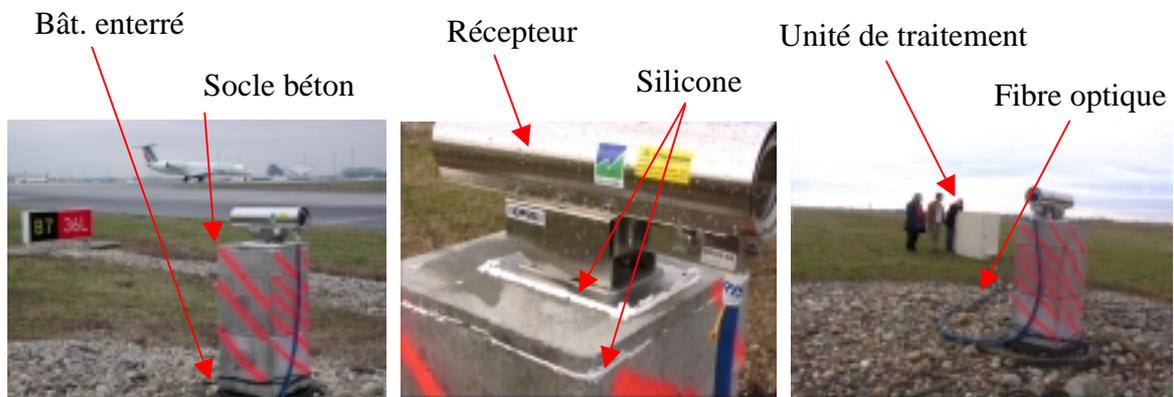
2.5.3 Installation du site émetteur



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.

2.5.4 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 creux de 120 cm, scellé par du joint silicone sur un regard de poste électrique enterré.

2.6 INSTALLATION DU DOAS 2000 TEI DE COPARLY « PISTE A SUD »

2.6.1 Description technique

Le DOAS 2000 TEI, commercialisé par MEGATEC est un instrument monostatique nécessitant la fourniture d'une servitude électrique en un seul point qui devra également posséder un support stable ne subissant aucune fluctuation mécanique ou thermique. L'avantage 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 TEI MEGATEC : à gauche l'unité d'émission/réception, au centre le rétro- réflecteur et à droite l'unité de traitement.

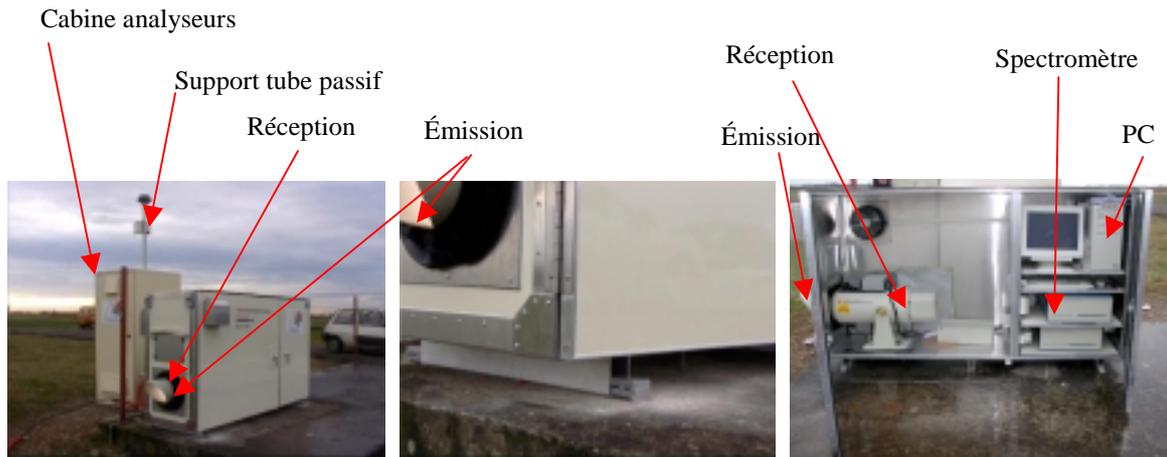
2.6.2 Contraintes spécifiques d'installation, dans le cas d'un DOAS 2000 TEI.

Aux contraintes générales décrites précédemment, nous devons veiller à assurer :

1. La climatisation de l'unité d'émission/réception : le système est fourni dans un caisson contrôlé en température d'environ 1.5 m x 1 m x 1m pour un poids d'environ 150 kg. Il est essentiel de veiller à garantir le fonctionnement de ce contrôle en température car toute défaillance peut entraîner un arrêt de l'ordinateur de pilotage (surchauffe) et une perte importante de la qualité des données (surchauffe de l'unité d'analyse).
2. Un trajet optique de l'ordre de 400 à 800 m pour la surveillance des polluants NO₂, Ozone, SO₂. Il est à rappeler que le trajet optique est ici égal à deux fois le trajet entre l'unité d'émission/réception et le rétro-rélecteur.
3. Une stabilité mécanique et thermique de l'unité d'émission/réception (caisson isotherme). Il est important, sans pour autant être crucial, de veiller à garantir une stabilité de ce caisson. En effet, le rétro-rélecteur permet de compenser de légères fluctuations mécaniques ou thermiques.

Le site retenu, qui remplissait les 6 premières contraintes générales et les contraintes particulières ci-dessus, 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-rétro-rélecteur-récepteur, soit donc deux fois la distance entre le caisson et le rétro réflecteur. Ainsi l'intégration spatiale du DOAS était de 2 fois 230 m, soit 460 m. l'orientation du trajet optique était Est-Ouest, parallèle au taxiway reliant la piste A.

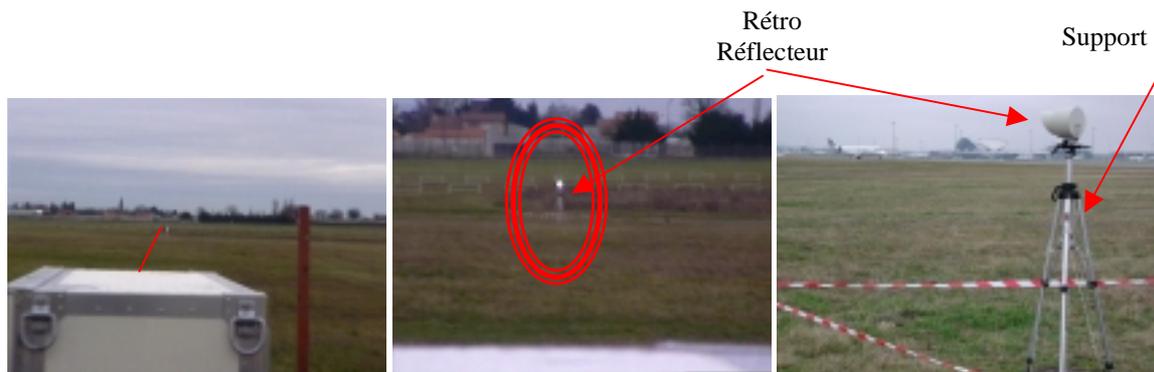
2.6.3 Installation du site émetteur/récepteur



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.

2.6.4 Installation du rétro réflecteur



Aperçu de rétro réflecteur ainsi que du trajet optique

Le rétro-réflecteur 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-réflecteur 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-réflecteur vis-à-vis du trajet optique (à la base du principe catadioptrique).

2.7 DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE « TUBES PASSIFS ET CANISTERS BTX »

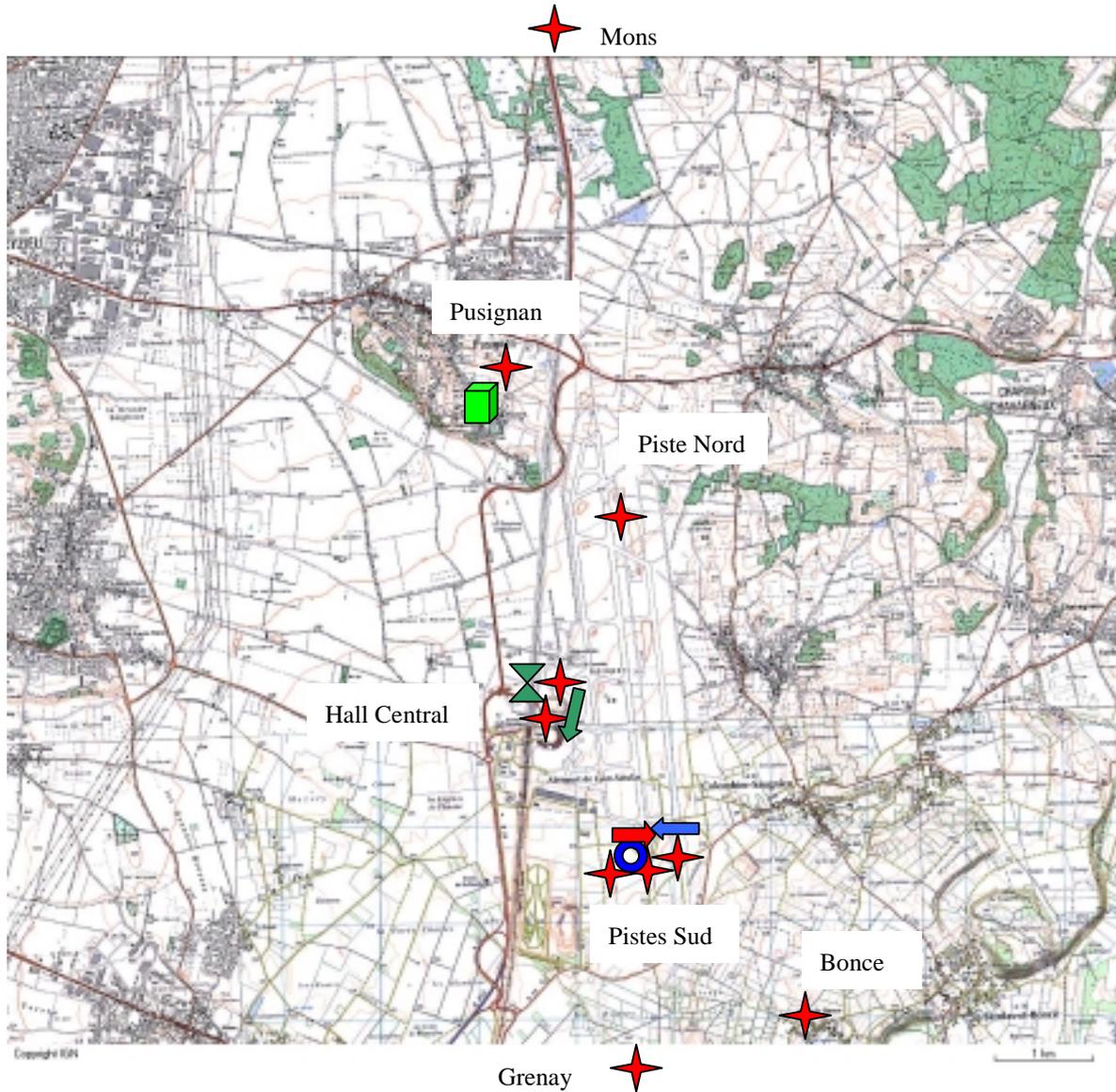
La campagne de mesure « tubes passifs BTX » avait les caractéristiques suivantes :

- 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.
- Les polluants suivis étaient les BTX.

Les analyses ont été effectuées dans les laboratoires de l'INERIS et financées pour partie par COPARLY.

La description de ces sites figure en annexe.



Implantation des tubes passifs sur la zone aéroportuaire et sur les sites environnants

- | | | | |
|---|-----------------------------|---|-------------------------------|
|  | Tubes passifs BTX |  | Laboratoire mobile ASCOPARG |
|  | Remorque de mesures COPARLY |  | Station d'analyse COPARLY |
|  | Station d'analyse INERIS |  | DOAS SANOA Hall Central |
|  | DOAS OPSIS AMPASEL Piste B |  | DOAS 2000 TEI COPARLY Piste A |

Enfin, deux canisters, configurés pour des prélèvements sur 12 heures, ont été installés la journée du 10 janvier, respectivement à proximité du DOAS SANOA INERIS (au niveau du hall central) et à proximité du DOAS 2000 COPARLY (en retrait de la piste A Sud)

2.8 AUTRES SITES, INSTRUMENTES PAR COPARLY

Trois autres sites ont également été instrumentés :

- Station analyseurs COPARLY, Piste A Sud, comme décrit dans la partie traitant des moyens mis en œuvre : SO₂, NO, NO_x, BTX. Le site est présenté dans le paragraphe sur l'installation du DOAS 2000 (schématisé par la couronne bleue sur le plan ci-dessus).
- Laboratoire mobile ASCOPARG, 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 Villette d'Anton (triangle rouge sur le plan précédent).

3. TAUX DE FONCTIONNEMENT

3.1 FONCTIONNEMENT DU DOAS SANOA INERIS « HALL CENTRAL »

Taux de Fonctionnement du DOAS SANOA INERIS

Emplacement :	site DOAS-H (Hall central: Terminal1-Porte15 & Hôtel Sofitel)
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 a été calibré à l'INERIS, en effectuant un protocole identique à celui effectué lors de l'évaluation des nouveaux DOAS devant instrumenter les réseaux.

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, a démontré la très bonne qualité des données (cf synthèse et section suivante).

3.2 FONCTIONNEMENT DE LA STATION DE MESURE « HOTEL SOFITEL »

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.

Taux de Fonctionnement Analyseurs 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 O3	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 BTX	INERIS (Syntec)
mise en service	08/01/03
arrêt final	13/01/03
Nb j Fct	5j
Taux Fct	100%

3.3 FONCTIONNEMENT DU DOAS OPSIS D'AMPASEL « PISTE B SUD »

Taux de Fonctionnement du DOAS OPSIS AMPASEL

Emplacement : site DOAS-B (Piste B Sud- Zone de décollage)

Distance trajet optique: 318 m

mise en service 12/12/02 19:24

arrêt final 13/01/03 16:30

Nbre mesures 14754

Nbre manquantes 100

Nbre non utilisables: N/D 1533 Chutes de neiges importantes

Fonctionnement (données obtenues/données possibles) 89 %

Cet instrument a été prêté par le réseau AMPASEL, pour les besoins de la campagne de mesures. Nous l'avons, préalablement à la campagne de mesures, testé à l'INERIS, afin de vérifier son bon fonctionnement et 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 NO₂ 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 causée par un problème d'humidité. Il doit être remis en état et son réseau doit notamment être changé.

Nous avons effectué la mesure du NO₂ durant la campagne de mesures. Un traitement des données montre un taux de fonctionnement d'environ 89 %. Un rapport complet de fonctionnement sera par ailleurs envoyé à AMPASEL, détaillant les essais de calibrage effectués.

3.4 FONCTIONNEMENT DU DOAS 2000 TEI DE COPARLY « PISTE A SUD »

Taux de Fonctionnement du DOAS 2000 TEI 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 Windows98
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 Windows98
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 de Fonctionnement (données/données possibles) 73,49 %

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

Son fonctionnement n'a pas été optimal durant la campagne de mesures en raison de nombreux bug informatiques (Défaillance système de Windows 98) et de désalignements du faisceau.

Des analyseurs, installés à proximité immédiate du DOAS, ont été raccordés à l'étalon national par COPARLY ; le stockage des données était effectué sur la mémoire des instruments et la récupération était réalisée périodiquement par COPARLY. Le fonctionnement de tous les analyseurs a été optimal durant le mois de campagne.

Taux de Fonctionnement Analyseurs Piste A

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

Analyseur NOx	AC31MLCD	Analyseur BTX	VOC71MLCD
mise en service	10/12/02	mise en service	10/12/02
arrêt final	22/01/03	arrêt final	22/01/03
Nb j Fct	43j	Nb j Fct	43j
Taux Fct	100%	Taux Fct	100%

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

4. RESULTATS DE LA CAMPAGNE D'ANALYSE DES BTX

4.1 ANALYSE DES BTX PAR TUBES PASSIFS

Ces analyses BTX n'intervenaient pas directement dans notre mission du LCSQA sur les instruments à long trajet optique DOAS : essentiellement dans la mise en comparaison des données BTX avec les mesures DOAS. Elles ont donc été effectuées avec une participation financière de COPARLY.

Le tableau ci-après regroupe l'ensemble des mesures obtenues lors de la campagne BTX par tubes passifs. Les échantillons ont été désorbés thermiquement à 350°C puis analysés en chromatographie gazeuse par détection F.I.D au laboratoire de chimie analytique de l'INERIS.

Ces résultats sont exprimés en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ calculés, en utilisant les données météorologiques fournies par l'aéroport de Lyon-St-Exupéry. En effet, la fourniture de résultats exprimés en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ nécessite l'utilisation d'un modèle (formulation mathématique) afin de transcrire la quantité de polluant adsorbée sur la tube passif (exprimée en μg) au volume d'air ayant été au contact du tube (exprimé en m^{-3}).

Campagne de mesure du 16 au 23 décembre 2003						
Nom du site	N° Tube	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-Xylène	o-Xylène
Pusignan (stade)	A60837	3.66	4.36	0.82	2.57	0.75
Mons	A45269	2.93	3.29	0.79	2.12	0.76
Grenay (école)	A47655	3.10	4.91	1.41	3.96	1.16
Satolas & Bonce	A42215	2.43	2.67	0.62	1.67	0.58
Piste B Sud	A48554	1.99	2.23	0.53	1.23	0.38
Piste AB Sud	046	2.69	2.87	0.58	1.76	0.56
Piste B Nord	A47677	2.56	2.79	0.59	1.65	0.52
Piste A Sud	A42112	2.96	2.91	0.85	1.79	0.57
Toit Hôtel Soffitel	A42463	3.59	4.27	0.96	3.11	0.93
Toit T1 porte 15	A47977	2.49	3.53	0.83	2.58	0.79

Cette campagne a été caractérisée par la situation météorologique suivante : régime dépressionnaire, caractérisée par un vent modéré ($2 \text{ à } 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) de régime Sud, sans précipitation, une nébulosité de 6 à 7 et des températures journalières entre 7 et 10°C.

Campagne de mesure du 6 au 13 janvier 2003						
Nom du site	N° Tube	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-Xylène	o-Xylène
Pusignan (stade)	A62738	3.05	3.38	0.58	1.75	0.59
Mons	A62787	3.12	2.43	0.64	1.48	0.47
Grenay (école)	A60829	3.22	2.95	0.67	1.84	0.60
Satolas & Bonce	A62106	2.86	2.52	0.57	1.58	0.50
Piste B Sud	A61538	3.03	2.67	0.65	1.61	0.53
Piste AB Sud	A17991	3.45	2.90	0.64	2.01	0.56
Piste B Nord	092	2.87	2.61	0.46	1.30	0.46
Piste A Sud	012	3.40	2.65	0.62	1.91	0.52
Toit Hôtel Sofitel	037	3.42	3.30	0.69	1.95	0.63
Toit T1 porte 15	A60069	3.44	3.41	0.78	2.34	0.74

Cette campagne a été caractérisée par la situation météorologique suivante : régime transitoire passant d'une situation dépressionnaire à quasi anticyclonique, caractérisée par un vent variable (1 à 5 m.s⁻¹ en moyenne journalière) de régime non défini (Nord en début de campagne, puis passage au Sud), sans précipitation, une nébulosité de 3 à 8 et des températures journalières entre -2 et -6°C.

Nous constatons que les résultats obtenus lors de ces deux campagnes, sont très proches les uns des autres. On notera néanmoins les points suivants :

1. Le site de Grenay, situé sur la place principale du village, présente une concentration moyenne en toluène légèrement supérieure lors de la seconde campagne. Ceci pourrait venir d'une augmentation locale du trafic lors du retour des vacances de Noël.
2. Le site de Pusignan, situé à proximité d'une zone industrielle, présente des valeurs comparables à celles obtenues sur le toit de l'hôtel Sofitel. Il semble donc que ce site, qui était éloignée de toute voie de circulation, est d'avantage sous l'influence d'émissions locales de l'activité aéroportuaire car le tube installé en piste B Nord reste à des niveaux très faibles.
3. On observe une concentration en toluène plus forte au niveau du hall central que sur les autres sites. Ceci pourrait être lié à la présence du parking automobile situé à proximité.
4. Les conditions météorologiques furent très différentes entre les deux campagnes de prélèvements, notamment au niveau des températures moyennes journalières et de la direction du vent. On constate que la première campagne est associée à une situation météorologique très stable. En revanche la deuxième campagne s'est déroulée lors de conditions météorologiques très variables, rendant difficile toute relation entre les concentrations moyennes obtenues et la dynamique atmosphérique. Pourtant, les résultats sont peu différents entre eux, confirmant l'absence de liaison entre les concentrations obtenues et l'activité de la zone aéroportuaire.

4.2 ANALYSE DES BTX PAR CANISTERS POUR LA JOURNEE DU 10/01/2003

Le tableau ci-dessous regroupe l'ensemble des résultats obtenus lors de la campagne BTX par canisters. Les échantillons ont été extraits des deux canisters à travers un tube d'adsorbant, puis désorbés thermiquement (350°C) et analysés par chromatographie gazeuse par détection F.I.D au laboratoire de Chimie Analytique de l'INERIS.

Les résultats sont exprimés en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ réels.

Canister Hôtel Sofitel : le 10 janvier 2003 de 08h10 à 18h05 TU

Canister Piste A Sud : le 10 janvier 2003 de 07h45 à 17h30 TU

Composés	Hôtel Sofitel, R5565-03AF302			Piste A Sud, R5573-03AF301		
	Analyse 1	Analyse 2	Moyenne	Analyse 1	Analyse 2	Moyenne
Benzène	3.0	3.3	3.2	3.4	3.5	3.4
Toluène	3.4	3.3	3.4	3.0	2.9	2.9
Ethylbenzène	0.8	0.9	0.9	0.8	0.7	0.8
m+p-Xylènes	2.5	2.8	2.6	2.2	2.5	2.3
o-Xylène	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3

Ces résultats sont très semblables entre eux et caractéristiques d'un site éloigné des émissions BTX. Ainsi, les résultats obtenus par les canisters ne permettent pas de mettre en évidence l'activité aéroportuaire. On constate que ces résultats, pourtant obtenus lors d'une journée associée à de nombreux mouvements des avions, sont très proches de ceux obtenus par tubes passifs. Or, si l'activité aéroportuaire était associée à la génération de BTX, les valeurs obtenues ce jour auraient dû être bien supérieures aux moyennes hebdomadaires (qui incluent les phases diurnes d'activité, mais également les phases nocturnes d'inactivité).

Par ailleurs, nous avons comparé ces résultats avec les données fournies par notre analyseur automatique BTX FID/PID SYNTECH 8000 installé au niveau du hall central. Un calibrage par raccordement à un étalon national a été réalisé préalablement à la campagne de mesures.

Pour cette même période les moyennes obtenues par cet analyseur ont été les suivantes :

- Moyenne Benzène FID en $\mu\text{g}/\text{m}^3$: 1,4 avec un écart type de 0,2.
- Moyenne Benzène PID en $\mu\text{g}/\text{m}^3$: 1,9 avec un écart type de 0,2.
- Moyenne Toluène FID en $\mu\text{g}/\text{m}^3$: 1,1 avec un écart type de 0,2.
- Moyenne Toluène PID en $\mu\text{g}/\text{m}^3$: 2,2 avec un écart type de 0,3.

Nous constatons que les mesures diffèrent suivant la technique utilisée, à savoir, par ionisation de flamme (FID) ou bien par photo-ionisation de flamme (PID). Or ces divergences, bien que faibles, pourraient être issues du protocole d'étalonnage effectué. En effet, pour obtenir une corrélation exacte entre les techniques FID et PID, il est nécessaire d'appliquer une régression non-linéaire avec forçage à zéro pour la technique PID.

Par ailleurs, les résultats obtenus par l'analyseur sont inférieurs à ceux obtenus par les canisters, notamment concernant le Benzène. Néanmoins, en intégrant les incertitudes instrumentales attendues (incertitude globale élargie de 25% dans le cas de l'analyseur SYNTHEC) et expérimentales constatées (écart type expérimental), nous constatons que ces deux techniques d'analyse des BTX, aboutissent à des concentrations qui restent très proches.

Ainsi, la mise en comparaison de ces analyses BTX par tubes, par canisters ou bien encore par analyseur automatique FID/PID, permettent de conclure que les concentrations présentes sont très proches des niveaux de fond et qu'ils ne sont pas des traceurs pertinents de l'activité aéroportuaire.

4.3 MISE EN COMPARAISON DES ANALYSES BTX AVEC LES MESURES DU DOAS SANOA

Nous avons comparé ces analyses BTX effectuées au niveau du Hall central (toit T1 porte 15) avec les mesures effectuées par le DOAS SANOA. Nous avons obtenu les résultats suivants :

Composés	Tube BTX toit T1 porte 15			DOAS SANOA INERIS		
	Campagne 1	Campagne 2	Canister	Campagne 1	Campagne 2	10 janv. 03
Benzène	2.49 ± 0.62	3.44 ± 0.62	3.19 ± 0.79	4,41 ± 8.2	5.03 ± 5.9	5.79 ± 4.9
Toluène	3.53 ± 0.88	3.41 ± 0.86	3.37 ± 0.84	-20.9 ± 8.9	-28.8 ± 6.4	-32.4 ± 3.4
m+p-Xylènes	2.58 ± 0.64	2.34 ± 0.58	2.64 ± 0.66	-22.1 ± 4.3	-22.1 ± 3.6	-22.48 ± 2.1
o-Xylène	0.79 ± 0.20	0.74 ± 0.19	1.13 ± 0.28	-0.74 ± 1.2	-2.6 ± 2.1	-3.56 ± 0.8

Les incertitudes associées correspondent à 2 fois l'écart type expérimental pour le DOAS et à 25% pour les tubes BTX et les canisters (incertitude analytique).

La mise en comparaison des données BTX montre une relative cohérence des mesures Benzène avec une pente de 0,97 et un offset DOAS de 2,2 µg.m⁻³. On observe que l'incertitude DOAS est supérieure à la valeur moyenne car les valeurs mesurées sont inférieures à la limite de détection instrumentale. Ainsi, bien qu'en relative cohérence, nous préférons invalider les données DOAS pour le Benzène et ne considérer les mesures qu'à titre informatif.

Pour le Toluène et les Xylènes, la corrélation est très mauvaise et l'offset important. Nous invalidons donc la totalité des données DOAS pour les polluants Toluène et Xylène.

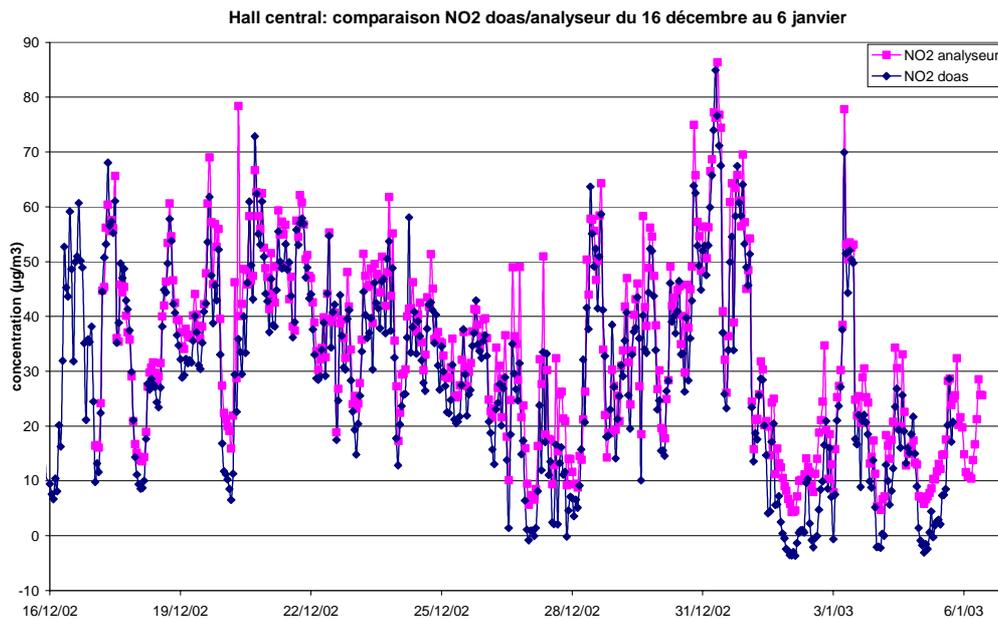
Il est à rappeler qu'aucun calibrage du DOAS n'a été effectué pour les polluants BTX compte tenu de la difficulté à obtenir ces gaz en forte concentration et de l'impossibilité de les utiliser en zone aéroportuaire. Il est enfin à rappeler que cette comparaison est délicate à utiliser, compte tenu des valeurs trop faibles et d'une dynamique d'échelle suffisante.

5. RESULTATS DE LA STATION « HOTEL SOFITEL »

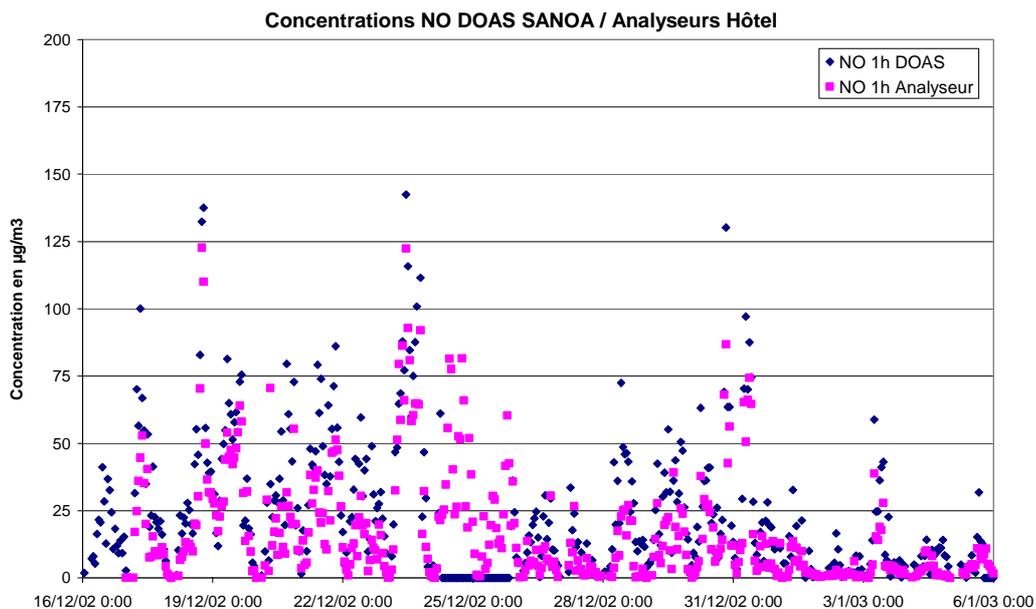
Le toit de l'hôtel Sofitel a été instrumenté d'une station d'analyse, fournissant un suivi des polluants gazeux O₃, NO, NO₂, BTX, comme décrit précédemment. Un processus de calibrage des instruments a été réalisé sur site, lors du lancement de la campagne de mesure. Pour cela, nous avons utilisé des gaz de référence raccordés à l'étalon national.

Un second calibrage a également été effectué le 15 janvier, donc en fin de campagne, afin de garantir la qualité des mesures effectuées.

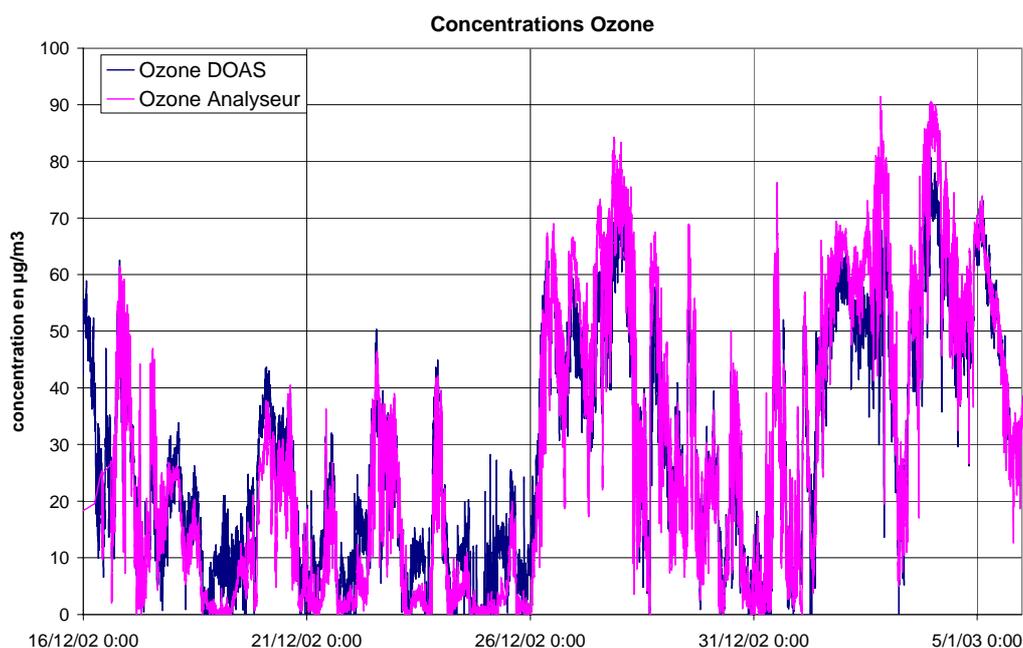
Les figures ci-après montrent un aperçu des concentrations en NO₂ généralement observées sur cette zone.



Résultats DOAS -SANOA et Station « Hôtel Sofitel » pour le polluant NO₂



Résultats DOAS -SANOA et Station « Hôtel Sofitel » pour le polluant NO



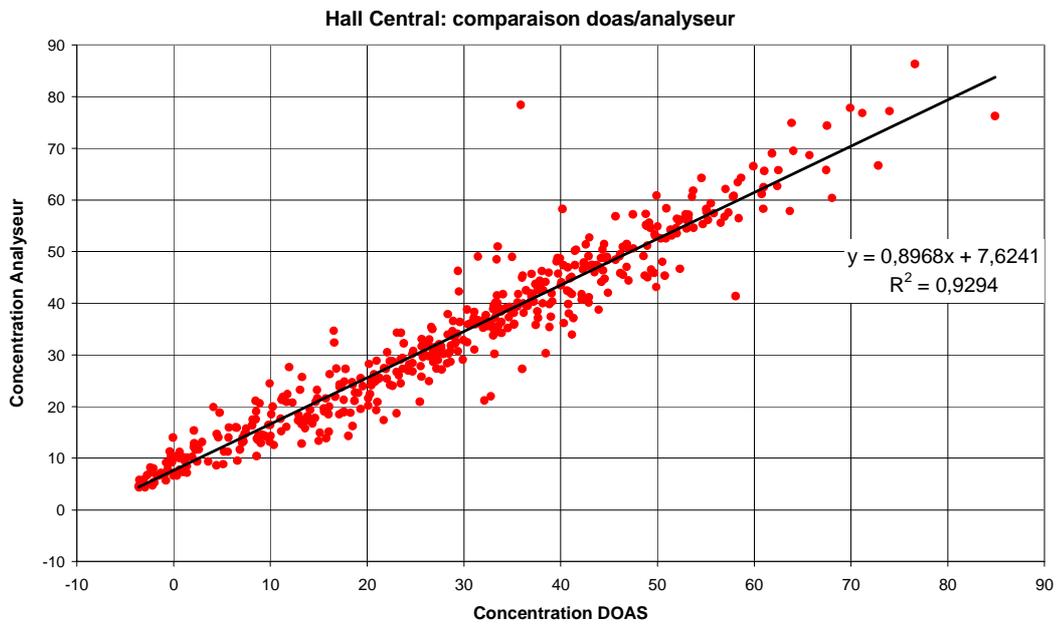
Résultats DOAS -SANOA et Station « Hôtel Sofitel » pour le polluant O₃

L'ensemble de ces résultats est regroupé sur un CD-ROM fournit avec ce rapport, afin que COPARLY puisse en disposer pleinement dans ses études menées sur l'aéroport de Lyon-St-Exupéry. En effet, ces résultats, qui ne montrent pas de dépassement des seuils d'information, trouvent toute leur utilité dans une mise en comparaison globale, avec l'ensemble des moyens utilisés lors de cette étude et notamment avec les résultats obtenus par les laboratoires mobiles installés en dehors de la zone aéroportuaire.

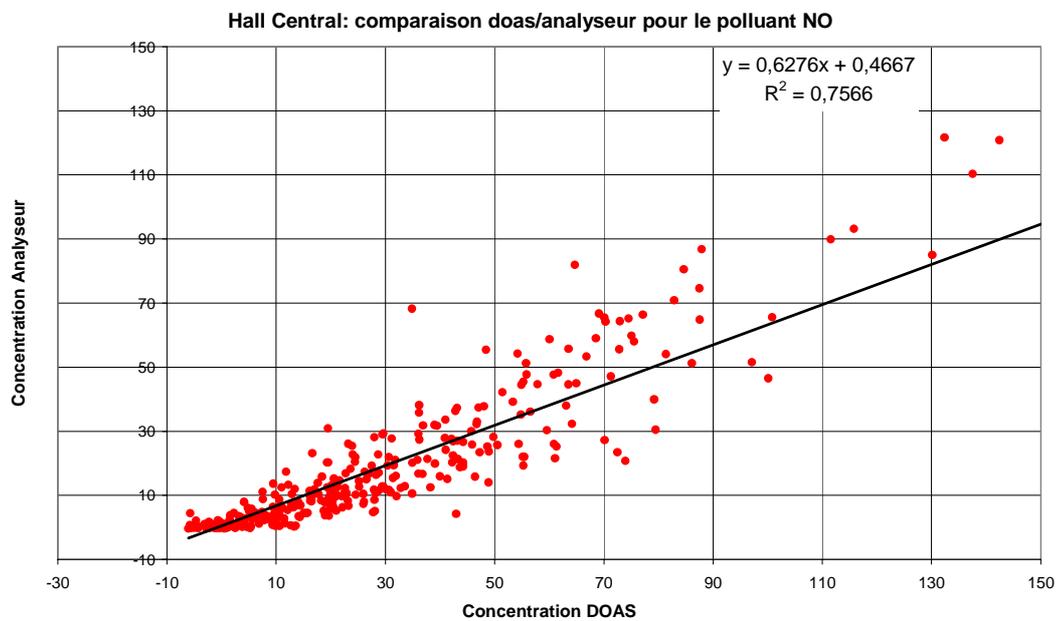
Ces données ont, par ailleurs, été comparées avec celles obtenues par le DOAS SANOA INERIS ainsi qu'avec les données de trafic des avions sur cette zone.

6. RESULTATS DE LA CAMPAGNE DOAS

6.1 MISE EN COMPARAISON DE DONNEES DOAS ET D'ANALYSEURS PONCTUELS



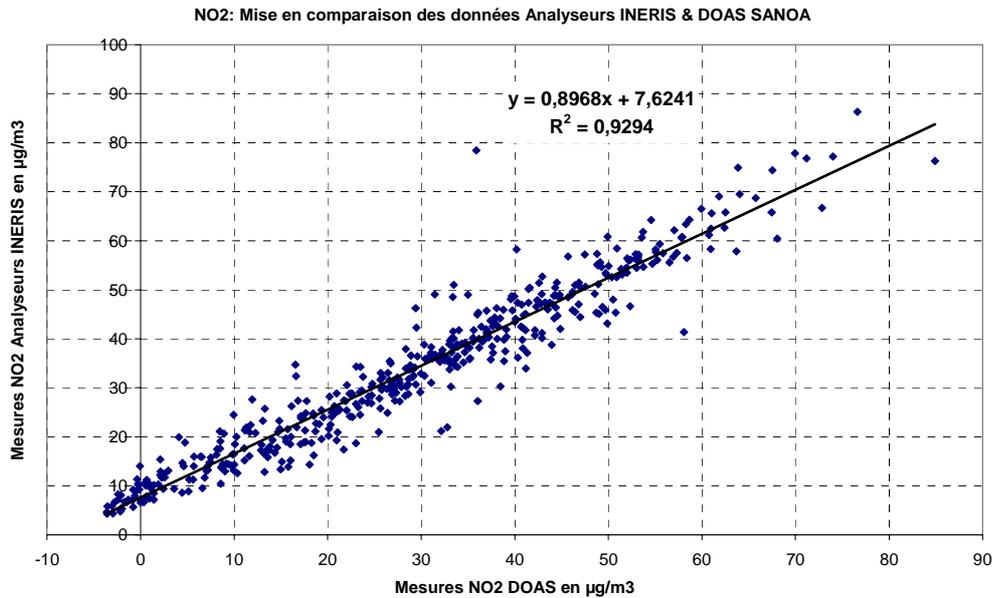
Hall Central: Corrélacion Analyseur/DOAS pour le polluant NO₂



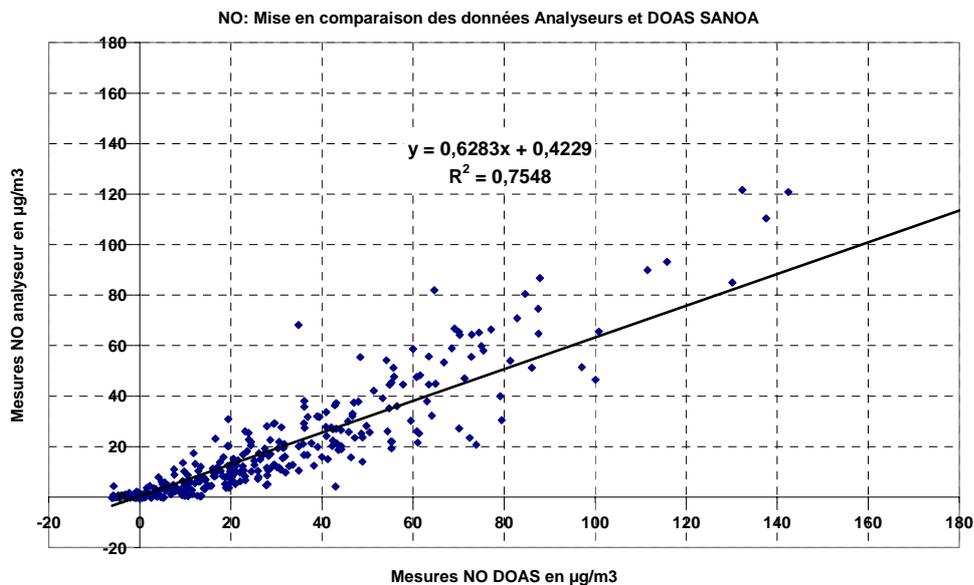
Hall Central: Corrélacion Analyseur/DOAS pour le polluant NO

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, notamment pour les polluants NO₂ et Ozone. En effet, dans le cas des polluants Ozone, NO et NO₂, nous avons obtenu les corrélations suivantes :

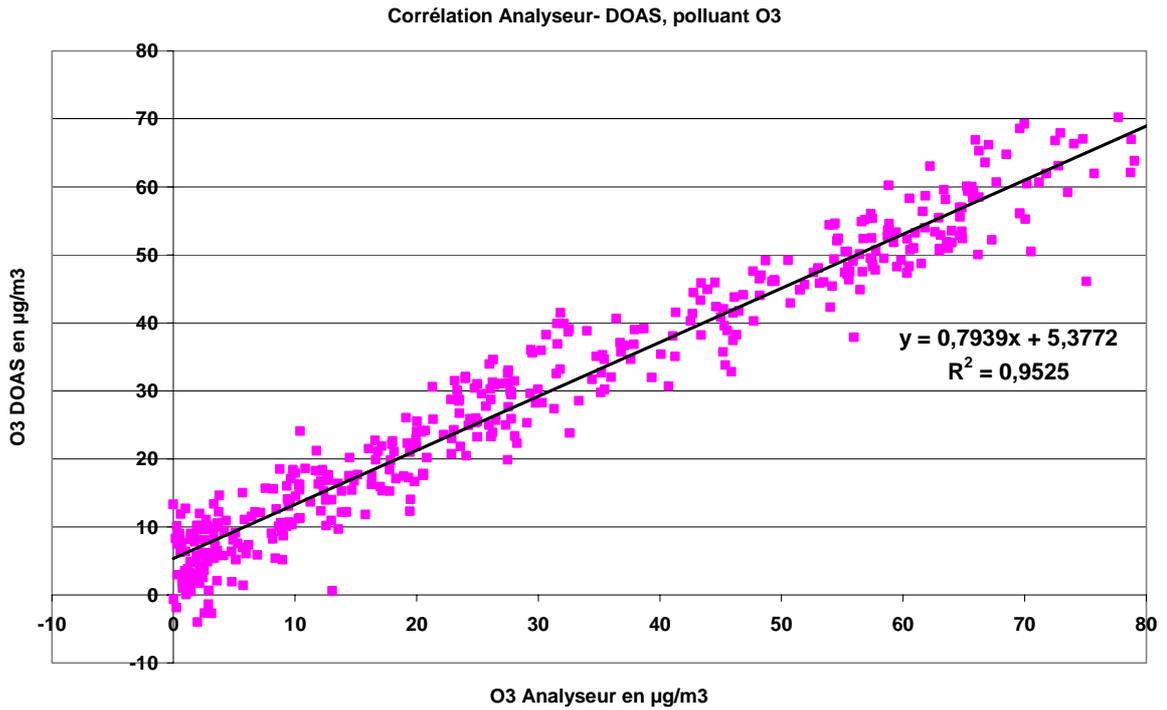
- NO₂_Analyseur = 0,9 * NO₂_DOAS + 7,6 avec R² = 0,93
- NO_Analyseur = 0,6 * NO_DOAS + 0,5 avec R² = 0,75
- O3_Analyseur = 0,79 * O3_DOAS + 5,4 avec R² = 0,95



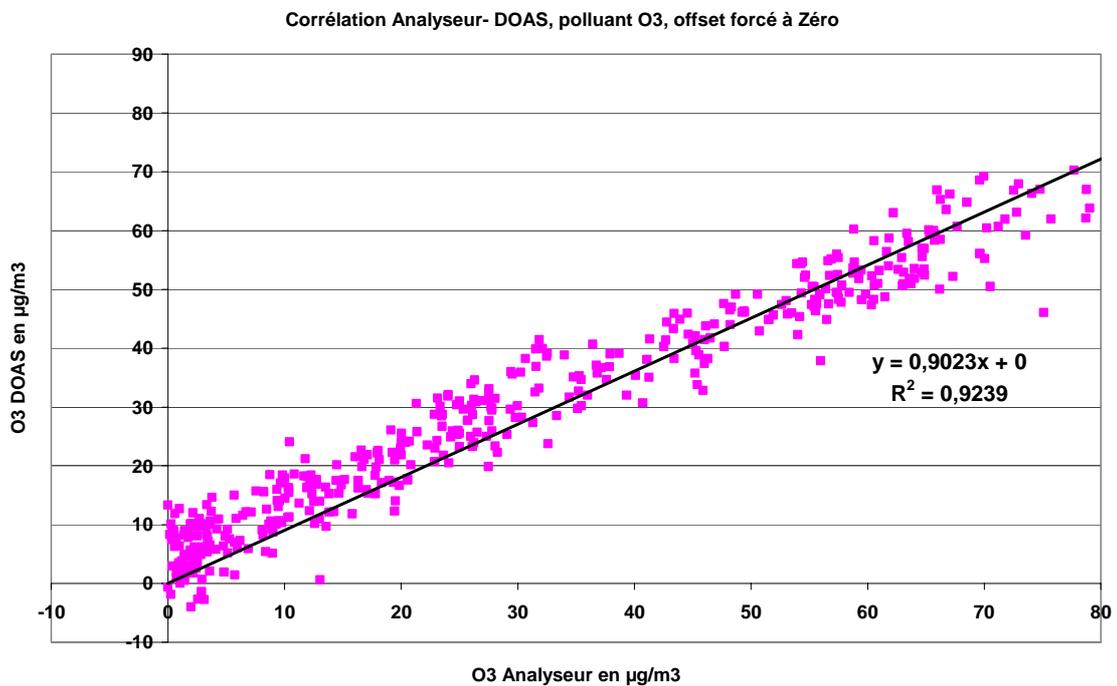
Corrélation Analyseurs INERIS / DOAS SANOA pour le polluant NO₂, réalisée sur l'ensemble de la campagne de mesures et converties en données horaires.



Corrélation Analyseurs INERIS / DOAS SANOA pour le polluant NO, réalisée sur l'ensemble de la campagne de mesures et converties en données horaires.



Corrélation Analyseurs INERIS / DOAS SANOA pour le polluant O₃, réalisée sur l'ensemble de la campagne de mesures et converties en données horaires.



Corrélation Analyseurs INERIS / DOAS SANOA pour le polluant O₃, réalisée sur l'ensemble de la campagne de mesures et converties en données horaires. Courbe de corrélation avec ordonnée à l'origine forcée à zéro

On observe une excellente corrélation entre les deux instruments pour le polluant Ozone. Néanmoins, la linéarité est de 0,8 et l'offset de $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

La différence observée lors de certaines périodes nocturnes était principalement liée au positionnement de la ligne de prélèvement et aux conditions météorologiques. En effet, on observe un biais de 5 à $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lors des périodes nocturnes caractérisées par un vent faible. Or, la ligne de prélèvement était positionnée très près d'un mur, avec une vitesse de dépôt (destruction de l'ozone par contact avec des surfaces) pouvant être forte lorsque le vent est faible. En effet, en effectuant une corrélation linéaire forcée à zéro, on observe très nettement l'offset nocturne (valeurs basses en ozone) et la très bonne corrélation pour des concentrations en ozone plus élevées.

On privilégiera donc par la suite les données DOAS, plus représentatives de la qualité de l'air au niveau de la zone aéroportuaire, notamment en période nocturne. Enfin, on remarque que les valeurs sont très faibles et caractéristiques d'une situation hivernale. Ce faible taux sera à mettre par la suite en relation avec le faible taux d'oxydation du NO et donc les faibles valeurs obtenues pour le polluant NO₂.

Par la suite, nous nous intéresserons donc principalement à la comparaison des données NO et NO₂ car elles présentent un intérêt évident dans le couplage mesures – trafic et donc dans la caractérisation de la qualité de l'air au niveau de la zone aéroportuaire.

On observe également une très bonne corrélation entre les instruments pour le polluant NO₂ caractérisée par une sous-estimation de 10% et un biais de $+7,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

En revanche, on constate que la corrélation est moins franche dans le cas du polluant NO. Or, cette mise en comparaison a été effectuée sur l'ensemble de la campagne de mesures, donc également lors de périodes de fortes inhomogénéités atmosphériques associées à de fortes émissions locales en périodes diurnes. Dans le cas des polluants NO et NO₂, un découpage entre les périodes nocturnes et diurnes ou suivants les conditions météorologiques, comme décrits dans les paragraphes suivants, nous permet de confirmer cette corrélation.

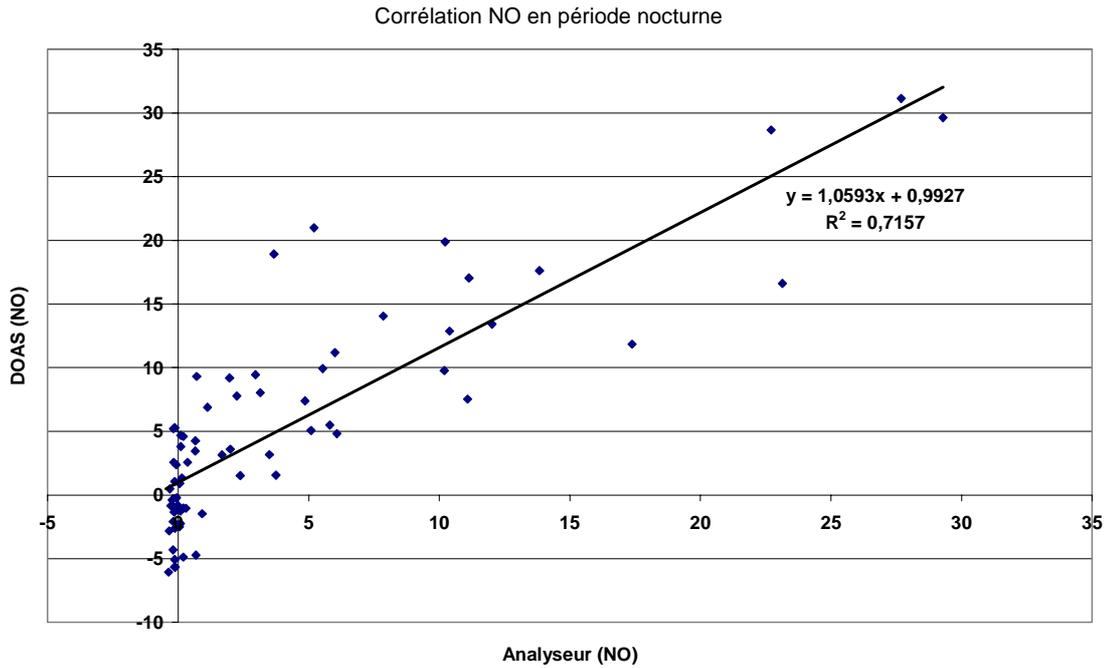
6.1.1 Correspondance Analyseur-DOAS en période nocturne

On observe une très forte similitude des concentrations moyennes nocturnes, en situation d'homogénéité atmosphérique, entre la station de mesure et les résultats DOAS. Nous avons donc effectué la moyenne des mesures entre 0H et 4H TU. La différence des deux valeurs moyennes obtenues sur ces deux instruments, était :

- Biais de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une concentration moyenne de $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans le cas du NO,
- Biais de $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une concentration moyenne de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans le cas du NO₂.

Par ailleurs, la mise en corrélation des mesures NO obtenues en période nocturne montre une linéarité très proche de 1 et un offset quasi nul. Pour ce faire, nous avons retenu les mesures obtenues entre 0H et 4H TU durant la campagne. Lors de ces périodes, nous n'avons pas eu de trafic sur cette zone et l'atmosphère était globalement homogène. La dispersion traduit par ailleurs l'incertitude expérimentale et les limites de détection du DOAS pour ce polluant.

-



Mise en corrélation des mesures NO en période nocturne.

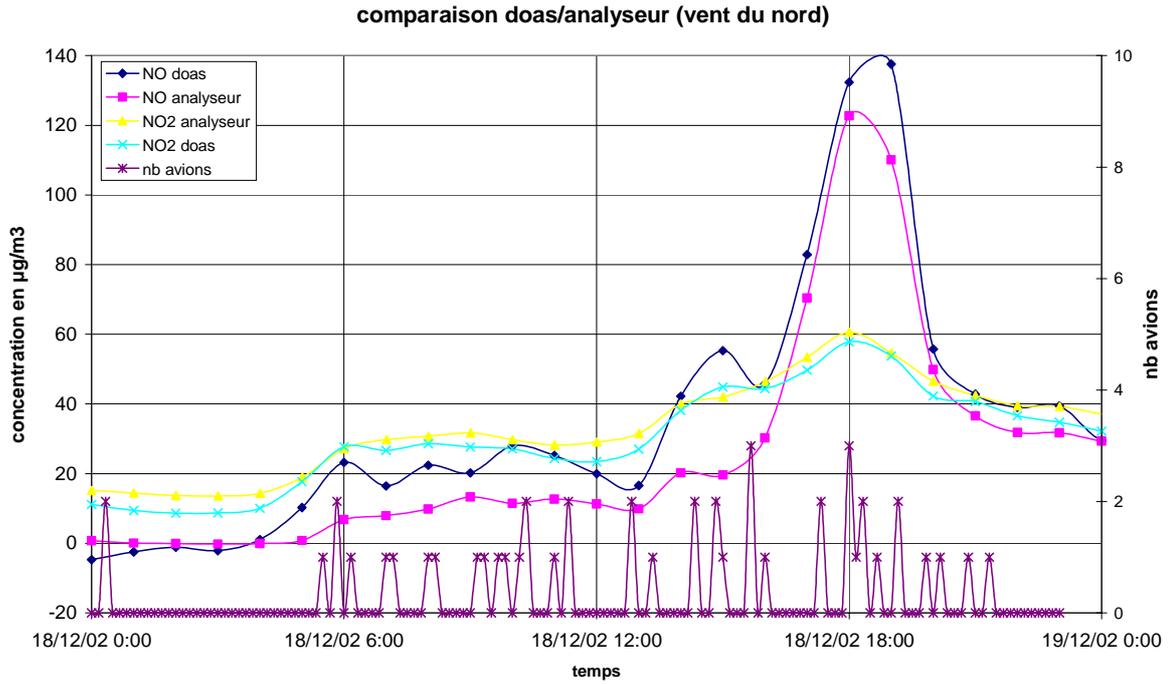
Ainsi, on a constaté un très bon accord entre les données du DOAS et celles de la station « Hôtel Sofitel » en absence d’émissions locales et en situation d’homogénéité atmosphérique. En revanche les deux graphes ci-après montrent des différences significatives entre les deux instruments en journée.

6.1.2 Corrélation des variations journalières

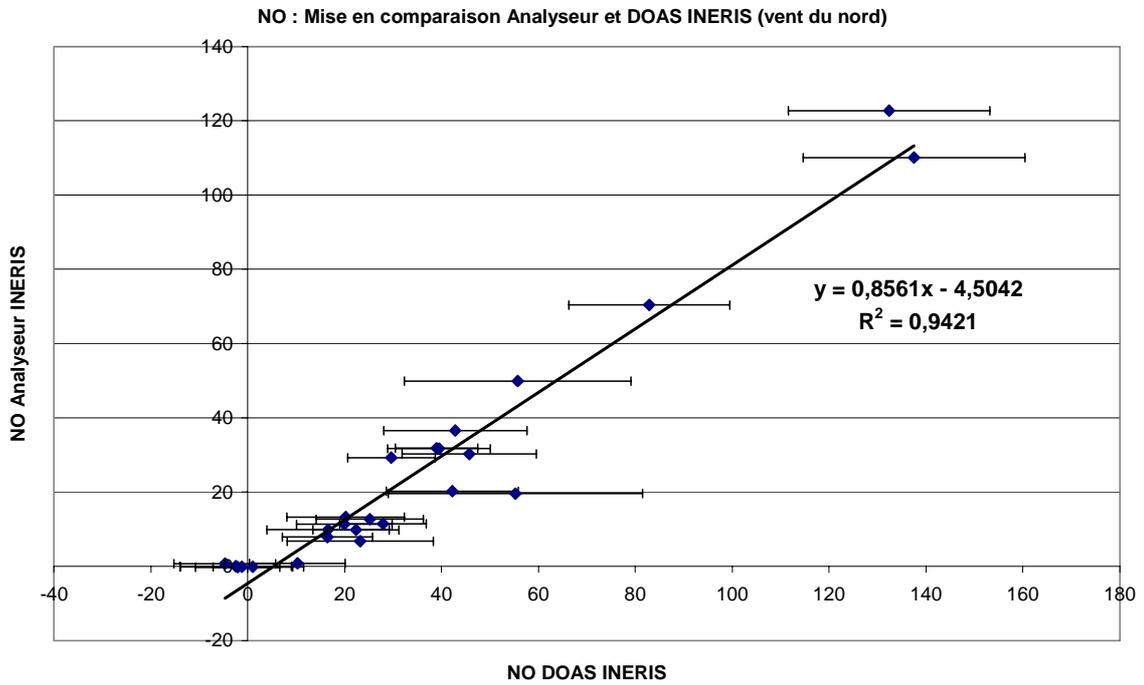
La mise en comparaison des mesures effectuées en journée montre des différences pouvant être importantes certaines journées, bien que qualitativement on obtienne un bon accord puisque les variations diurnes sont observées par les deux instruments.

En revanche on constate une forte dépendance de cette corrélation vis-à-vis des conditions météorologiques et notamment de la direction du vent :

- Lorsque le vent est modéré en régime de Nord, on observe un bon accord entre les deux instruments, notamment pour le polluant NO₂. De même, on constate un bon accord pour le polluant NO, avec néanmoins une variabilité moindre et une concentration inférieure concernant l’analyseur. Cette différence traduit vraisemblablement l’effet de dispersion entre les DOAS situé à proximité immédiate des avions et l’analyseur situé en retrait.

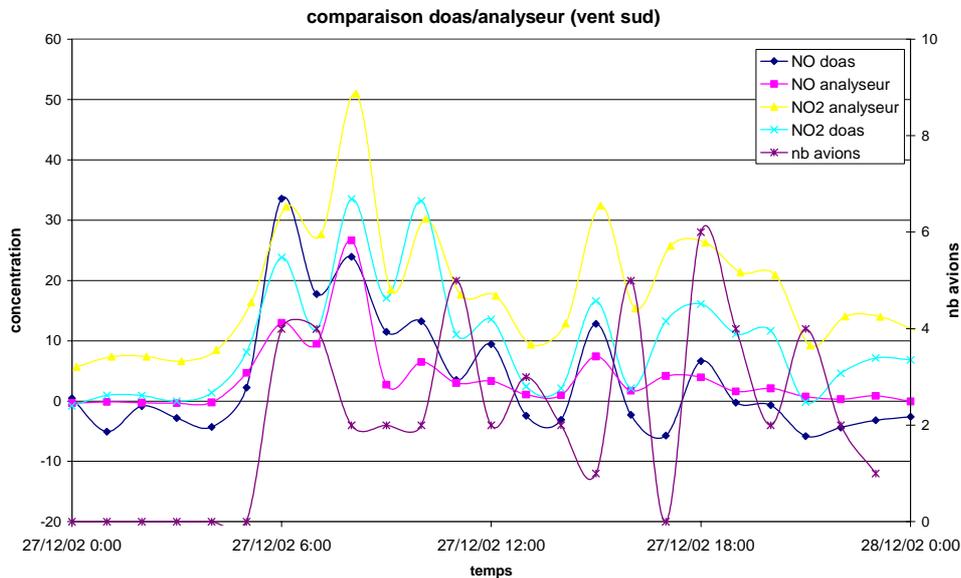


Comparaison Analyseur/DOAS ainsi que le nombre d'avions à proximité, en situation de vent du Nord



Mise en comparaison des données NO lorsque le vent est en régime de Nord

- Lorsque le vent est modéré en régime de Sud, la corrélation entre les deux instruments est beaucoup moins franche, notamment pour le polluant NO₂. Nous observons néanmoins un effet de dilution pour les polluants NO et un offset important pour le NO₂.



Comparaison Analyseur/DOAS ainsi que le nombre d'avions à proximité, en situation de vent du Sud

Ces résultats sont en contradiction avec ceux que nous attendions, compte tenu de la configuration des sites :

- Lorsque le vent est de Nord, la station « Hôtel Sofitel » se trouve en amont du trajet optique du DOAS. Dans ce cas, on devrait avoir une forte dé-corrélation entre les deux instruments, notamment pour le polluant NO.
- Lorsque le vent est de Sud, la station « Hôtel Sofitel » se trouve en aval du trajet optique DOAS. Dans ce cas, on devrait avoir une forte corrélation entre les données des deux instruments et un facteur de dilution clairement établi dans le cas du NO.

L'exemple ci-dessus est confirmé par l'analyse d'autres journées où le vent avait une direction clairement établie et une vitesse homogène sur la journée. Les données météorologiques, qui sont celles de Météo-France, nous ont été fournies par l'aéroport de Lyon-St-Exupéry. Seule une vérification rigoureuse des données météorologiques ainsi que l'utilisation de données obtenues par des sites de mesures en périphérie de l'aéroport permettrait de mieux comprendre l'influence de la météorologie sur la corrélation entre les analyseurs et le DOAS.

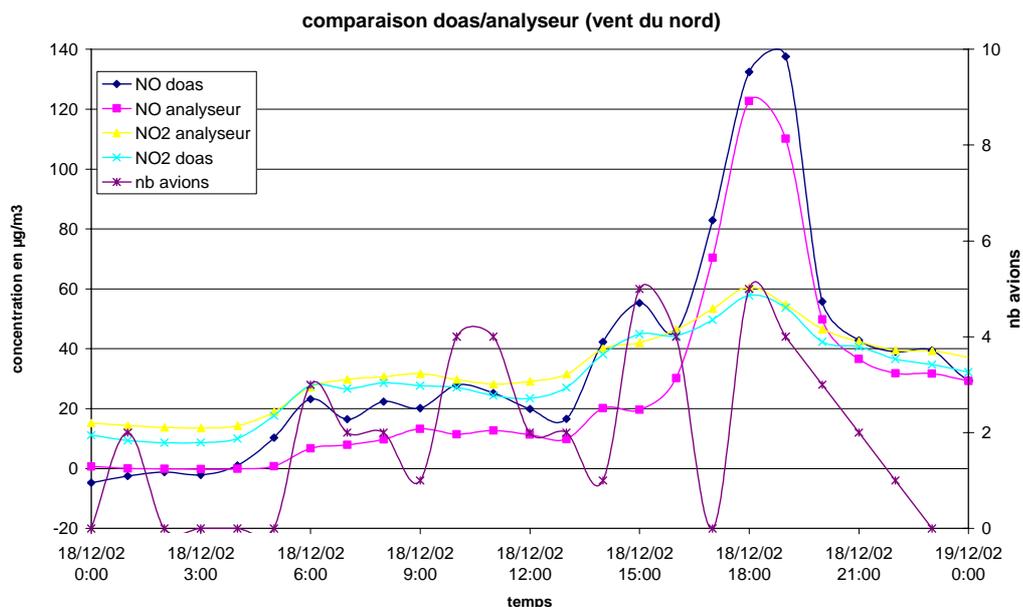
Par ailleurs, la configuration du hall central montre que l'hôtel Sofitel se trouve entre les deux terminaux, mais dans un positionnement en altitude. Cette absence de corrélation en régime de Sud, pourrait alors être issue d'une dynamique particulière sur cette zone avec notamment un effet du bâti sur les courants dynamiques locaux.

Afin de conclure sur cette corrélation, il serait intéressant d'effectuer une étude détaillée de la trajectoire des masses d'air sur cette zone car de nombreuses études ont montré qu'une mesure au sommet d'un bâti pouvait être affectée par des effets turbulents sur le bâti lui-même. Dans notre situation, les émissions du terminal 1 pourraient en effet devenir turbulentes en régime de Sud, lorsque la masse d'air entre en contact d'un bâti très proéminent au regard de la topographie environnante et créer des vortex au sommet du bâti, caractérisée par des masses d'air différentes.

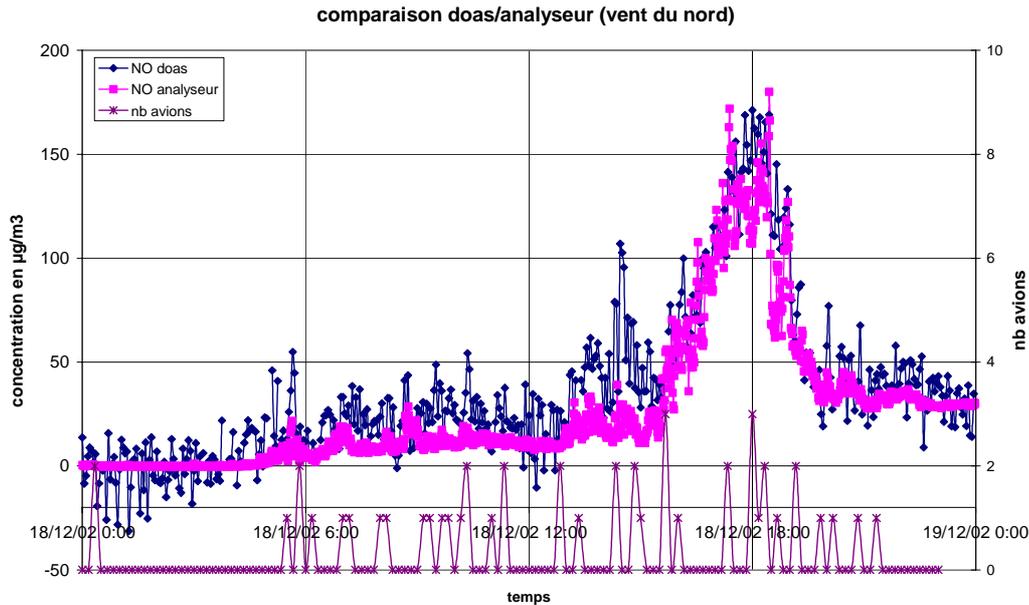
Enfin, en analysant les résultats obtenus en situation de vent du Nord, on constate que la similitude des données est fonction de l'intégration temporelle réalisée car la dynamique atmosphérique est observée par les deux instruments à des échelles de temps différentes. En effet, la corrélation entre les deux appareils est meilleure pour une intégration spatiale supérieure à 1 heure, ce qui nous renseigne sur le temps nécessaire au transfert entre les émissions au niveau du DOAS et les valeurs obtenues par la station « Hôtel Sofitel ».

6.2 COMPARAISON DU DOAS « HALL CENTRAL » ET DU TRAFIC DES AVIONS

Nous avons effectué une mise en comparaison des données obtenues par le DOAS SANOA INERIS avec le trafic des avions pour la zone correspondante, à savoir sur les zones d'embarquements / débarquements situées le long du trajet optique du DOAS. Cette mise en relation entre les concentrations de NO et NO₂ et le trafic s'est effectué pour différentes intégrations temporelles pour chacun des deux instruments. Nous n'avons pas observé de dépendances significatives de l'intégration temporelle sur la dynamique du NO₂, résultat qui s'explique sans doute par les conditions météorologiques de la campagne de mesures : étude hivernale, faible ensoleillement et concentrations d'ozone faibles, qui sont des facteurs limitant l'oxydation du NO en NO₂. En revanche, nous observons que les résultats du DOAS intégrés sur 3 minutes, suivent très exactement le trafic des avions, ce qui est partiellement le cas pour l'analyseur. De plus, nous observons que seules les données NO intégrées sur 1 heure, permettent d'accéder à une bonne corrélation entre les deux instruments.



Influence du trafic sur la dynamique du NO et NO₂ : données horaires



Influence du trafic sur la dynamique du NO et NO₂ : données toutes les 3 minutes

Ainsi, cette mise en comparaison des données NO, NO₂ et trafic, nous a permis d'effectuer les constatations suivantes :

- L'association du DOAS et de l'analyseur ne constitue pas une redondance mais une complémentarité car c'est en comparant ces mesures que l'on peut mieux comprendre la dispersion des polluants sur cette zone.
- Il existe une corrélation entre les données horaires NO des analyseurs et le trafic, mais la dynamique était fortement atténuée par les effets de transport et de dilution. De ce fait, ces résultats sont représentatifs de l'exposition horaire des personnes situées au niveau du Hall central.
- Il existe une corrélation franche entre les données NO DOAS et le trafic, démontrant que le DOAS était représentatif de la qualité de l'air au niveau des portes d'embarquement et qu'il était donc représentatif d'une exposition 1/4 horaire des personnes situées à proximité des zones de transferts : portes d'accès, salle d'attente et plus globalement de la zone sous-douane.
- Le trafic pouvait générer de fortes concentrations de NO en valeurs 1/4 horaires, qui, si elles étaient fournies en équivalent NO₂, pourraient devenir proches des valeurs limites réglementaires. En effet, la dynamique d'oxydation du NO en NO₂ était fortement réduite, compte tenu du faible taux d'ozone et du faible ensoleillement.

Ainsi, la station « Hôtel Sofitel » et le DOAS ont délivré des informations complémentaires, permettant de mieux appréhender la spatialisation des polluants au niveau du Hall central ainsi que leur réactivité en période hivernale. Ces résultats ont, par ailleurs, montré que s'ils étaient exprimés en équivalent NO₂, ils pouvaient devenir proches des valeurs seuils réglementaires et placer ainsi ce site en zone polluée. Néanmoins, cela supposerait que la totalité du NO soit oxydé localement, ce qui n'a pas été le cas ici compte tenu des conditions météorologiques et de la faible teneur de l'atmosphère en ozone.

En revanche, nous conseillons la réalisation d'une étude NO/NO₂ au niveau des zones de transfert de passagers en période estivale car il est à craindre que de fortes concentrations en NO₂ puissent y être relevées.

6.3 COMPARAISON DU DOAS 2000 TEI ET DE LA STATION COPARLY

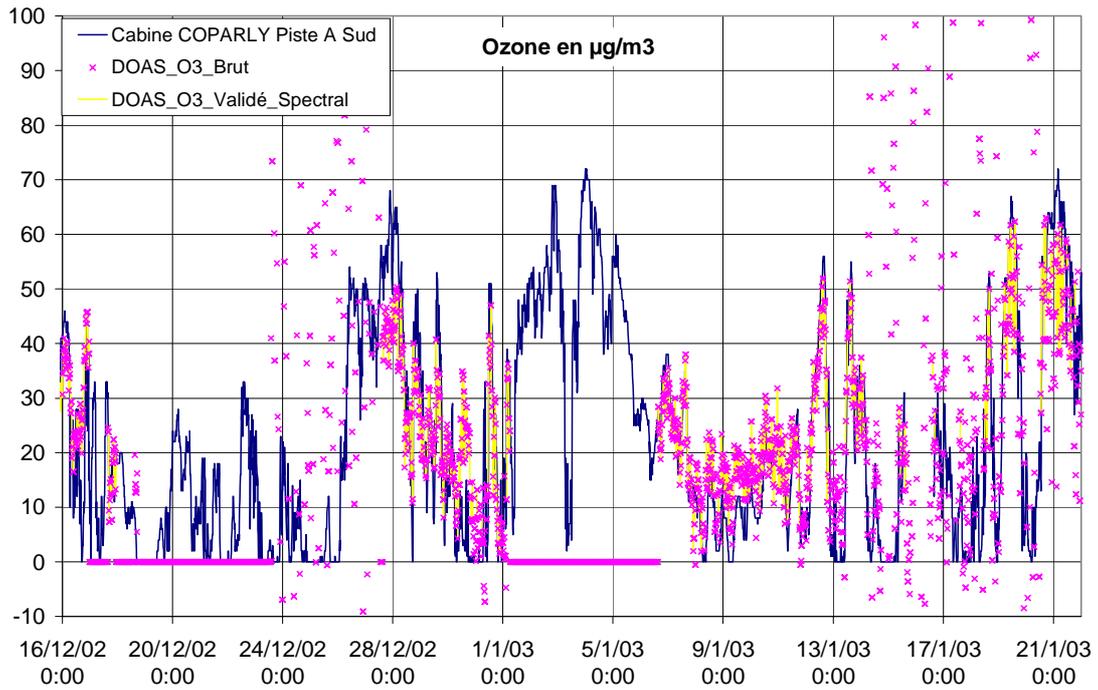
Comme évoqué dans la partie descriptive, ce DOAS a été installé à l'extrémité Sud de la piste A, à proximité immédiate de la station d'analyse COPARLY.

On rappelle le taux de fonctionnement de cet appareil :

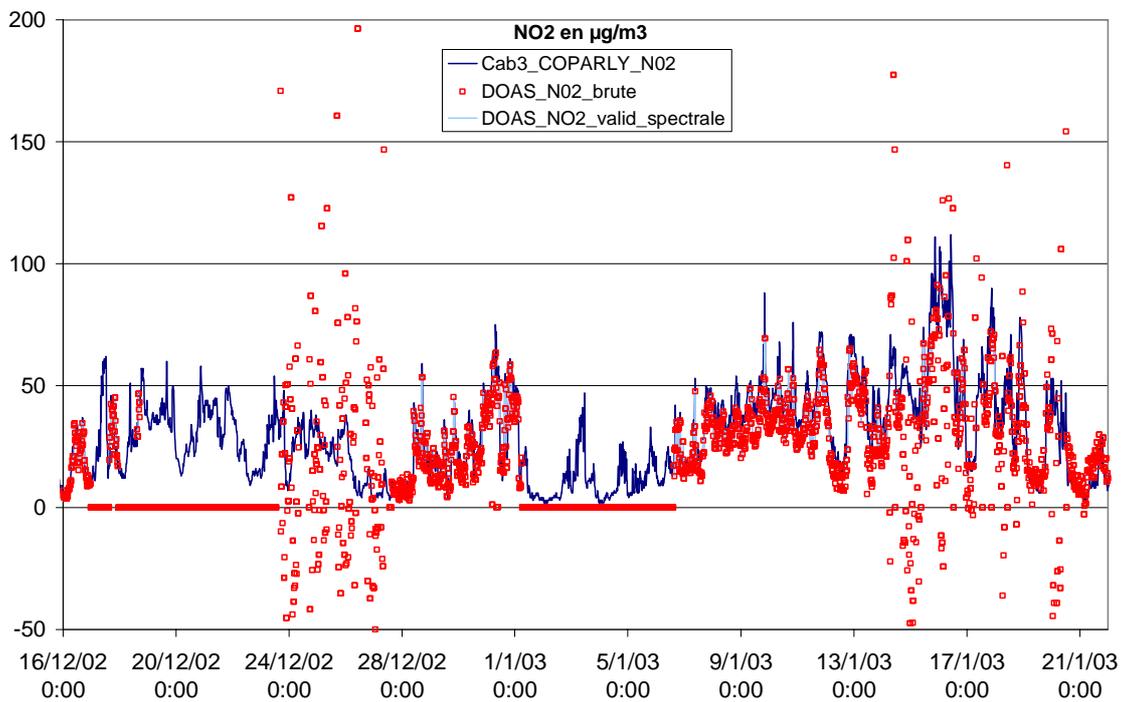
date	Evènement
14/12/2002 16:24	début des mesures
16/12/02 23:59	arrêt du système non expliqué
17/12/02 15:40	remise en route (15h de données manquantes)
17/12/02 23:10	arrêt du système non expliqué
18/12/02 15:05	remise en route (16h de données manquantes)
18/12/02 17:50	arrêt du système suite à un bug informatique (Win 98)
23/12/02 13:35	remise en route (4j et 20h de données manquantes)
27/12/02 13:40	réalignement du système (4j de données manquantes)
27/12/02 15:20	remise en route
1/1/03 6:45	arrêt du système : bug informatique (Win98)
6/1/03 15:15	remise en route
22/1/03 10 :00	Fin de campagne

6.3.1 Taux de données validées

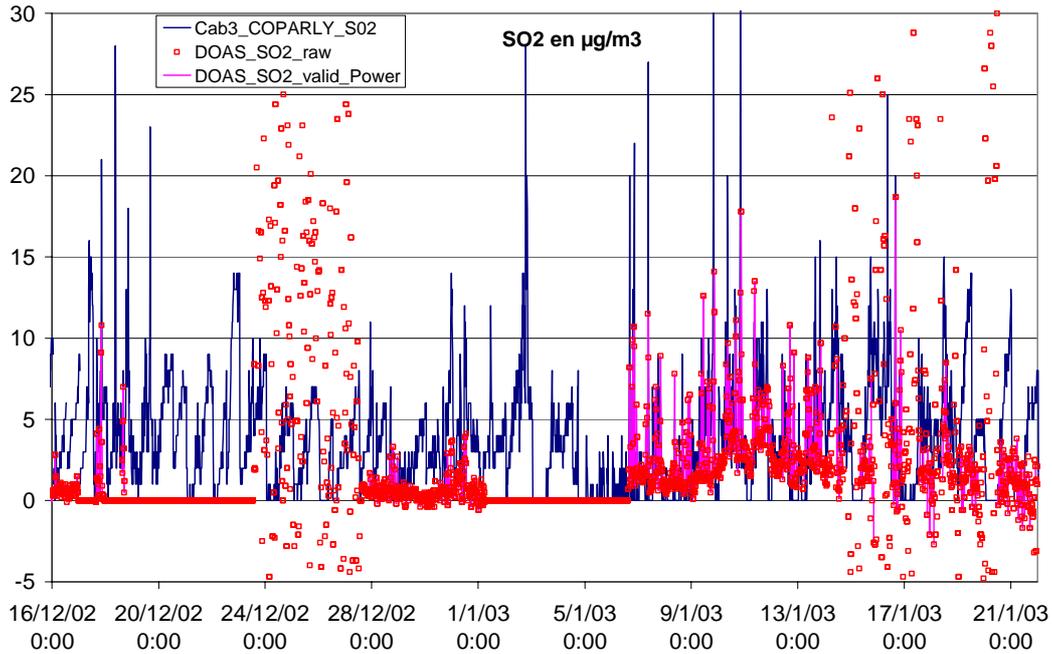
Le traitement des données du DOAS inclut une étape de validation des résultats, soit en fonction de l'intensité lumineuse reçue, soit en fonction d'une corrélation spectrale. Cela permet d'obtenir le taux de données validées par l'appareil au regard du taux de fonctionnement défini précédemment.



Concentration en Ozone exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, obtenues par le DOAS (données brutes et validées) ainsi que par les analyseurs (données validées) pour l'ensemble de la période.



Concentration en NO_2 exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, obtenues par le DOAS (données brutes et validées) ainsi que par les analyseurs (données validées) pour l'ensemble de la période.



Concentration en SO₂ exprimées en µg/m³, obtenues par le DOAS (données brutes et validées) ainsi que par les analyseurs (données validées) pour l'ensemble de la période.

Nous constatons une quasi équivalence entre les deux techniques de validation des données DOAS. En effet, les données validées par la méthode de corrélation sont celles validées par l'étude de l'intensité lumineuse reçue. Pour la suite, nous préférons la méthode de validation en fonction de l'intensité lumineuse car elle permet une meilleure invalidation des données aberrantes et notamment celles fortement négatives. Il n'est pas surprenant d'accéder à une telle conclusion car si l'intensité lumineuse devient faible, la corrélation spectrale disparaît également car le niveau de bruit augmente fortement. Ces deux types de corrélation sont donc étroitement liées, mais le niveau de coupure de la validation en fonction de l'intensité lumineuse est légèrement plus restrictif.

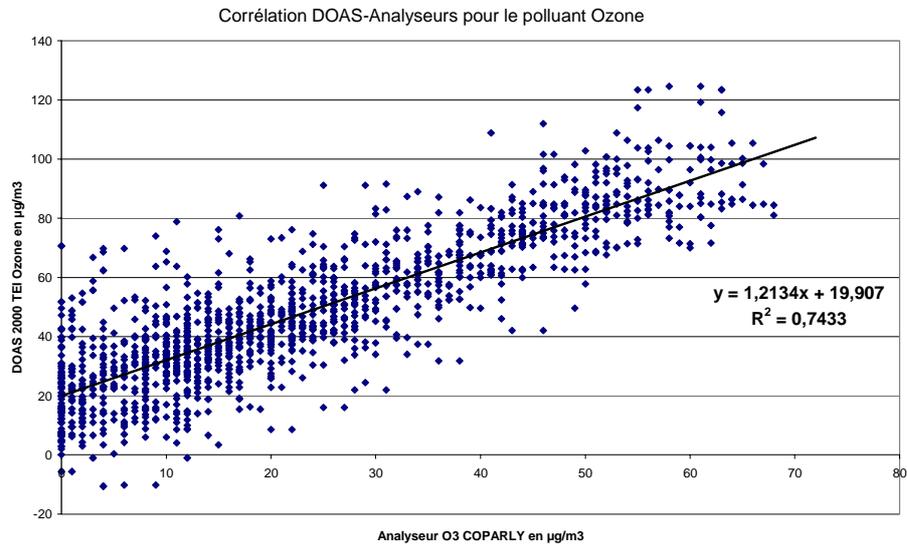
Le taux de données validées a été de 50%, pour un taux de fonctionnement de 75%, ce qui est très faible et dénote une instabilité de l'appareil. Nous avons souligné précédemment la nécessité d'utiliser un système informatique stable car une perte importante de données a été imputable au système d'exploitation. L'étude des données validées nous permet également de mettre en évidence un désalignement de l'appareil responsable de la perte de 4 jours de données. En effet, l'absence de données validées, pour les périodes du 24-28 décembre et du 15-19 janvier, est causée par une intensité lumineuse très faible qui ne s'explique pas par des conditions météorologiques défavorables. En revanche, il a été nécessaire d'effectuer un réalignement de l'appareil pour ces périodes considérées. De ce fait, le taux de données validées fut d'autant plus réduit. Nous conseillons donc au constructeur d'optimiser cet appareil et notamment:

- De stabiliser l'environnement informatique de pilotage et plus particulièrement de veiller à réduire les bug informatiques intempestifs.
- De stabiliser le rétroreflector afin de réduire les éventuels désalignements, notamment en empêchant les oiseaux de se poser dessus. En effet, si sa stabilité aux vibrations n'est pas critique, il est néanmoins nécessaire de le protéger des volatiles, qui, en se posant dessus, entraînent de réels désalignements.

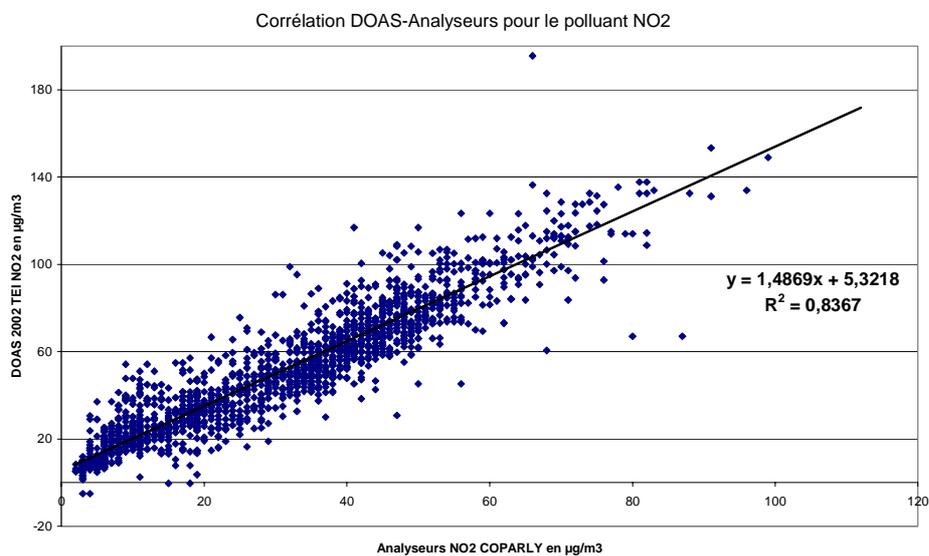
6.3.2 Mise en comparaison des données DOAS avec les analyseurs ponctuels

Nous avons, dans un premier temps, évalué la cohérence des mesures du DOAS 2000 TEI avec les analyseurs ponctuels. Les figures ci-dessous fournissent un aperçu des concentrations obtenues par le DOAS et les analyseurs, pour les polluants Ozone, NO₂ et SO₂. Nous avons évalué la cohérence de ces mesures et obtenu les corrélations suivantes :

- Ozone: DOAS= 1,2134*Analyseur + 19,907 avec R² = 0,7433

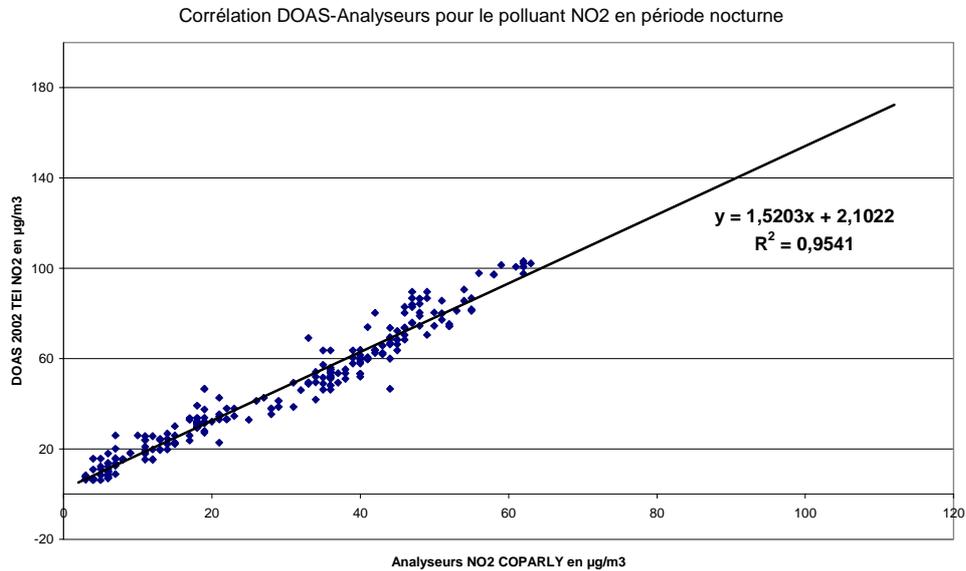


- NO₂ : DOAS = 1,4869*Analyseur + 5,3218 avec R² = 0,8367

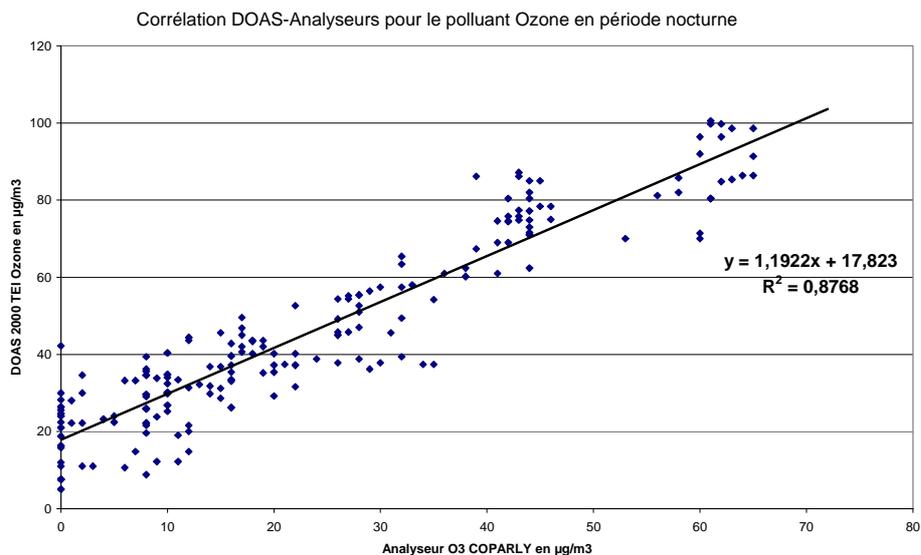


Néanmoins, il faut rappeler que cette corrélation est calculée sur l'ensemble des mesures et incluant donc les périodes d'hétérogénéité atmosphérique. En effectuant une mise en corrélation des données nocturnes, on obtient les corrélations suivantes :

- Ozone: DOAS= 1,19*Analyseur + 17,8 avec $R^2 = 0,87$. Cette corrélation reste peu différente de celle obtenue sur l'ensemble de la période compte tenu de la faible dynamique de l'ozone et de sa relative homogénéité horizontale à l'échelle de quelques centaines de mètres. Il apparaît un défaut de calibrage du DOAS, à savoir une surestimation de 20% mais surtout un biais de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



- NO₂ : DOAS = 1,52*Analyseur + 2,10 avec $R^2 = 0,95$. Cette corrélation devient très bonne lorsque l'on s'intéresse uniquement aux périodes d'homogénéité atmosphérique. En revanche, cela met clairement en évidence un défaut de calibrage du DOAS pour le polluant NO₂ : une surestimation de 52% et un léger biais de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Une correction de valeurs DOAS devra donc être effectuée afin de pouvoir les utiliser par la suite.



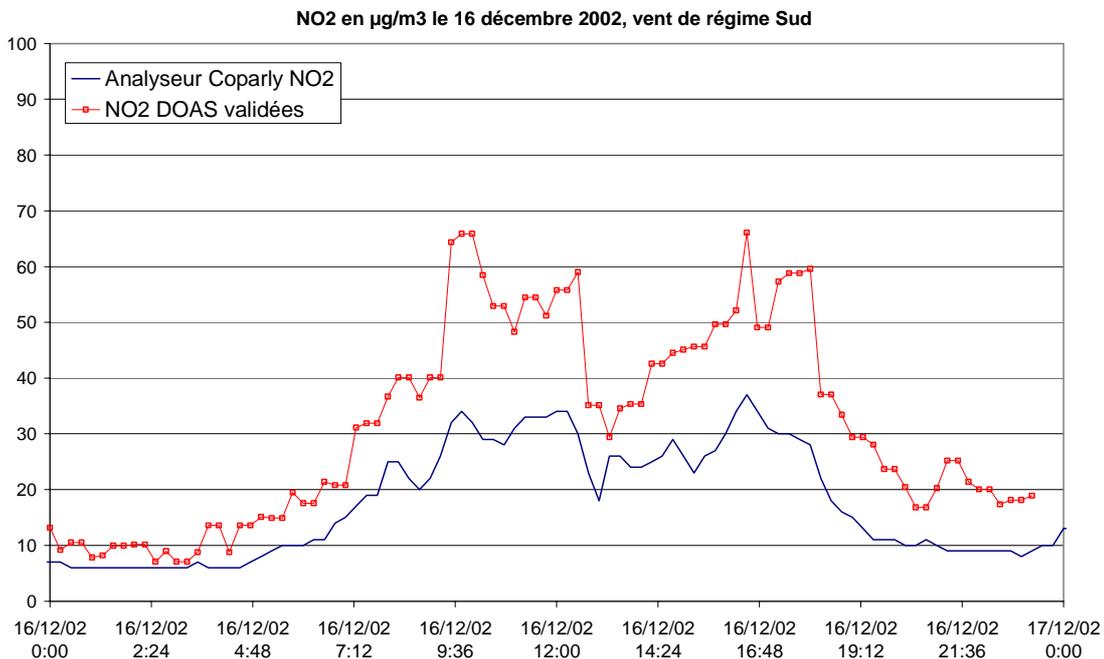
Nous n'avons pas effectué de corrélation pour le SO₂, la dynamique des mesures étant trop faible (concentrations proches du niveau de fond). Pour les polluants NO₂ et Ozone, on observe que les courbes de corrélation montrent des biais de mesure (offset) et des pentes différentes. Cela renforce la nécessité d'effectuer un calibrage sur site pour ce type d'instrument.

Afin d'uniformiser les mesures obtenues par tous les appareils présents, nous conseillons donc d'effectuer une correction des données du DOAS 2000 en utilisant les résultats des courbes de corrélation nocturnes ci-dessus.

6.3.3 Analyse comparée de situations météorologiques caractéristiques

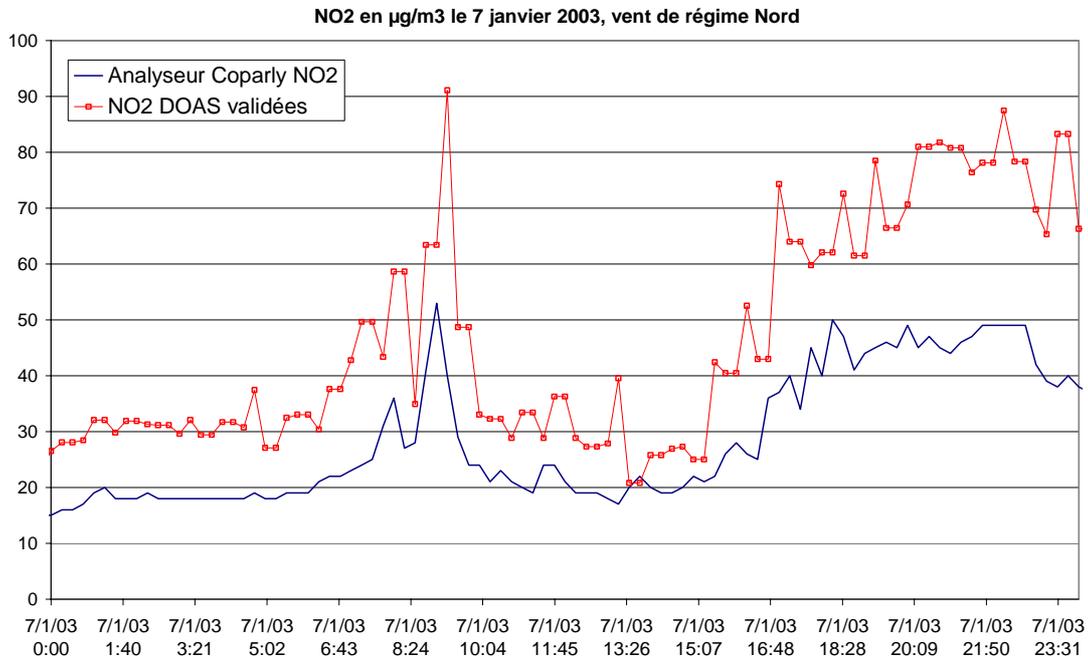
Afin de rester cohérents avec les études effectuées sur le DOAS du Hall central, nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux situations météorologiques caractérisées par des régimes de vent établis respectivement de Nord et de Sud, sans pouvoir utiliser les deux journées décrites précédemment faute de données.

La journée du 16 décembre a été caractérisée par un régime établi de Sud. Compte tenu de la configuration des sites et sachant que la piste A est utilisée pour les phases de décollage, nous nous attendions à une faible dynamique temporelle du polluant NO₂. En effet, lors de régime de Sud, les avions s'élançaient depuis le nord de la piste A et se trouvaient donc très éloignés du DOAS. La figure ci-après confirme bien cette hypothèse car nous n'observons pas réellement de modulation de la concentration liée à l'activité aéroportuaire.



Dynamique NO₂ le 16 décembre 2002, en Piste A Sud, Régime de Sud

La journée du 7 janvier 2003 était caractérisée par un vent de régime Nord. Compte tenu de la configuration du site, les avions décollaient à proximité du DOAS et des analyseurs installés en piste A Sud. On s'attend donc à avoir une forte dynamique temporelle de la concentration, liée à l'activité aéroportuaire. La figure ci-dessous confirme bien cette hypothèse car nous observons clairement deux périodes de fortes émissions de NO₂ en début et fin de journée.



Dynamique NO₂ le 7 janvier 2003, en Piste A Sud, Régime de Nord

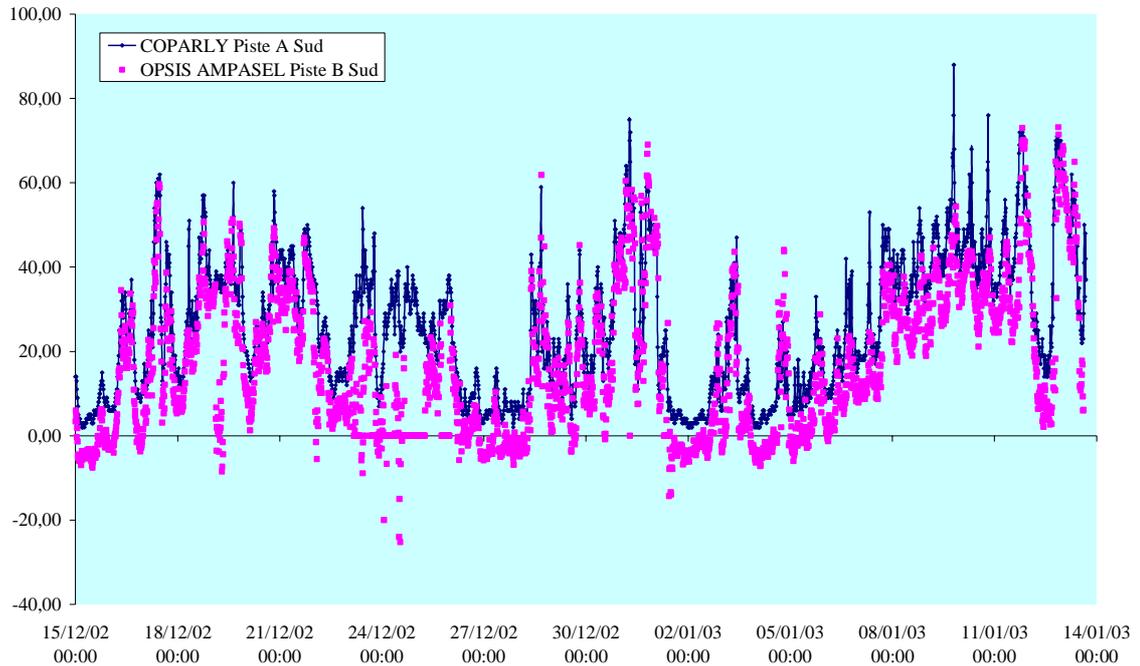
D'une manière générale, on constate également que la dynamique temporelle du polluant NO₂ est plus forte au niveau des pistes qu'au niveau du Hall central, notamment lorsque le vent est établi de régime Nord. Cela pourrait être lié aux émissions des avions qui sont beaucoup plus importantes lors des phases de décollage, que lorsqu'ils sont en zone de chargement/ déchargement des passagers. Afin de confirmer cela, une étude plus précise pourrait être effectuée sur la variation temporelle du rapport NO/NO₂ en fonction de l'activité aéroportuaire. En effet, en observant la dérivée temporelle de ce rapport, notamment sur les données des analyseurs intégrées sur 1 minute, on pourrait obtenir une évaluation du taux de production de NO_x ainsi que de la fraction NO. N'ayant pas d'information à ce jour sur l'activité des avions lors des phases de décollage, nous ne pouvons effectuer cette étude.

6.4 COMPARAISON DU DOAS OPSIS ET DU TRAFIC DES AERONEFS

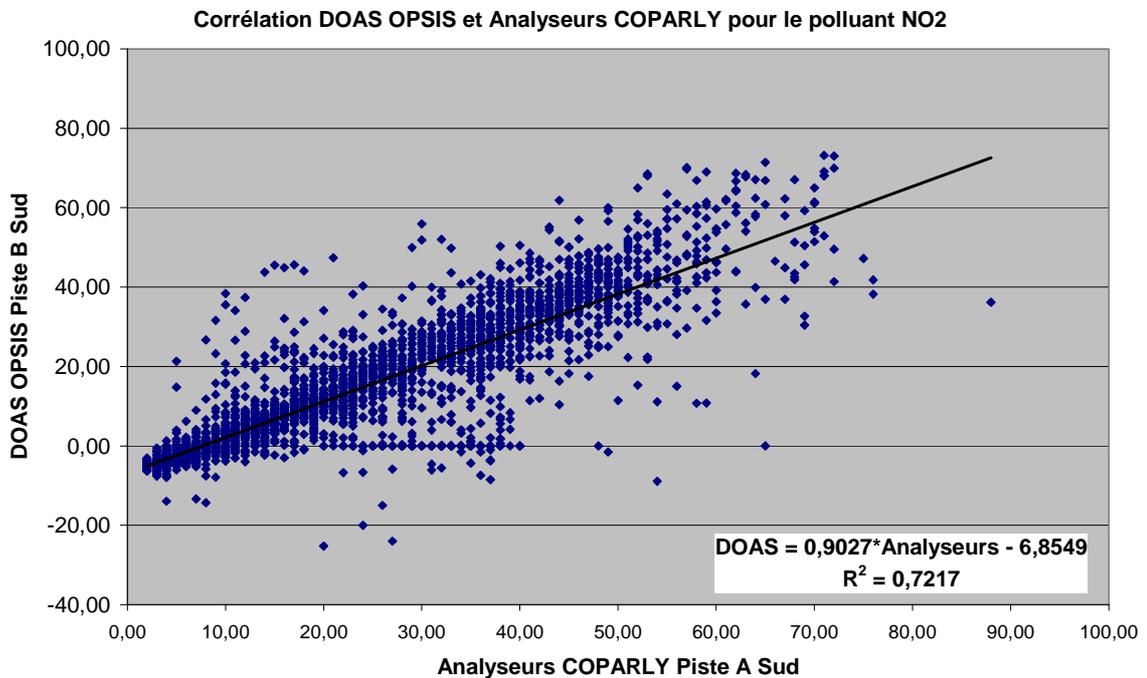
Comme évoqué dans la partie descriptive de ce rapport, les mesures DOAS ne sont validées que dans le cas du polluant NO₂. En effet, les différents essais de calibrage préliminaires, ne nous ont pas permis de valider la mesure des polluants O₃ et SO₂.

Les différents essais de calibrage de cet instrument figurent en annexe de ce rapport.

La figure ci-dessous donne un aperçu de concentrations obtenues.



Mise en comparaison des données DOAS OPSIS AMPASEL et des mesures ponctuelles effectuées par les analyseurs installés à proximité



Courbe de corrélation globale entre le DOAS OPSIS et les analyseurs COPARLY

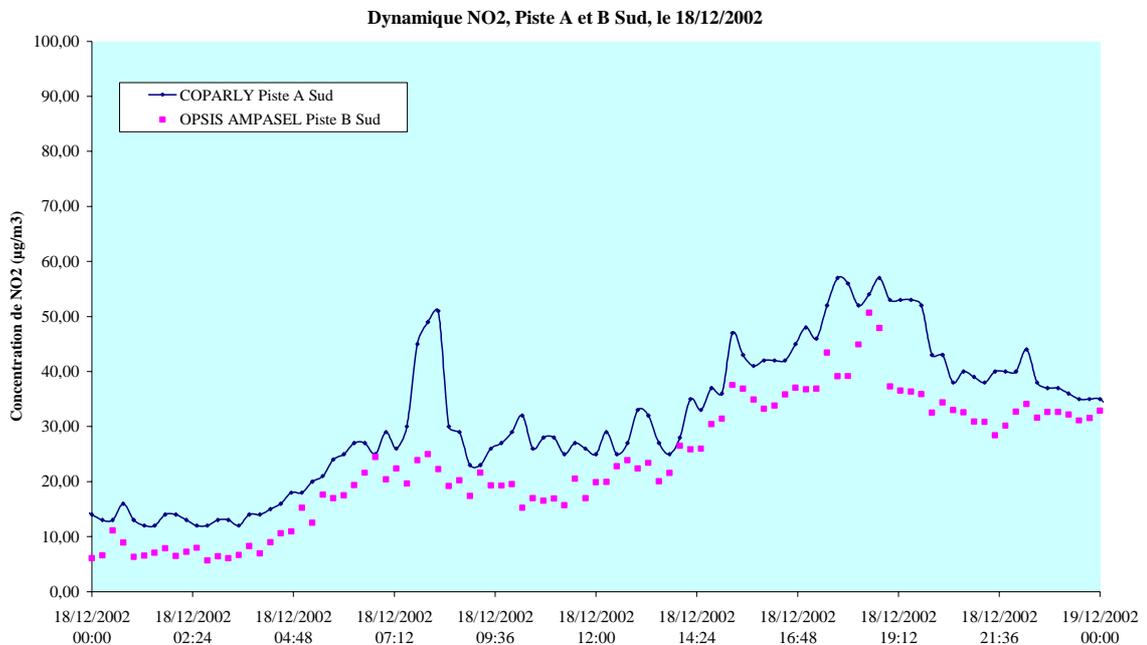
N'ayant pas reçu à ce jour les données de trafic relatives aux décollages et atterrissages sur la piste B, il nous est impossible dans le cadre de ce rapport, d'effectuer une mise en comparaison des données DOAS avec l'activité des avions sur cette zone.

En revanche, la comparaison des données DOAS avec les résultats obtenus par la station de mesures COPARLY installée 300 m à l'est, nous permet de constater une corrélation satisfaisante entre les deux instruments. En effet, la mise en corrélation de l'ensemble des mesures permet d'accéder à une corrélation de 0,9 avec un offset de $-6,85 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

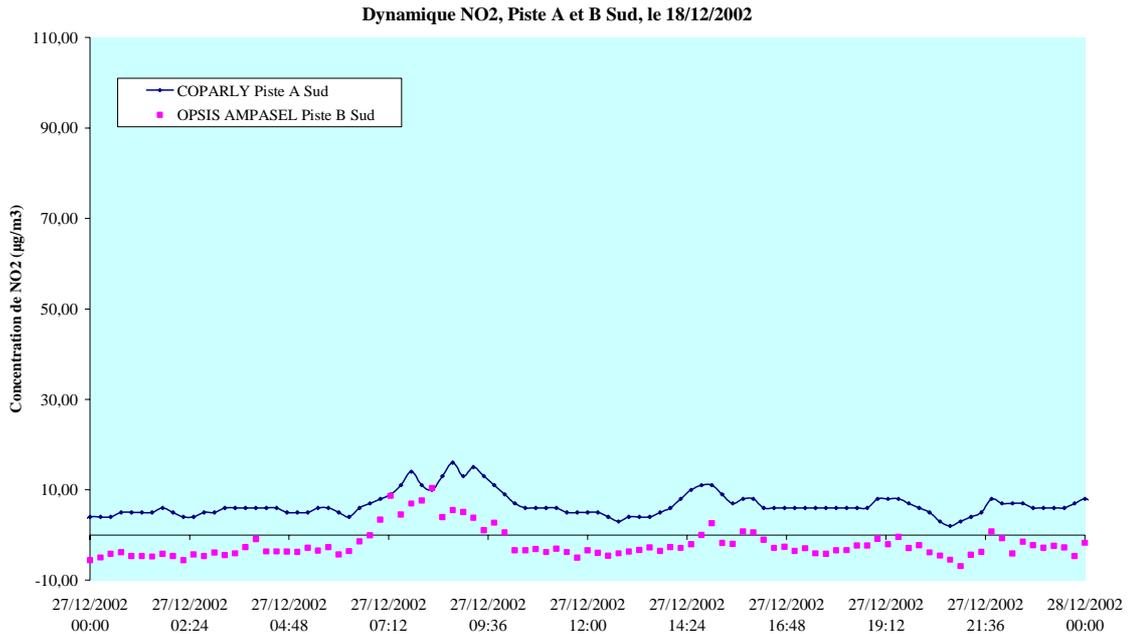
$$\text{DOAS OPSIS d'AMPASEL} = 0,90 * \text{Analyseurs_Coparly} - 6,85 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$$

Cette corrélation est d'autant plus satisfaisante, qu'elle est réalisée sur l'ensemble des mesures, notamment celles obtenues en situation d'atmosphère hétérogène.

Par ailleurs, cette cohérence entre les mesures est très nettement visible en observant une journée particulière. Ainsi l'exemple ci-dessous montre les mesures NO_2 obtenues pour les journées du 18 décembre 2002 et du 27 décembre 2002 décrites précédemment.



Dynamique NO_2 le 18 décembre 2002, en Piste A Sud et Piste B Sud, Régime de Nord



Dynamique NO₂ le 27 décembre 2002, en Piste A Sud et Piste B Sud, Régime de Sud

On observe que la dynamique du NO₂ est moins marquée dans le cas du DOAS que dans celui des analyseurs. Or, la configuration des pistes étaient la suivante :

- Piste A : décollage, caractérisé par de fortes émissions de NO_x et des avions très proches en régimes de Nord. La phase d'accélération débutait en Piste A Sud, donc à environ 50m de la cabine COPARLY, comme décrit précédemment. Compte tenu de la configuration, on s'attend donc à obtenir de fortes concentrations en NO_x en zone Piste A Sud, lorsque le vent est en régime Nord.
- Piste B : atterrissage, caractérisé par de fortes émissions de COV, de faibles émissions de NO_x et des avions proches en régimes de Nord. Compte tenu de la configuration, on s'attend à obtenir de faibles concentrations en NO_x et plus particulièrement lorsque le vent est en régime Sud.

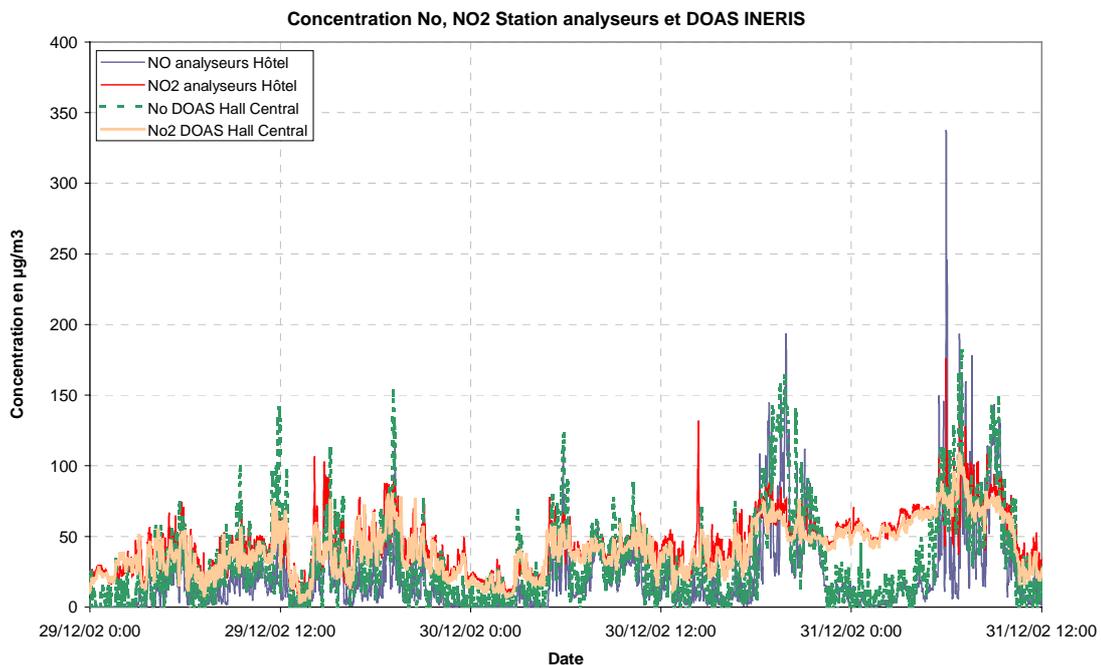
Ces mesures sont donc en bonne cohérence avec les résultats attendus car on observe des concentrations plus élevées en régime de Nord qu'en régime de Sud et une variabilité de la concentration en NO₂ plus forte dans le cas des analyseurs. On retiendra que ces deux mesures sont complémentaires et documentent bien les phases de décollage et d'atterrissage des avions en fonction des conditions météorologiques.

7. CONCLUSION GENERALE

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. Ce dernier, qui a par ailleurs fait récemment l'acquisition d'un DOAS 2000 TEI (distribué par son représentant français MEGATEC), souhaitait inclure cet appareil dans cette campagne. L'INERIS, après avis du MEDD, a participé à cette campagne de mesure, dans le cadre de sa mission d'assistance aux AASQA, et plus particulièrement en prenant à sa charge d'instrumenter la zone aéroportuaire de plusieurs DOAS.

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 SANOA 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 TEI 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.
- Étude BTX par tubes passifs et canisters : deux campagnes, de une semaine chacune, associant 10 tubes passifs répartis sur 10 sites. Cette étude a été financée pour partie par COPARLY.



exemple de données NO et NO₂, obtenues par l'analyseur NO_x 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 continu du 13 décembre 2002 au 13 janvier 2003. Ainsi, 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, NO₂, SO₂, O₃.
- DOAS OPSIS AMPASEL : Taux de fonctionnement proche de 90% pour le polluant NO₂, 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 SO₂ et O₃ : 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 SO₂ et O₃.
- DOAS 2000 COPARLY : Taux de fonctionnement de 73%, pour les polluants NO₂, SO₂, O₃. Par ailleurs, un suivi des BTX fut effectué afin de permettre au constructeur TEI d'accéder à un retour d'expérience sur la faisabilité d'une surveillance des polluants BTX. Aucun retour ne nous est parvenu à l'heure actuelle.
- Station INERIS d'analyseurs ponctuels : Taux de fonctionnement de 100 % et taux de données validées de 100 %, pour les polluants NO, NO₂, SO₂, O₃. Par ailleurs, un suivi des BTX (PID/FID) a été effectué du 6 au 13 janvier 2003. La récupération des données a été réalisée par COPARLY.

Préalablement à la campagne, nous avons effectué un contrôle qualité du DOAS SANOA INERIS et du DOAS OPSIS AMPASEL. Pour ce faire, nous avons réalisé des tests de réception dans la galerie de l'INERIS à savoir, mis en parallèle ces deux DOAS avec des analyseurs et réalisé des courbes de linéarité successives. Nous n'avons pas constaté de dysfonctionnement concernant le DOAS SANOA, tant sur les linéarités que sur sa comparaison avec des analyseurs ponctuels. En revanche, nous avons eu de très gros soucis avec le DOAS OPSIS d'AMPASEL qui nous ont conduit à invalider toutes les données Ozone et SO₂ et à émettre des doutes sur la qualité des données NO₂.

Nous avons ensuite évalué la cohérence des données DOAS avec les mesures obtenues par les analyseurs ponctuels. Ainsi, sur la base de l'exemple ci-dessus qui met en correspondance les données du DOAS SANOA avec des analyseurs ponctuels installés à proximité, nous avons obtenu des concentrations moyennes très peu différentes la nuit (en situation d'homogénéité atmosphérique et en absence de trafic). En effet, la différence des valeurs moyennes en période nocturne était :

- de 0,2 µg/m³ pour une concentration moyenne de 3,5 µg/m³ dans le cas du NO ;
- de 2,5 µg/m³ pour une concentration moyenne de 35 µg/m³ dans le cas du NO₂.

Cette mise en comparaison nous a ainsi permis de confirmer la qualité des données du DOAS SANOA obtenues sur cette campagne de mesure.

De même, nous avons mis en évidence une bonne corrélation lors de la mise en comparaison des données du DOAS 2000 TEI et des analyseurs ponctuels installés à proximité. Néanmoins, cela a également montré un défaut de calibrage du DOAS 2000 qui surestime fortement les mesures et possède des biais importants. Or cet instrument n'a pas été calibré en début de campagne compte tenu des difficultés à utiliser des cylindres hautes teneurs sur la zone aéroportuaire. Cela renforce la nécessité de poursuivre et de finaliser le développement d'outils de calibrage sur site basés sur des cellules scellées. Nous espérons pouvoir finaliser ces outils de calibrage durant l'année 2004. En revanche, nous avons obtenu un taux de données validées de 50% et un taux de fonctionnement de 75% concernant le DOAS 2000 TEI. Ces résultats sont décevants et traduisent une instabilité de l'instrument (alignement et système d'exploitation) que le constructeur devra veiller à supprimer.

Nous souhaitons également attirer l'attention sur l'instabilité des calibrages effectués pour les DOAS OPSIS et TEI-MEGATEC. En effet, les différents essais de calibrage effectués sur le DOAS OPSIS de AMPASEL, ont mis en évidence une absence de reproductibilité des différentes linéarités effectuées et des coefficients de calibrage proches de 2. De même, la corrélation obtenue entre le DOAS 2000 TEI et les analyseurs a montré que le calibrage effectué lors des essais de réception du DOAS 2000 TEI ne correspondent plus à la configuration actuelle de l'appareil. Or, les coefficients de linéarité qu'il faudrait appliquer à ces deux instruments sont élevés, ce qui nous semble très excessif et pourrait traduire un dysfonctionnement du spectromètre. Nous conseillons donc aux deux constructeurs respectifs d'engager une étude visant à confirmer la stabilité de leurs appareils ainsi qu'à étudier l'origine de telles courbes de linéarité.

A la suite de ce contrôle qualité des données, nous avons dans un premier temps mis en comparaison les données de trafic en zone de chargement - déchargement avec le DOAS installé sur le 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. Les mesures DOAS obtenues pour le polluant NO étaient très fortement corrélées à l'activité aéroportuaire sur cette zone, caractérisée par de rapides et importantes fluctuations diurnes (d'une amplitude de l'ordre de 300 % vis-à-vis du niveau de fond), notamment dans les tranches horaires (5h-9h) et (16h-19h). En revanche, nous avons constaté une faible corrélation entre le polluant réglementé NO₂ est le trafic sur cette zone. Nous tenons néanmoins à souligné que cette faible corrélation Trafic-NO₂ pourrait être liée à la situation météorologique hivernale, défavorable à l'oxydation du NO. Ainsi, il serait souhaitable de confirmer ces premiers résultats en période estivale et notamment vérifier que lors d'une transformation complète et rapide du NO en NO₂, il ne pourrait pas être associé un dépassement du seuil réglementaire pour ce polluant. Cette étude au niveau du hall central nous a également permis de montrer que la topographie de cette zone pourrait avoir une forte incidence sur la spatialisation des polluants, notamment lorsque le vent est établi en régime de Sud, et que des études complémentaires devraient être entreprises visant à documenter la dynamique locale en fonction de conditions météorologiques. Cela pourrait en effet permettre à terme de définir des sites de mesures qui soient représentatif de la qualité de l'air sur cette zone et ce, pour différents régimes de vents.

Nous avons également étudié la dynamique du polluant NO_2 sur le hall central ainsi que sur les pistes. On observe une dynamique beaucoup plus importante au niveau des pistes et notamment sur la piste A correspondant au décollage des avions qui est caractérisé par de fortes émissions de NO_x . Ainsi, il semble que lors des phases de décollage, le rapport NO_2/NO est supérieur à celui au niveau du hall central. Il serait intéressant de confirmer cette hypothèse en étudiant la dérivée temporelle de ce rapport en fonction du nombre de décollage, notamment en régime de vent de Nord.

Enfin, nous avons effectué un re-traitement spécifique des données météorologiques (Température, Pression, Humidité, Direction et Vitesse du vent au sol) afin d'optimiser l'analyse des COV légers (Benzène, Toluène, Xylène) par tubes passifs et canisters. Les résultats obtenus sont très faibles et dé-corrélés des mouvements des aéronefs. En effet, les résultats obtenus à proximité immédiate des pistes ont une répartition Toluène/Benzène proche de 1 (caractéristique d'une zone non influencé par des émissions) pour des concentrations inférieures à la limite réglementaire de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Néanmoins, on a constaté que les tubes passifs installés sur le toit de l'hôtel ont montré des concentrations légèrement supérieures sans pour autant dépasser le seuil réglementaire, soulignant vraisemblablement l'influence du parking automobile situé à proximité. Ainsi l'analyse des COV légers et notamment des polluants Benzène, Toluène et Xylène, ne permet pas de mettre en évidence une signature particulière du trafic des aéronefs. Il serait souhaitable d'effectuer une campagne d'analyse orientée sur des composés plus lourds et notamment les COSV, qui sont, sans aucun doute, de meilleurs indicateurs de l'activité aéroportuaire. Néanmoins, ces analyses des composés organiques semi-volatils sont pour l'instant difficiles à mettre en place, bien que des résultats prometteurs ont été obtenus à l'INERIS, notamment sur le développement de mousses spécifiquement dédiées à l'extraction de ces composés.

Ainsi, cette campagne de mesure nous a permis de démontrer les performances des DOAS, lorsque leur installation respecte certaines contraintes de fonctionnement. Nous avons également mis en évidence certains dysfonctionnements des DOAS OPSIS AMPASEL et DOAS 2000 TEI COPARLY, nécessitant une intervention des constructeurs respectifs. Par ailleurs, la mise en comparaison des données du DOAS SANOVA et des mesures ponctuelles, a permis de confirmer la validité des mesures du DOAS, notamment pour les polluants Ozone, NO_2 et NO . En revanche, aucune corrélation ne fut établie entre les analyses BTX par tubes passifs et les mesures du DOAS SANOVA concernant les polluants Benzène, Toluène et Xylène, car les concentrations présentes étaient proches des limites de détection instrumentales du DOAS. Enfin, nous avons pu mettre en évidence des fluctuations importantes sur les concentrations en NO corrélées à l'activité des avions au niveau du Hall central mais également sur les concentrations en NO_2 corrélées avec les périodes de décollage des avions lorsque le vent est en régime de Nord.

8. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb/N° pages
A	Emplacements des Tubes Passifs BTX	3
B	Résultats NO, NO ₂ obtenus au niveau du Hall central	7
C	Résultats obtenus en Piste A Sud	5
D	Résultats obtenus en Piste B Sud	1
E	Planning de campagne	1
F	Rapport technique du DOAS OPSIS d'AMPASEL	25

ANNEXE A
DESCRIPTION DES SITES TUBES PASSIFS 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)



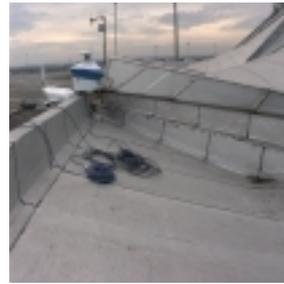
Site Aéroport, Piste B(Sud)



Site Aéroport, Piste B (Nord)



Site Aéroport, Toit de l'hôtel Sofitel



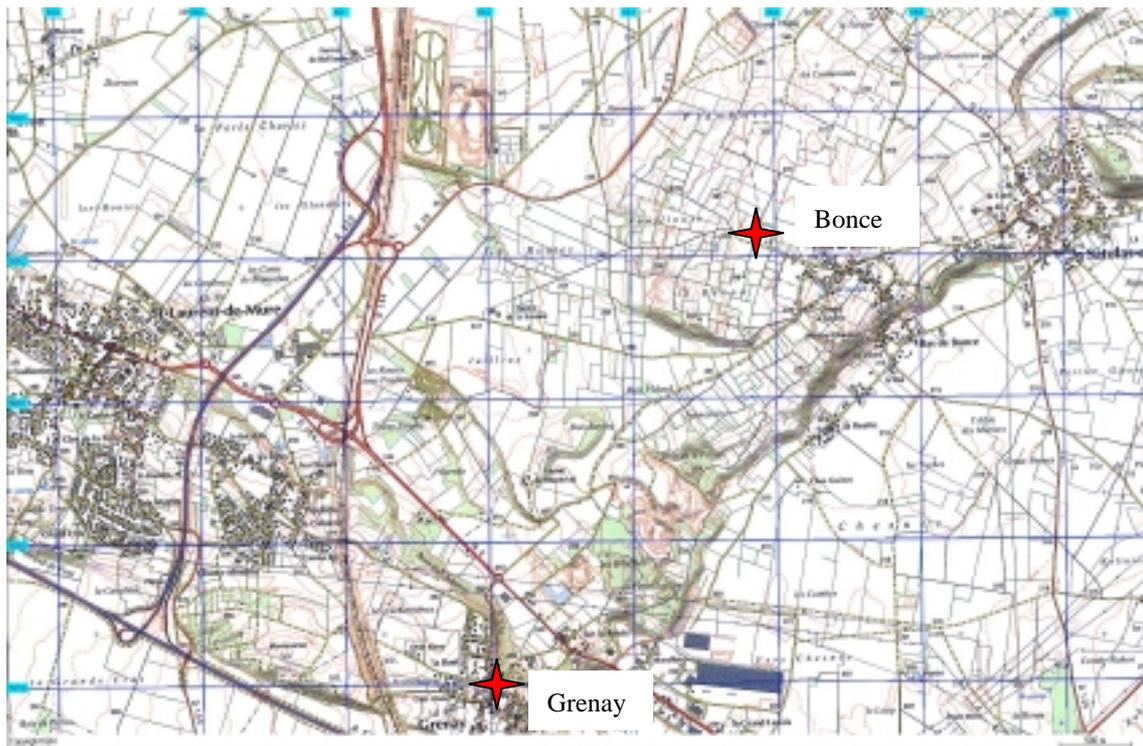
Site Aéroport, Terminal 1, Porte 15



Site Aéroport, Piste A (Sud)

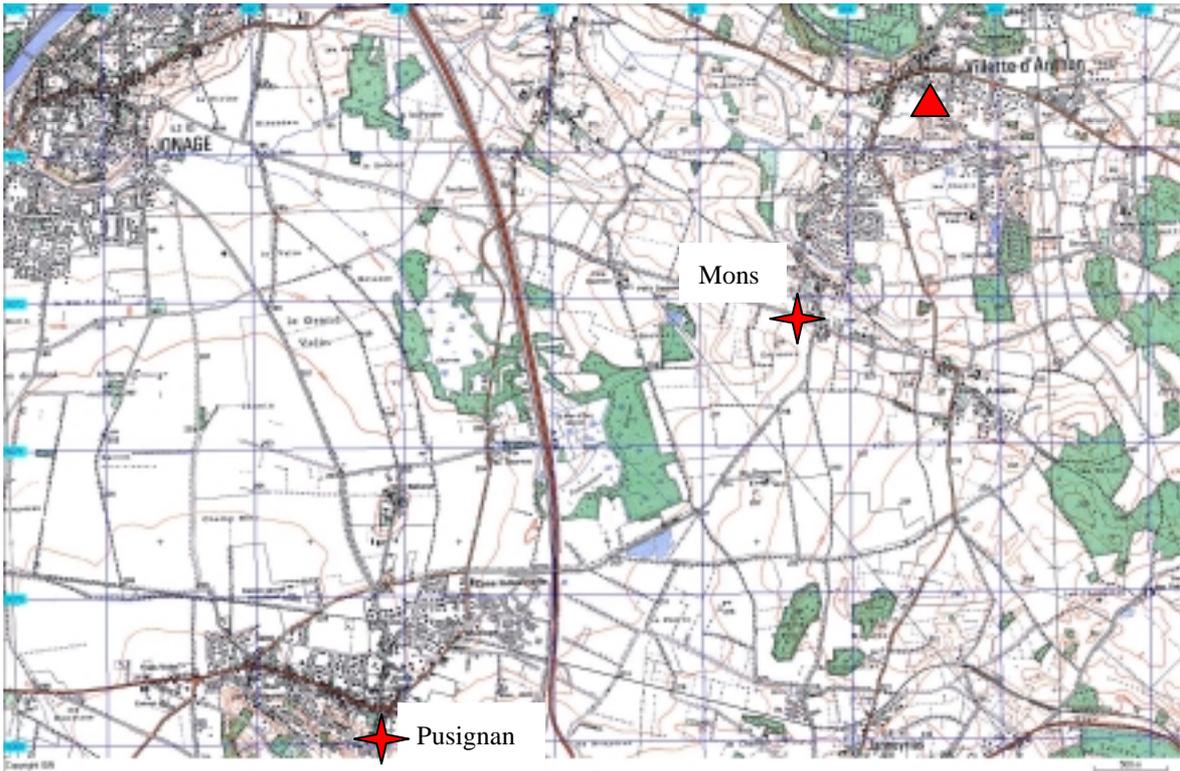


Site Aéroport, entre Piste A et B (Sud)

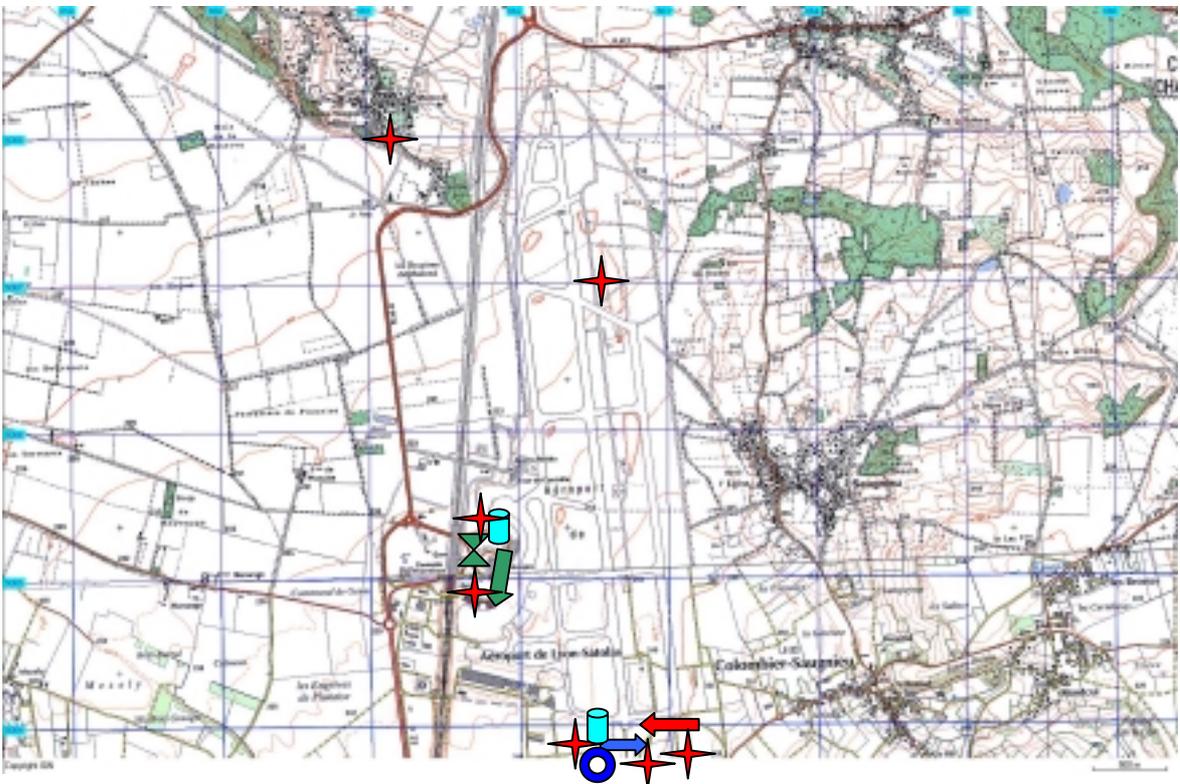


Implantation des tubes passifs en zone Sud de l'aéroport

- | | | | |
|---|-----------------------------|---|-------------------------------|
|  | Tubes passifs BTX |  | Laboratoire mobile ASCOPARG |
|  | Remorque de mesures COPARLY |  | Station d'analyse COPARLY |
|  | Station d'analyse INERIS |  | DOAS SANOVA Hall Central |
|  | DOAS OPSIS AMPASEL Piste B |  | DOAS 2000 TEI COPARLY Piste A |

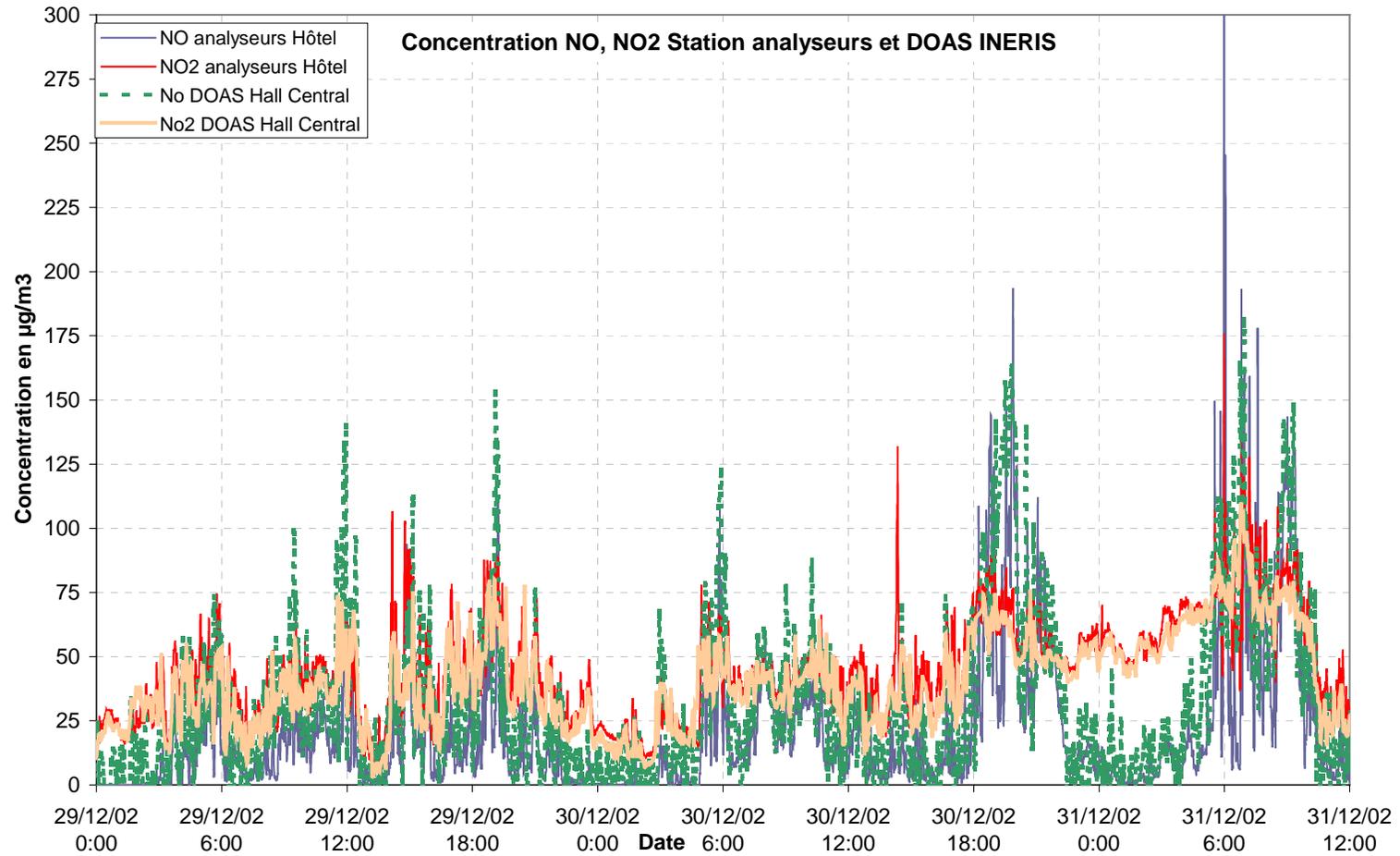


Implantation des tubes passifs en zone Nord de l'aéroport

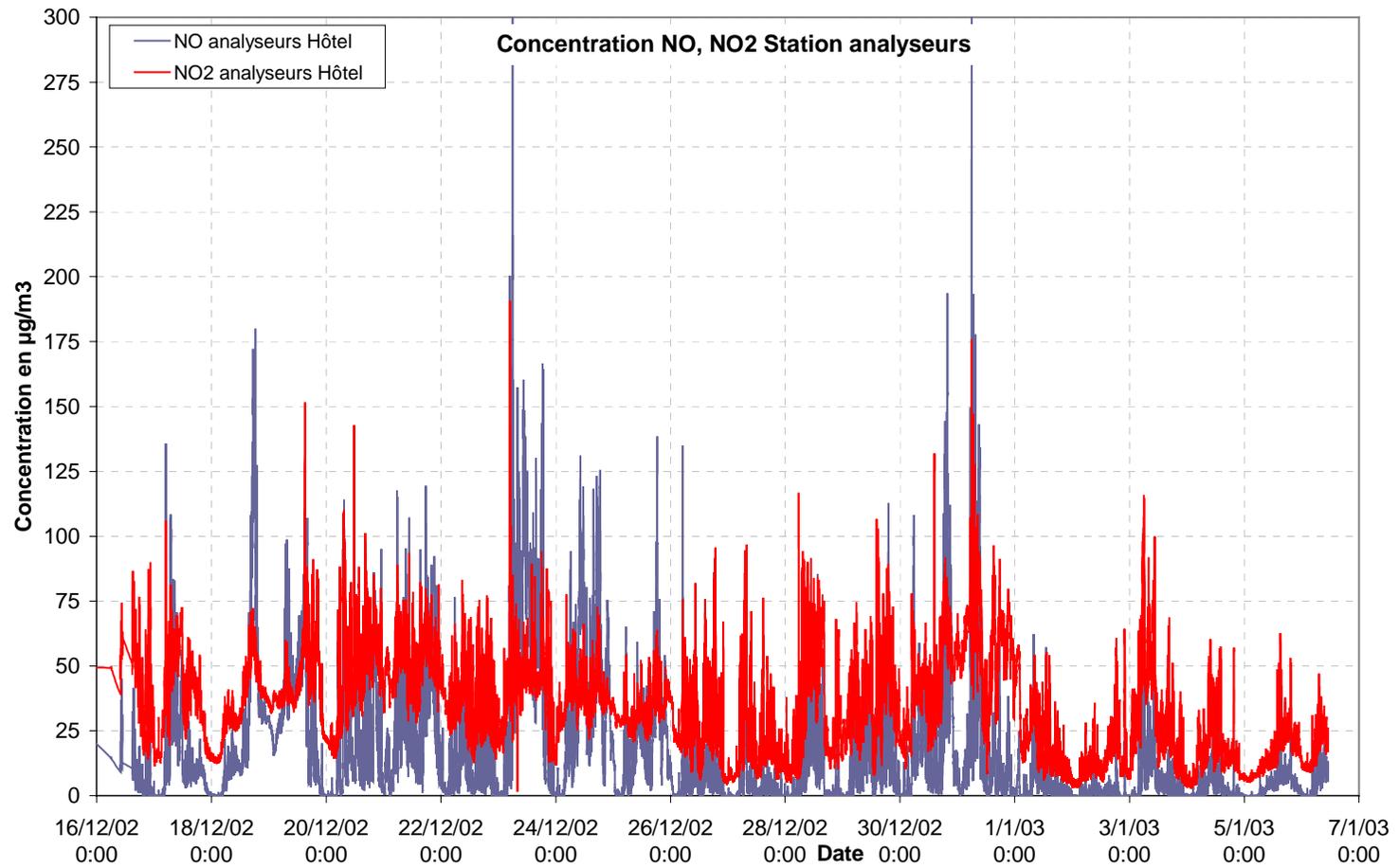


Vue détaillée des tubes passifs BTX et des instruments présents sur la zone aéroportuaire

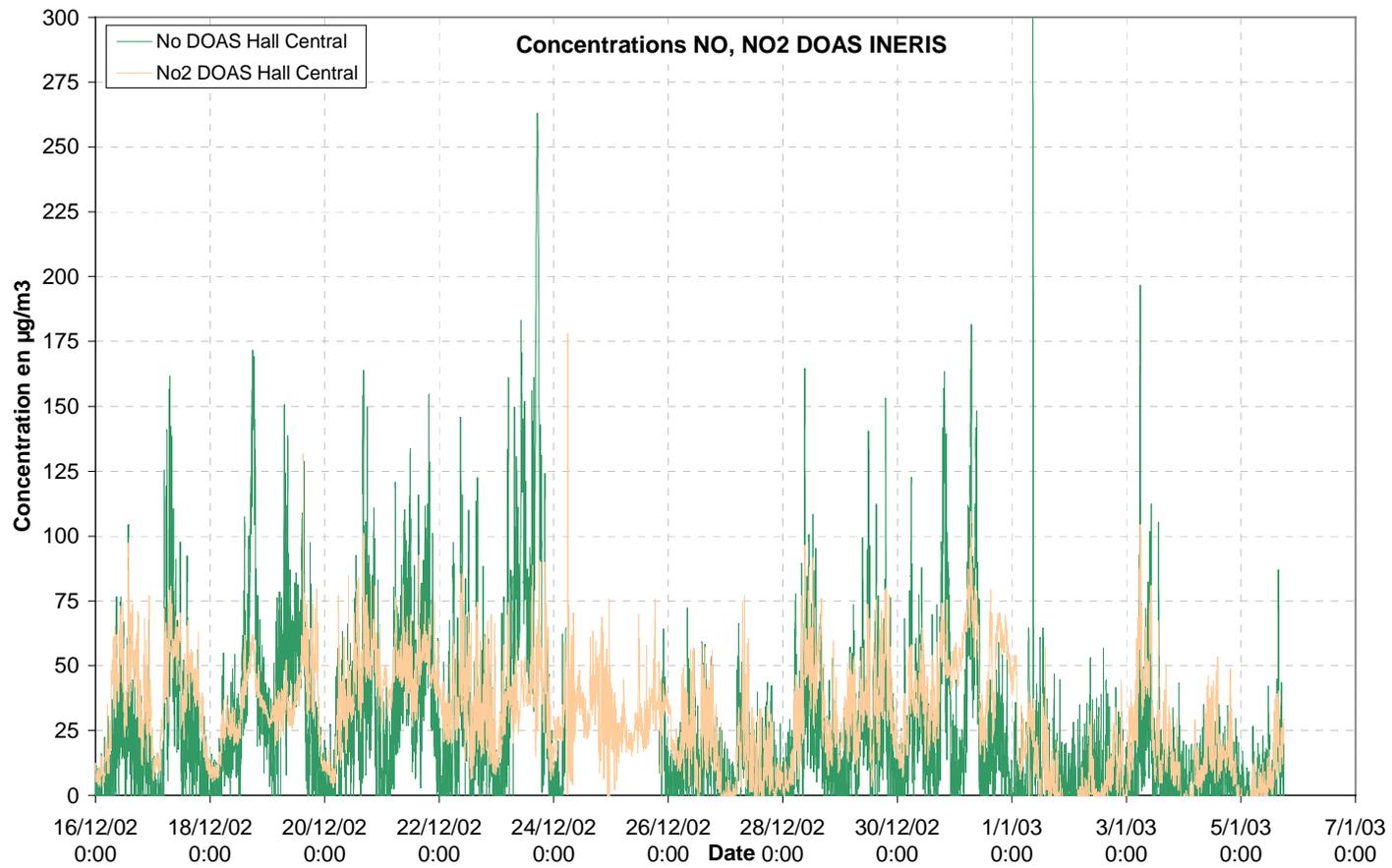
ANNEXE B
 EXEMPLES DE RESULTATS NO, NO₂ OBTENUS AU NIVEAU DU HALL CENTRAL



Mise en comparaison des données NO et NO₂ obtenues par l'analyseur installé sur le toit de l'hôtel et par le DOAS INERIS installé sur le toit du hall central

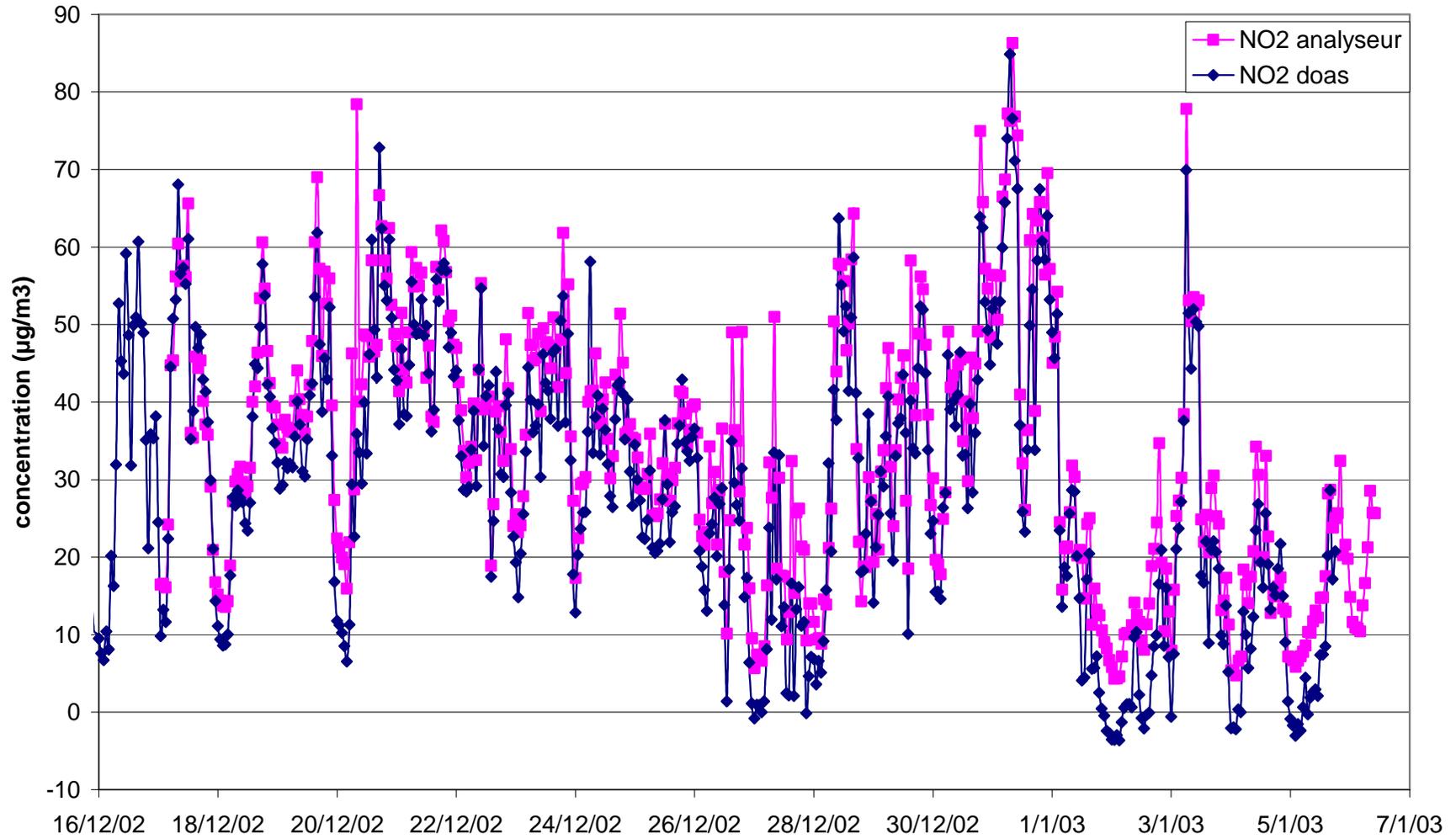


Exemple de données obtenues par la station installée sur le toit de l'hôtel, montrant les variations diurnes des concentrations en NO et NO₂

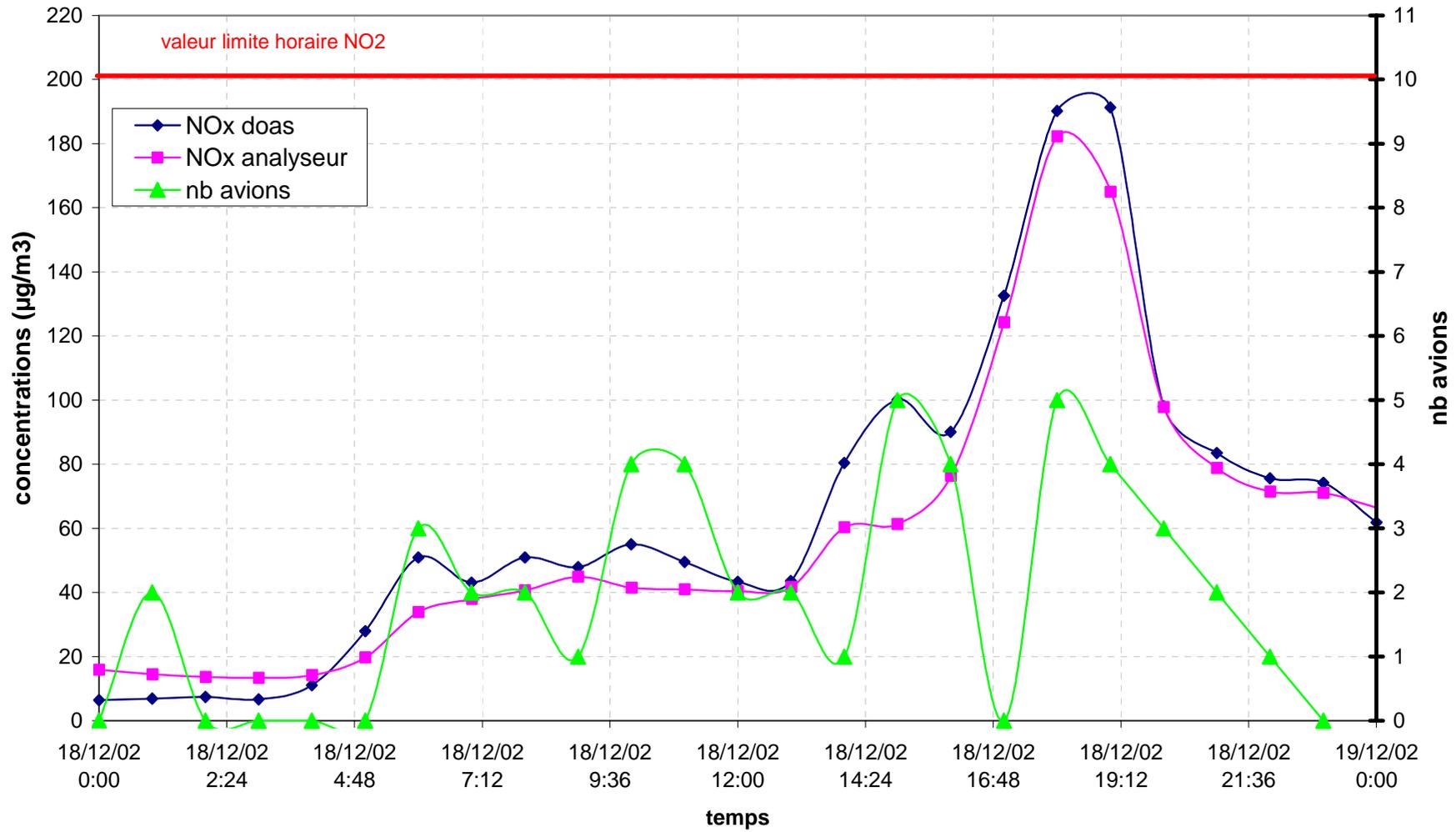


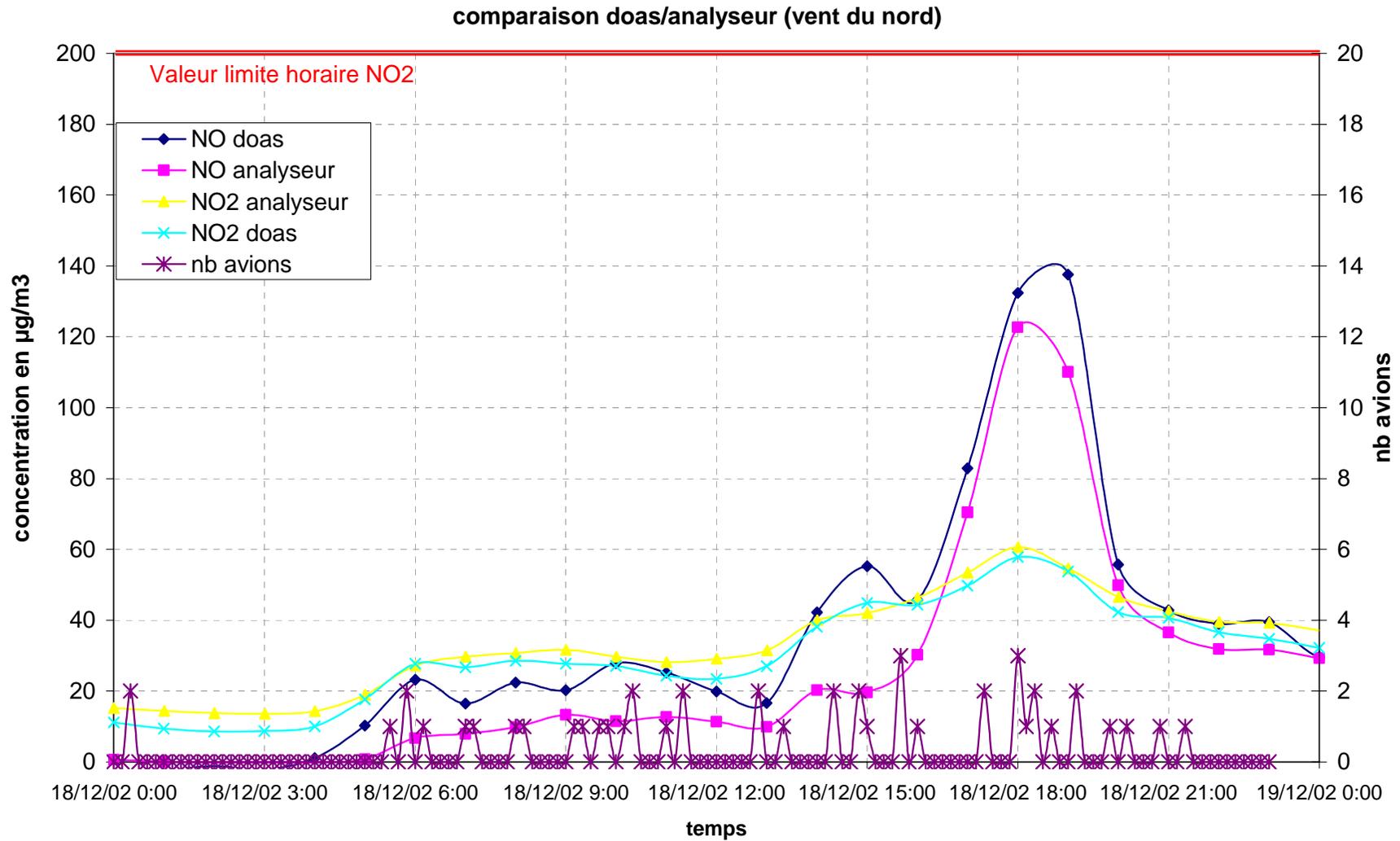
Exemple de données obtenues par le DOAS INERIS installé sur le toit du hall central, montrant les variations diurnes des concentrations en NO et NO₂

Hall central: comparaison NO2 DOAS SANOA INERIS / Analyseur NOX TEI INERIS

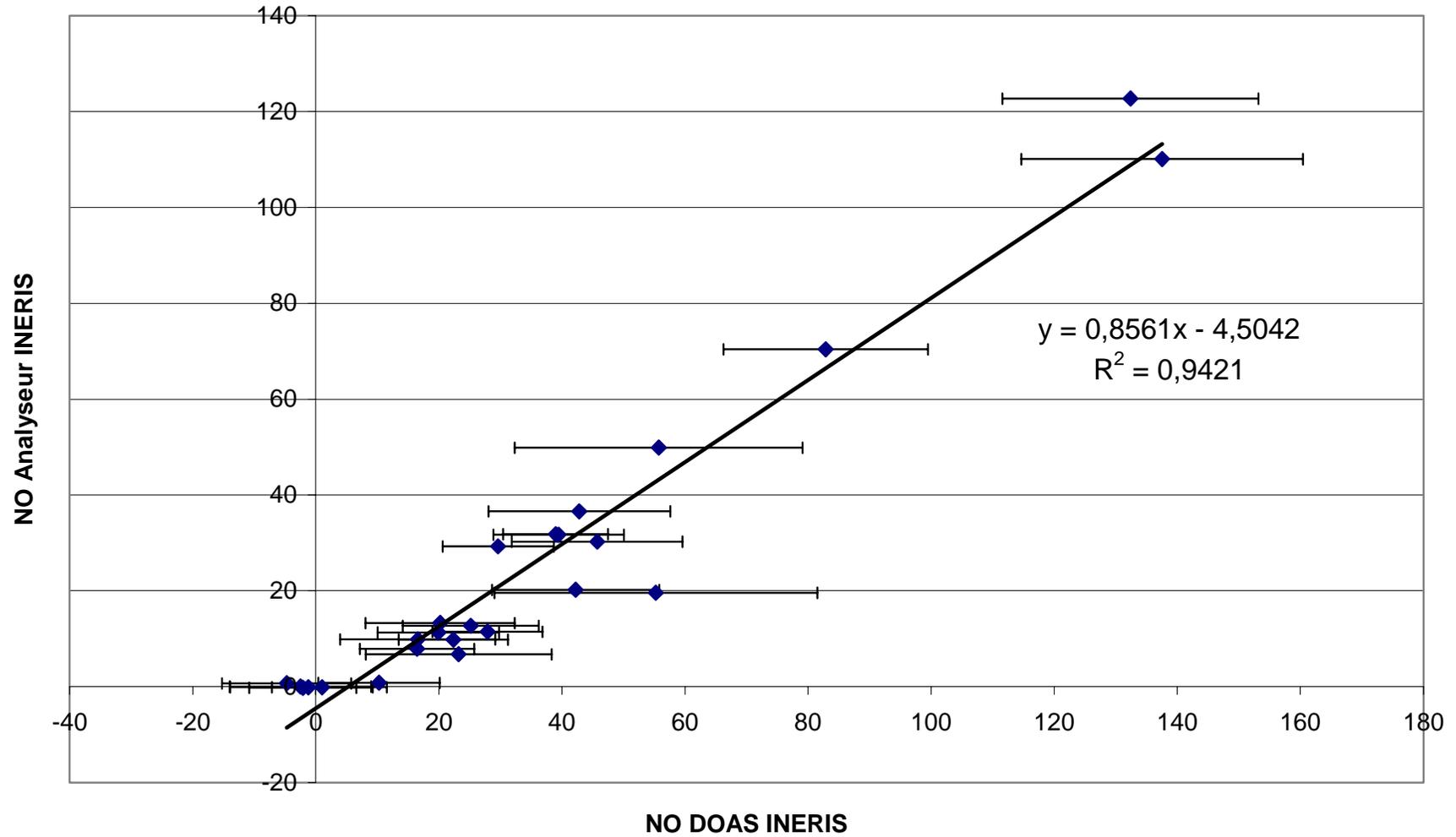


Hall Central: comparaison Analyseur / DOAS INERIS et Nombre d'avions

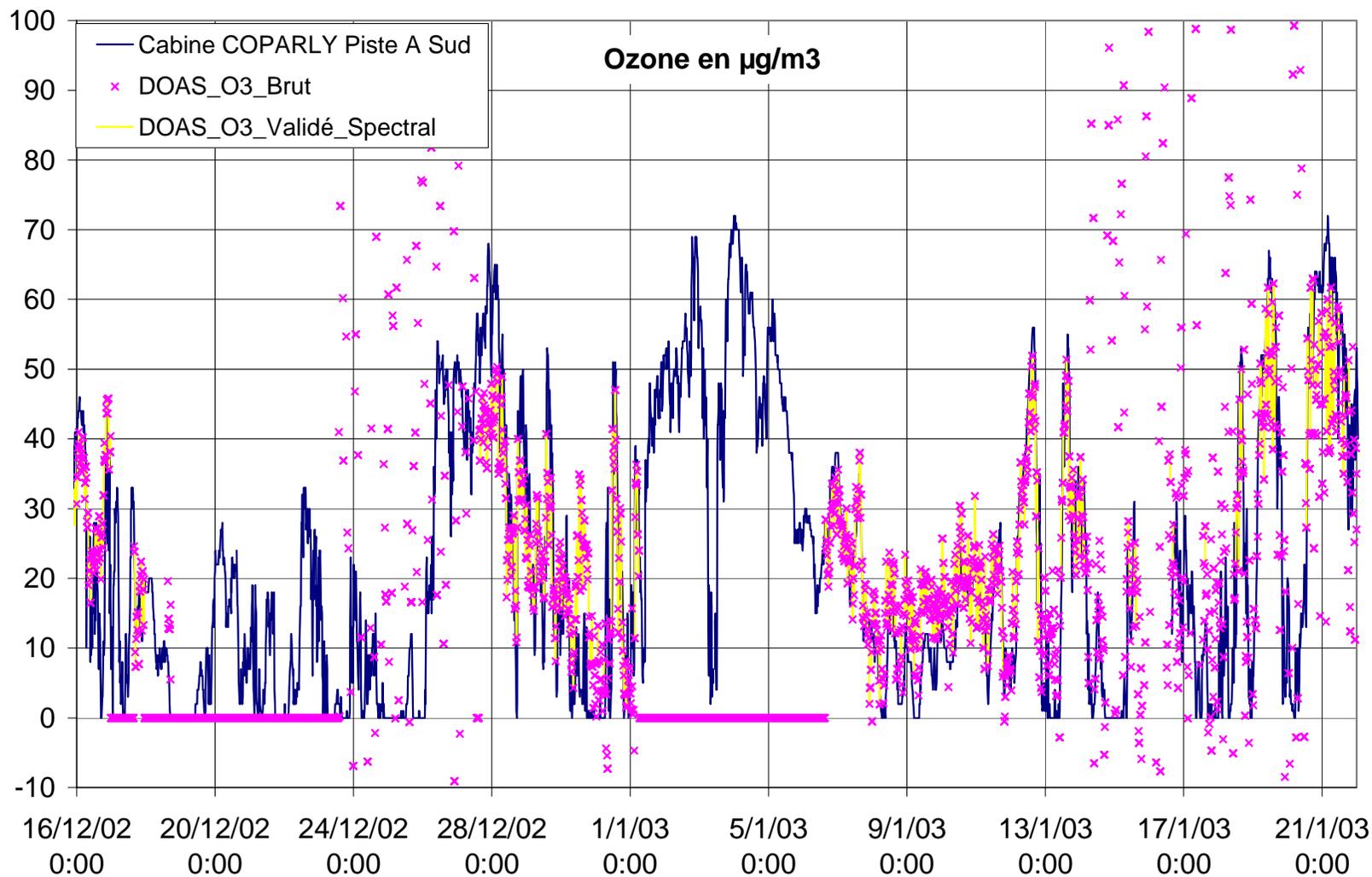


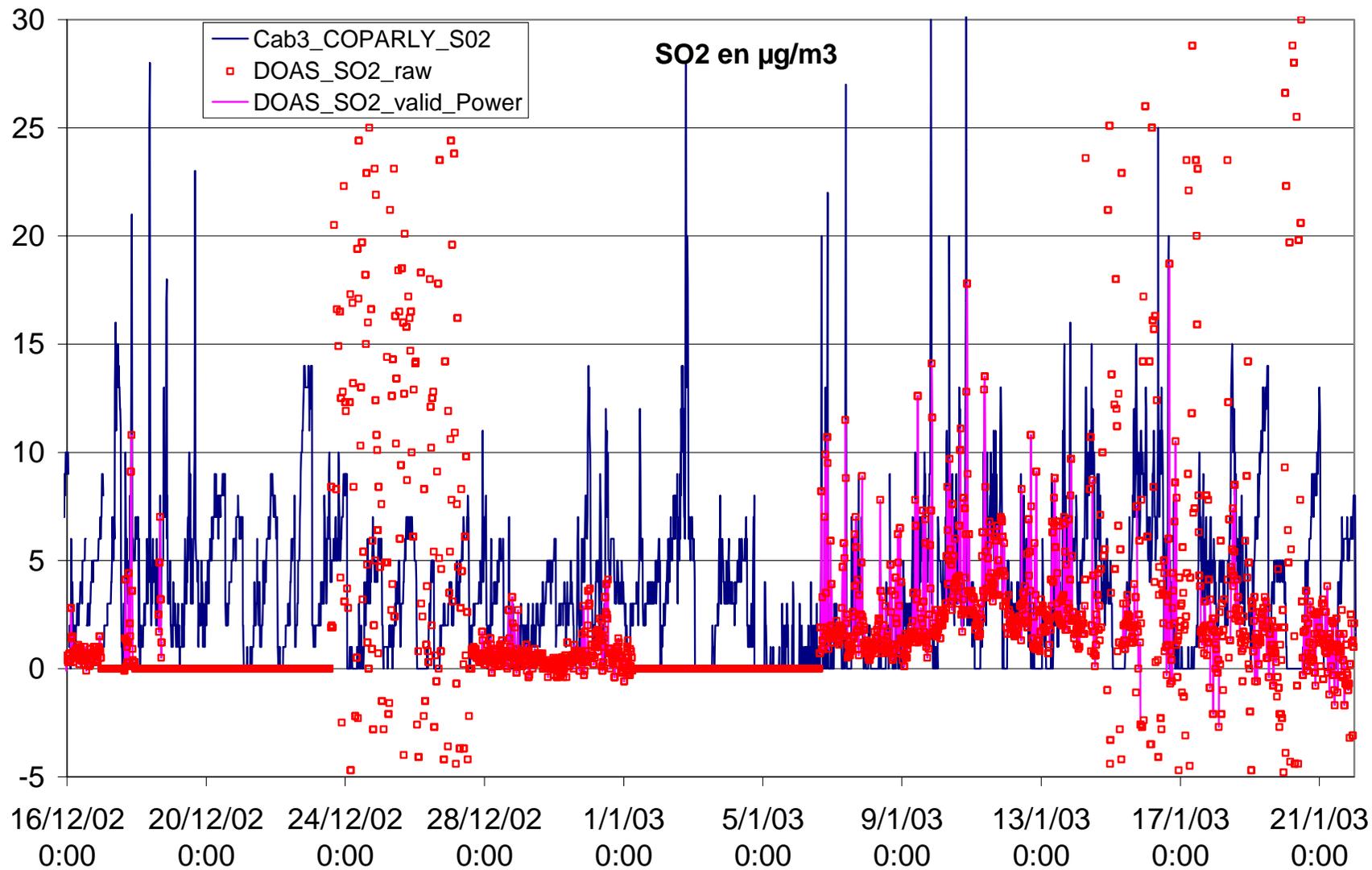


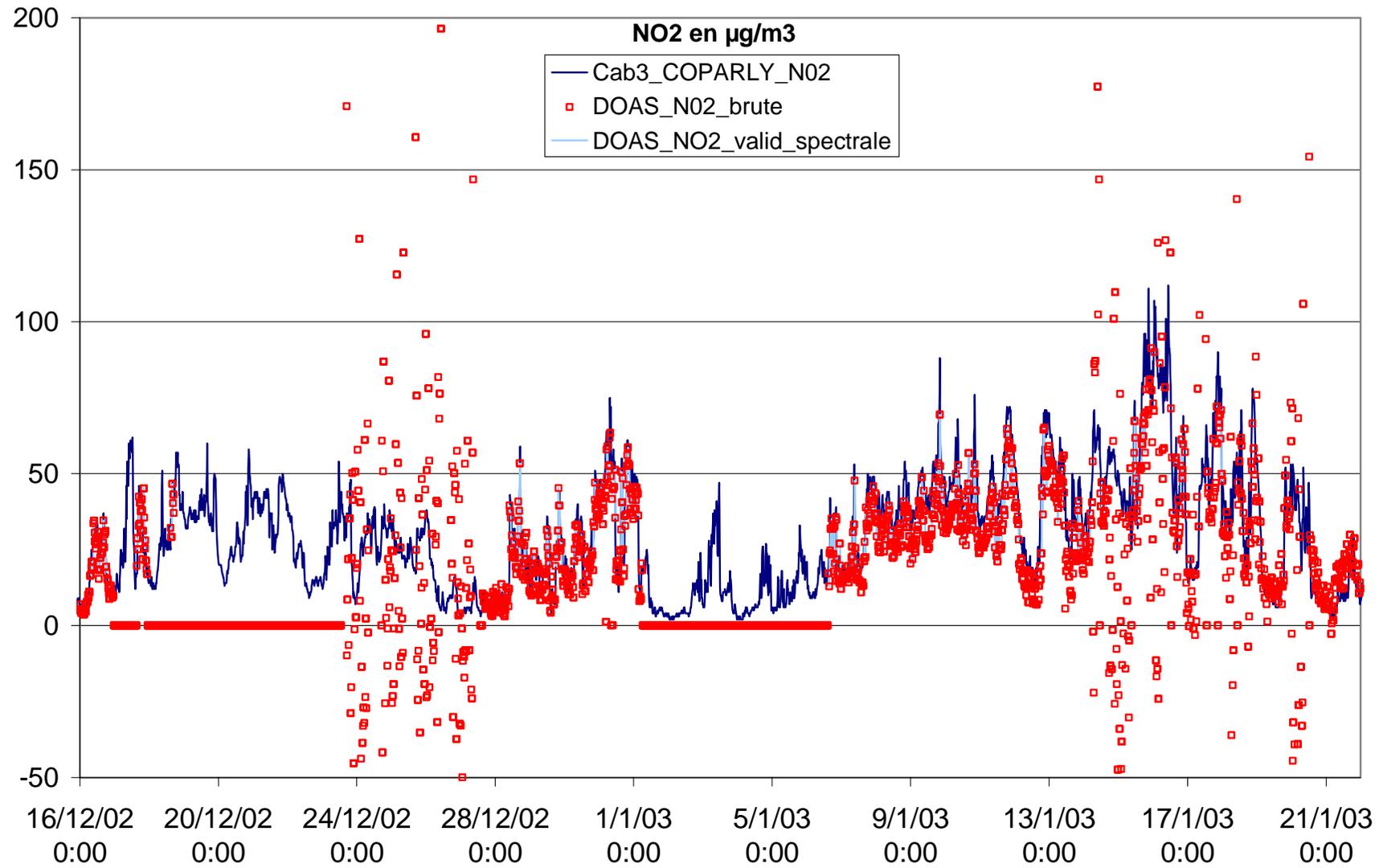
NO : Mise en comparaison Analyseur et DOAS INERIS (vent du nord)



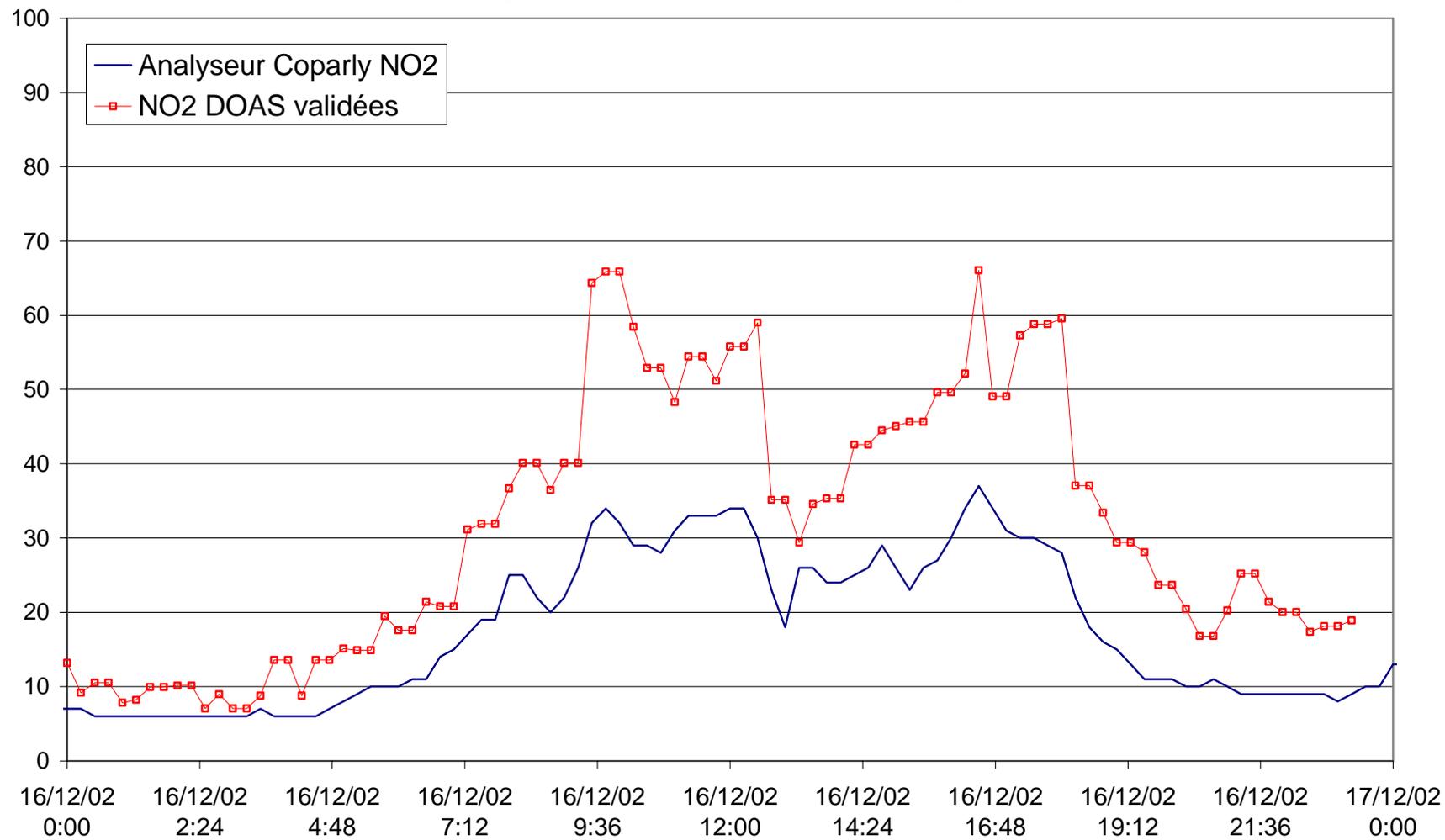
ANNEXE C
 EXEMPLES DE RESULTATS SO₂, O₃, NO, NO₂ OBTENUS EN PISTE A SUD



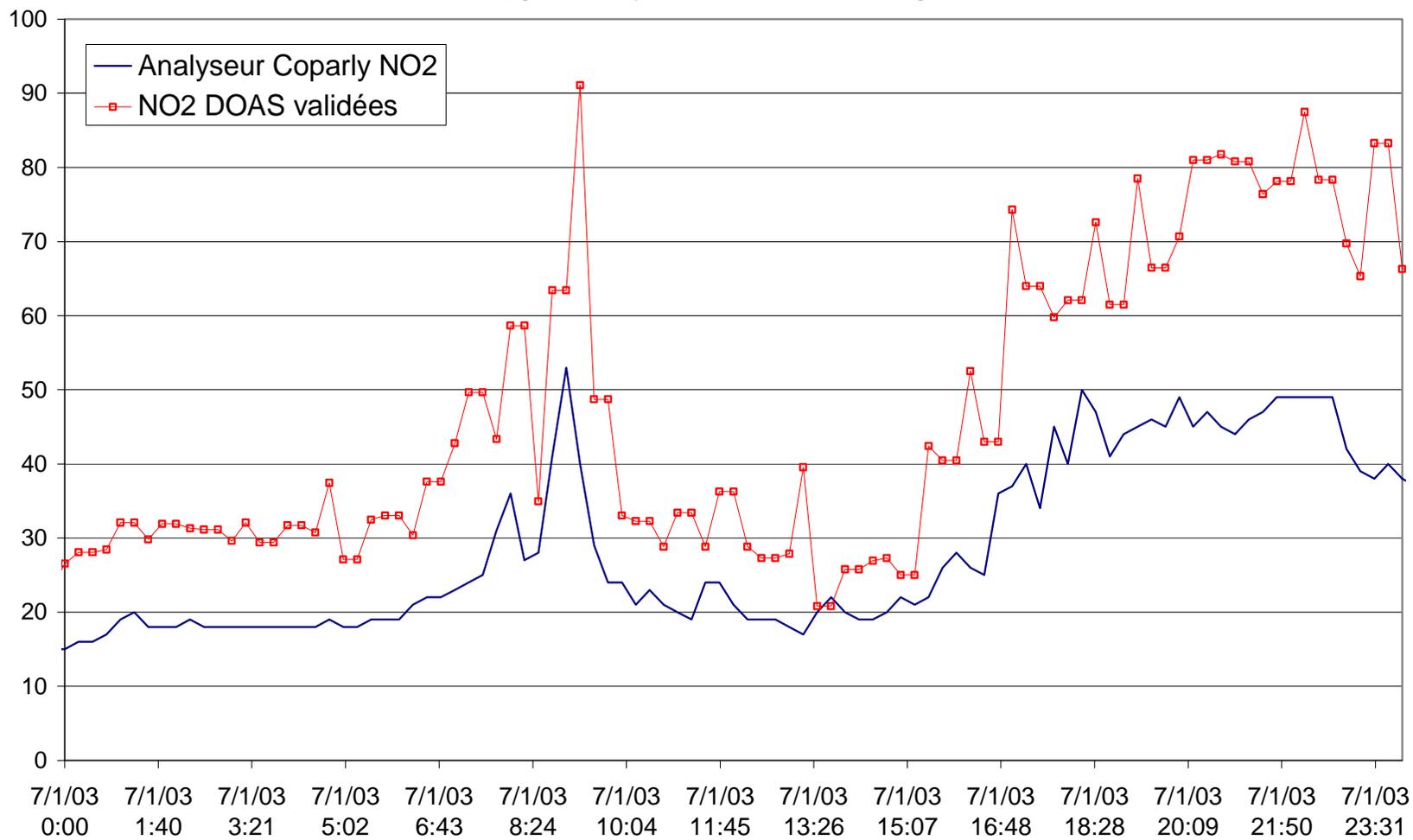




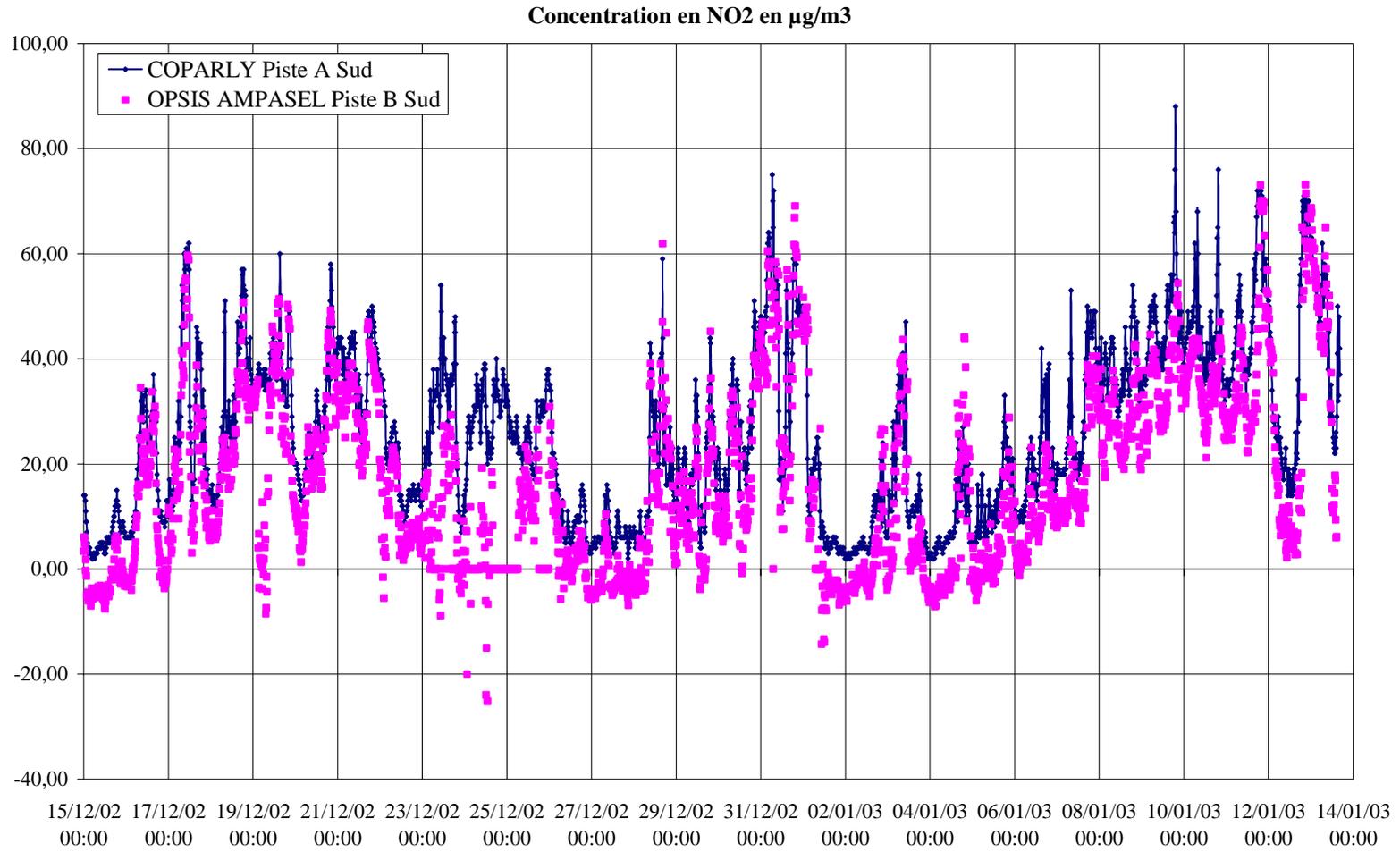
NO2 en µg/m3 le 16 décembre 2002, vent de régime Sud



NO2 en µg/m3 le 7 janvier 2003, vent de régime Nord



ANNEXE D
EXEMPLES DE RESULTATS NO₂ OBTENUS EN PISTE B SUD



ANNEXE E
PLANNING DE LA CAMPAGNE



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

ANNEXE F

RAPPORT TECHNIQUE DE CALIBRAGE DU DOAS OPSIS D'AMPASEL



Rapport d'utilisation d'un analyseur OP SIS-NEREIDES

Rapport technique

AMPASEL

Laboratoire Central de
Surveillance de la Qualité de l'Air

Emeric FREJAFON

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

Septembre 2003

Rapport d'utilisation d'un analyseur OP SIS-NEREIDES

Rapport technique

AMPASEL

Laboratoire Central de
Surveillance de la Qualité de l'Air

Convention 115/2003 financée par la Direction des Préventions des
Pollutions et des Risques (DPPR)

Septembre 2003

Amandine FIEVET, Emeric FREJAFON

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

Ce document comporte 8 pages (hors couverture et annexes).

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Emeric FREJAFON	Rémi PERRET	Martine RAMEL
Qualité	Ingénieur DRC	Responsable de l'Unité Qualité de l'Air	Responsable LCSQA/INERIS
Visa			

1. INTRODUCTION

L'INERIS a réalisé du 13 décembre 2002 au 13 janvier 2003, pour le compte du LCSQA, une campagne de mesures DOAS sur l'aéroport de LYON-Saint-Exupéry. Dans ce cadre, nous avons utilisé 3 DOAS de marques différentes, dont l'analyseur DOAS OPSIS de AMPASEL.

Le présent rapport consigne les différents essais de calibrage réalisés ainsi que les dysfonctionnements constatés lors de son utilisation.

2. DEROULEMENT DES ESSAIS DE CALIBRAGE

Le matériel a été livré à l'INERIS en octobre 2002 par AMPASEL via COPARLY. Un premier contrôle de la conformité des éléments livrés a été réalisé.

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. Il était relié à une ligne téléphonique afin que le constructeur puisse se connecter à l'appareil. Des analyseurs (O₃, NO_x, SO₂) étaient présents dans la galerie, ainsi qu'un analyseur ENVIRONNEMENT SA SANOA. Un suivi des paramètres météorologiques a par ailleurs été réalisé.

L'INERIS n'est pas intervenu sur les paramètres de fonctionnement de l'analyseur et a notamment conservé une longueur de trajet optique de 400 m, à la demande de NEREIDES, représentant du constructeur OPSIS, bien que le trajet optique dans la galerie soit de 95 mètres. Durant les essais, NEREIDES a effectué des modifications des paramètres de fonctionnement via la connexion téléphonique. Malgré nos demandes, la nature des modifications effectuées ne nous a pas été indiquée.

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, l'INERIS étant toujours en attente d'un calibrateur d'ozone haute concentration, qui nous est parvenu depuis.

Par ailleurs, les procédures de calibrage préconisées par le constructeur NEREIDES ont également été effectuées. Enfin, un calibrage du spectromètre par lampe à mercure fut réalisé à la demande du constructeur.

3. 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 de l'OPSIS et du matériel informatique.

4. ESSAIS METROLOGIQUES

4.1 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 60-70% pour les polluants gazeux mesurés NO₂, SO₂, O₃.

4.2 REALISATION DES ESSAIS.

4.2.1 Essais sans génération de gaz

Durant ces essais de calibrage, nous avons comparé les mesures obtenues dans la galerie par l'analyseur OPSIS avec l'analyseur SANOA et les analyseurs ponctuels installés sur les deux trajets optiques des DOAS. Il est à noter que, compte tenu de la configuration de la galerie, la répartition de la concentration est homogène sur l'ensemble du trajet optique. Ainsi les résultats obtenus par les analyseurs ponctuels doivent être comparables avec ceux obtenus par les analyseurs à long trajet optique de types DOAS en absence de gaz généré dans les cellules. Nous avons alors constaté un dysfonctionnement important du DOAS OPSIS concernant le polluant Ozone. En effet, les mesures des niveaux d'ozone présentaient un offset de 270 µg.m⁻³. N'ayant pas d'unité de calibrage adapté pour l'Ozone, nous n'avons pas effectué d'investigations particulières sur ce polluant. NEREIDES nous a par ailleurs confirmé que les mesures d'ozone effectuées par ce DOAS OPSIS n'étaient pas utilisables en raison, vraisemblablement, d'un dysfonctionnement de l'unité de traitement (spectromètre). Nous avons ensuite effectué des essais de calibrage pour les polluants NO₂ et SO₂, comme décrit par la suite.

4.2.2 Essais avec génération de gaz

Ces essais ont consisté à injecter des concentrations connues des polluants à mesurer dans deux cellules de calibrage placées en série sur le trajet optique de l'appareil. Ces cellules avaient pour longueur 1 mètre pour le polluant NO₂ et 2 mètres pour le polluant SO₂. Les concentrations visées sur le trajet optique de l'appareil sont reportées dans le tableau ci-dessous.

	NO ₂	SO ₂
C ₀	0	0
C ₁	22,57	24,74
C ₂	64,04	70,74
C ₃	115,65	129,16
C ₄	199,82	209,6
C ₅	0	0

concentrations générées dans les cellules en µg/m³, intégrées sur le trajet optique de 95m

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)

On rappellera que la longueur du trajet optique était de 95 m et que NEREIDES nous a imposé de conserver un paramétrage de 400 m dans le logiciel de configuration de l'instrument.

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 OPSIS, une valeur de concentration était délivrée alternativement toutes les 3 minutes pour les polluants. Chaque mesure correspondait donc à une intégration temporelle de 1 minute.

4.2.3 Résultats en SO₂

Plusieurs essais de calibrage ont été effectués et notamment après chaque intervention du constructeur sur l'appareil. Nous avons obtenu plusieurs droites de calibrage, comme le montre la figure ci-dessous qui regroupe les 3 calibrages généraux réalisés sur le DOAS OPSIS AMPASEL ainsi que sur le DOAS SANOA INERIS.

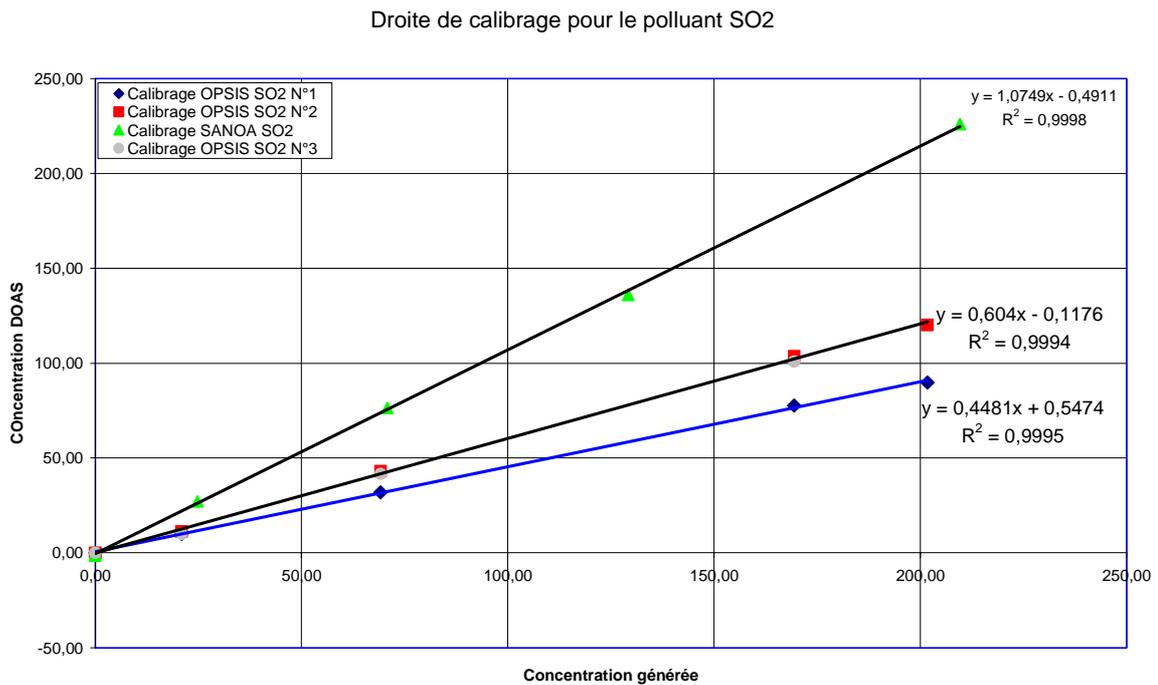


Figure 1

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

- DOAS SANOA : $c_o = 1,07c_r - 0,49$
- DOAS OPSIS Calibrages N°1 et N°3 : $c_o = 0,60c_r - 0,12$
- DOAS OPSIS Calibrage N°2 : $c_o = 0,45c_r + 0,55$

où :

- c_0 est la concentration mesurée par les DOAS
- 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 calibrage en mètre.

Compte tenu des écarts types expérimentaux observés, on peut conclure que les différentes droites de calibrage en SO₂ effectuées pour le DOAS OPSIS ne sont pas significativement différentes malgré les nombreuses interventions du constructeur et qu'elles traduisent une sous-estimation importante de la concentration. Un span correcteur d'environ 2 doit donc être appliqué à cet instrument, afin que le calibrage devienne correct. Elles montrent chacune un écart au zéro très faible qui a été néanmoins obtenu après une intervention du constructeur sur la base des premiers essais réalisés en absence de cellule. En revanche, les nombreuses interventions de NEREIDES n'ont pas permis de corriger ce span qui reste très élevé et traduit un dysfonctionnement de l'unité d'analyse.

4.2.4 Résultats en NO₂

Plusieurs essais de calibrage ont été effectués et notamment après chaque intervention du constructeur sur l'appareil. Nous avons obtenu chaque fois des droites de calibrage différentes. La figure ci-dessous montre la dernière droite de calibrage obtenue ainsi que la droite de calibrage du DOAS SANOA à titre de comparaison.

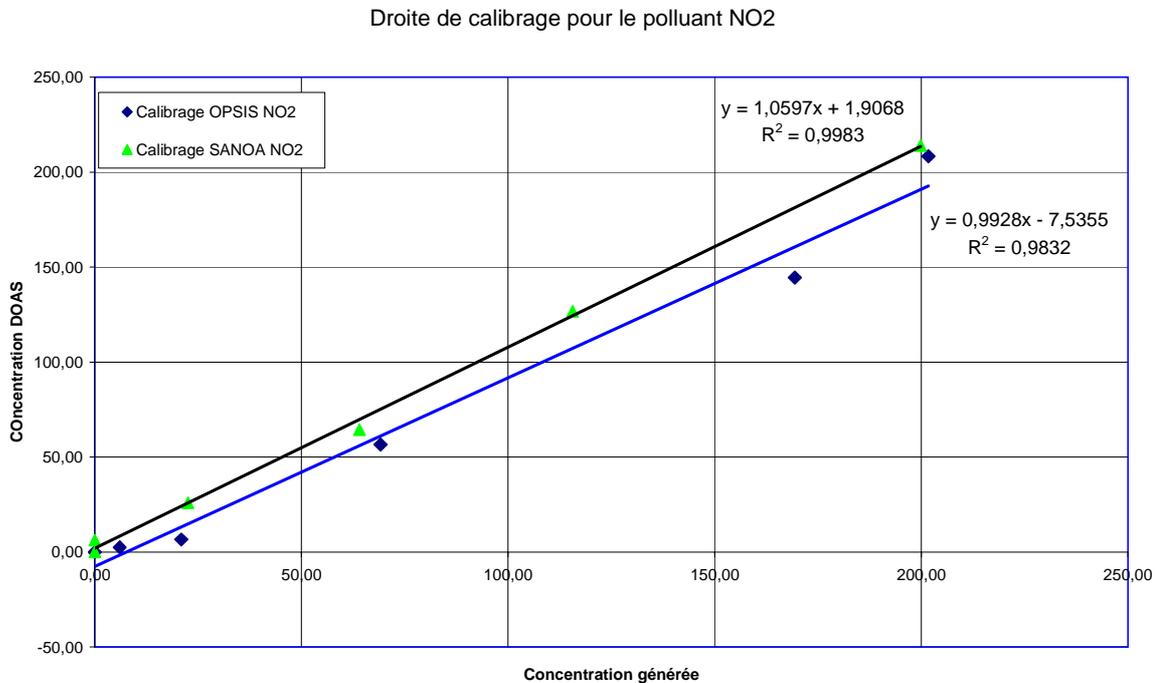


Figure 2

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

- DOAS SANOA (span de 1 et offset nul) : $c_0 = 1,06c_r + 1,9$
- DOAS OPSIS (avec span = 2 et offset = $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) : $c_0 = 0,99c_r - 7,53$

où :

- c_0 est la concentration mesurée par les DOAS
- 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 calibrage en mètre.

Bien que la dernière droite de calibrage soit très bonne, il est néanmoins à rappeler qu'elle a été obtenue après de nombreuses interventions du constructeur et qu'elle a été obtenue après avoir défini un span de 2 et un offset de $75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ces valeurs correctives, qui permettent d'obtenir une courbe de linéarité correcte, traduisent néanmoins un dysfonctionnement de l'appareil.

5. SYNTHÈSE

Les essais réalisés sur l'appareil OPSIS du réseau AMPASEL, préalablement à la campagne de mesures sur l'aéroport LYON-Saint-Exupéry, ont mis en évidence de nombreux dysfonctionnements. En particulier, pour le SO_2 et l' O_3 , les nombreux essais effectués ont montré un offset très important et des courbes de calibrages trop éloignées des valeurs usuelles. De ce fait durant la campagne de mesures, nous avons invalidé toutes les données O_3 et SO_2 . Paradoxalement, les mesures de NO_2 ont été de bonne qualité, bien que les paramétrages de l'offset et du span étaient éloignées des valeurs usuelles. Le constructeur OPSIS et son représentant français NEREIDES attribuent ces dysfonctionnements à une détérioration du spectromètre liée à un stockage de l'appareil dans des conditions d'humidité excessives. Nous n'avons pas d'élément qui nous permette de confirmer ou d'infirmer ce diagnostic. Nous pensons cependant nécessaire de préciser que l'emballage de l'appareil ne comporte pas de système de réduction d'humidité (silicagel ou autre), comme cela est très fréquent pour les appareils sensibles à ce problème.

Nous pensons également nécessaire de rappeler l'historique de cet appareil :

- Premiers essais d'évaluation réalisés à l'Ineris en juin 1999. Mise en évidence d'un dysfonctionnement important, appareil renvoyé à Néreides pour réparation
- Nouvelle tentative d'évaluation en août 1999, mise en évidence de nouveaux dysfonctionnements, renvoi de l'appareil à Néreides.
- Nouvelle tentative d'octobre 2000 à décembre 2000, mise en évidence de résultats globalement corrects, sauf instabilité de la réponse aux faibles concentrations. Envoi de l'appareil à Ampasel.

L'appareil est donc resté défaillant pendant un an et demi après sa première livraison, et ce, malgré plusieurs interventions du représentant du constructeur. Par ailleurs, son fonctionnement n'était pas pleinement satisfaisant après ces interventions. Les nouveaux dysfonctionnements détaillés dans le présent rapport renforcent la nécessité de rendre ce système opérationnel.

6. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb/N° pages
A	Résultats des calibrages NO ₂ et SO ₂	3
B	Données météorologiques et stabilité temporelle	2
C	Calibration DOAS et génération de gaz	1

ANNEXE A RESULTATS DES CALIBRAGES REALISES

Premier essai de linéarité NO2 et SO2

NO2	Pt 1			Pt 2			Pt 3		
	Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light
	15H06	0,3	61,7	15H17	1,50	61,7	15H33	17,80	60,9
15H07	0,3	61,3	15H19	4,10	61,3	15H36	36,60	61,7	
15H09	-0,4	61,3	15H21	6,30	61,3	15H39	43,50	61,3	
15H11	-0,4	60,9	15H23	7,00	61,3	15H41	49,00	60,9	
15H13	-0,2	60,9	15H25	6,90	61,3	15H43	50,80	61,7	
15H15	-0,1	62,1	15H27	6,70	61,3	15H45	52,80	61,3	
			15H29	5,90	61,3	15H47	54,70	60,9	
			15H31	6,00	61,3	15H49	56,40	61,7	
						15H51	56,30	61,3	
						15H53	57,00	60,9	
						15H55	56,10	61,7	
						15H56	56,30	61,3	

SO2	Pt 1			Pt 2			Pt 3		
	Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light
	14H40	0,30	66,40	14H48	7,90	62,1	11H42	66,40	61,70
14H51	0,40	66,00	14H51	8,10	62,1	11H45	66,70	61,70	
11H07	0,60	65,20	14H54			11H48	66,10	61,70	
11H10	0,90	63,30	14H57			11H51	66,80	61,70	
11H13	0,40	62,90	15H00			11H54	66,30	61,70	
11H16	0,90	62,10	15H03			11H57	66,70	61,70	
			Le 27/11			Le 27/11			
			16H02	5,20	66,00	16H40	31,40	65,20	
			16H03	10,10	65,60	16H41	44,10	65,20	
			16H04	11,40	65,20	16H42	43,60	65,20	
			16H05	12,10	65,20	16H43	43,90	65,20	
			16H06	11,80	65,20	16H44	43,40	65,20	
			16H07	11,80	65,20	16H45	43,60	65,20	
			16H08	11,70	65,20				
			16H09	11,70	65,20				

Pt 4			Pt 5			Pt 6			Pt 1			Pt 1bis		
Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light									
16H06	101,80	61,3	16H02	196,80	66,5	16H06	195,90	60,50	16H07	16,4	61,3	16H48	17,8	61,3
16H08	137,80	60,9	16H04	206,70	66,5	16H07	3,70	61,30	16H09	19,8	61,3	16H51	18,2	61,3
16H10	148,90	61,7	16H05	207,80	66,5	16H09	2,40	61,30	16H41	19,3	61,3	16H53	18,3	61,3
16H14	141,90	61,3	16H08	208,80	66,5	16H11	1,20	61,30	16H43	18,6	61,3	16H55	9,9	61,3
16H16	142,30	60,9	16H10	208,80	66,5	16H13	2,80	61,30	16H45	18,6	61,3	16H57	10,4	61,3
16H18	142,40	61,7	16H12	208,20	66,5	16H15	2,90	61,30	16H47	17,9	61,3	16H59	10,3	61,3
16H19	143,10	61,3	16H14	208,70	66,5							16H01	10,2	61,3
16H12	143,30	60,9	16H16	208,70	66,5							16H03	9,8	61,3
16H14	144,80	60,9												
16H16	143,80	60,5												
16H17	144,30	60,5												
16H19	144,80	60,5												
16H20	144,90	60,5												

Pt 4			Pt 5			Pt 6		
Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light
11H25	21,30	62,13	Le 27/11			Le 27/11		
11H23	21,60	61,73	16H44	104,30	64,80	17H03	67,18	64,80
11H26	21,80	61,73	16H55	113,40	64,80	17H04	67,0	64,80
11H28	21,90	61,73	16H56	119,30	64,80	17H05	6,80	64,80
11H33	21,40	61,73	16H57	120,80	64,80	17H06	6,80	64,80
11H36	21,70	61,73	16H58	121,30	64,80	17H07	6,20	64,80
11H38	21,30		16H59	120,30	64,80	17H08	6,20	64,80
Le 27/11			17H00	120,70	64,80	17H11	6,20	64,80
16H48	78,30	65,20	17H01	120,30	64,80	17H12	6,80	64,80
16H47	80,80	65,20	17H02	120,90	64,80			
16H46	84,20	65,20						
16H45	104,90	65,20						
16H52	104,30	64,80						
16H51	103,80	64,80						
16H52	104,50	64,80						
16H53	104,90	64,80						

	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	Pt 1
Concentration SO2 générée (µg/m3)	0,00	20,89	69,16	169,40	201,70	0,00	
Concentration SO2 DOAS (µg/m3)	0,64	11,82	43,72	104,40	120,68	0,40	
Concentration NO2 générée (µg/m3)	0,00	18,75	63,72	154,49	229,26	0,00	22,13
Concentration NO2 DOAS (µg/m3)	-0,08	6,50	56,42	144,42	208,32	2,48	18,84

	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	Pt 1
Concentration SO2 générée (µg/m3)	0,00	20,89	69,16	169,40	201,70	0,00	
Concentration SO2 DOAS (µg/m3)	0,64	11,82	43,72	104,40	120,68	0,40	
Concentration NO2 générée (µg/m3)	0,00	18,75	63,72	154,49	229,26	0,00	22,13
Concentration NO2 DOAS (µg/m3)	-0,08	6,50	56,42	144,42	208,32	2,48	18,84

Correction Pt1					
Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6
0,00	20,89	69,16	169,40	201,70	0,00
0,00	11,82	43,72	104,40	120,68	0,40
0,00	22,67	64,04	158,86	199,82	0,00
0,00	6,58	56,92	144,98	200,81	2,96

Deuxième essais de linéarité pour le SO2

SO2	Pt 1			Pt 2			Pt 3		
	Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light
	14H48	0,30	66,40	14H48	7,90	62,1	11H42	66,40	61,70
	14H51	0,40	66,00	14H51	8,10	62,1	11H45	66,70	61,70
	11H07	0,60	65,20	14H54			11H48	66,10	61,70
	11H10	0,90	63,30	14H57			11H51	66,80	61,70
	11H13	0,40	62,90	15H00			11H54	66,30	61,70
	11H16	0,90	62,10	15H03			11H57	66,70	61,70
				Le 27/11			Le 27/11		
				18H07	9,90	66,00	18H14	30,30	65,20
				18H08	10,40	65,60	18H15	41,60	65,20
				18H09	10,80	65,20	18H16	41,90	65,20
				18H10	10,40	65,20	18H17	42,40	64,80
				18H11	10,50	65,20	18H18	42,60	64,80
				18H12	10,50	65,20	18H19	42,40	64,80
				18H13	10,60	65,20	18H20	42,00	64,80
							18H21	42,10	64,80
							18H22	42,00	64,80
							18H40	39,3	70,3
							18H42	41	69,9
							18H43	41,1	69,9
							18H44	41,2	69,9
							18H45	40,8	69,9
							18H46	41	69,9
							après calib de ref		
							18H57	38,5	69,9
							18H58	40,8	69,9
							18H59	40,9	
								41	

Pt 4			Pt 5			Pt 6		
Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light
11H20	21,20	62,10	Le 27/11			Le 27/11		
11H23	21,60	61,70	18H31	101,90				
11H26	21,80	61,70	18H32	appel de M Dumas				
11H29	21,50	61,70	light level optimising					
11H33	21,40	61,70						
11H36	21,70	61,70						
11H39	21,30							
Le 27/11								
18H23	81,10	64,80						
18H24	101,50	64,80						
18H25	101,60	64,80						
18H26	101,40	64,80						
18H27	101,30	64,80						
18H28	101,60	64,80						
18H29	101,50	64,80						

	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	Pt 1
Concentration SO2 générée (µg/m3)	0,00	20,89	69,16	169,40	201,70	0,00	
Concentration SO2 DOAS (µg/m3)	0,58	10,56	42,22	101,46			
Concentration NO2 générée (µg/m3)							
Concentration NO2 DOAS (µg/m3)							

	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	Pt 1	Correction Pt 1						
Concentration SO2 générée (µg/m3)	10	209	6916	16940	20170	0,00		Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	
Concentration SO2 DOAS (µg/m3)	150	306	4222	10146				100	2089	6916	16940	20170	0,00	
Concentration NO2 générée (µg/m3)								100	126	4164	10200			
Concentration NO2 DOAS (µg/m3)														

Troisième essai de linéarité pour le so2

SO2	Pt 1			Pt 2			Pt 3		
	Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light
	11H47	0,70	68,40	11H52	4,60	68,40	12H00	25,70	68,40
	11H48	-0,60	68,70	11H53	9,20	68,40	12H01	32,50	68,40
	11H49	0,90	68,40	11H54	10,30	68,40	12H02	31,80	68,40
	11H50	0,90	68,70	11H55	10,30	68,40	12H03	32,00	68,40
	11H51	-0,60	68,40	11H56	10,10	68,40	12H04	31,90	68,40
				11H57	10,10	68,40	12H05	32,50	68,40
				11H58	10,30	68,40			

Pt 4			Pt 5			Pt 6		
Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light	Heure	Valeur	% light
12H06	55,40	68,40	12H13	79,70	68,40			
12H07	77,30	68,40	12H15	87,40	68,40			
12H08	77,80	68,40	12H16	89,50	68,40			
12H09	77,60	68,40	12H17	89,90	68,40			
12H10	77,80	68,70	12H18	89,90	68,40			
12H11	77,90	68,40	12H19	90,00	68,40			
12H12	77,90	68,70	12H20	90,10	68,40			
			12H21	90,20	68,40			

	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6
Concentration SO2 générée (µg/m3)	0,00	20,69	69,16	169,40	201,70	0,00
Concentration SO2 DOAS (µg/m3)	0,20	10,22	32,14	77,80	90,02	

	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6	ConcentrationPt									
Concentration SO2 générée (µg/m3)	0,00	20,69	69,16	169,40	201,70	0,00	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4	Pt 5	Pt 6				
Concentration SO2 DOAS (µg/m3)	0,20	10,22	32,14	77,80	90,02		0,00	20,69	69,16	169,40	201,70	0,00				
							0,00	32,14	77,80	90,02						

ANNEXE B

DONNEES METEOROLOGIQUES ET STABILITE TEMPORELLE

Un suivi des niveaux de fond présents dans la galerie était effectué au centre de la galerie, durant les semaine d'essais des DOAS OPSIS en SANOA. Cette unité se composait de 3 analyseurs (O_3 , NO_x et SO_2) raccordés à un étalon de transfert NIST ou LNE:

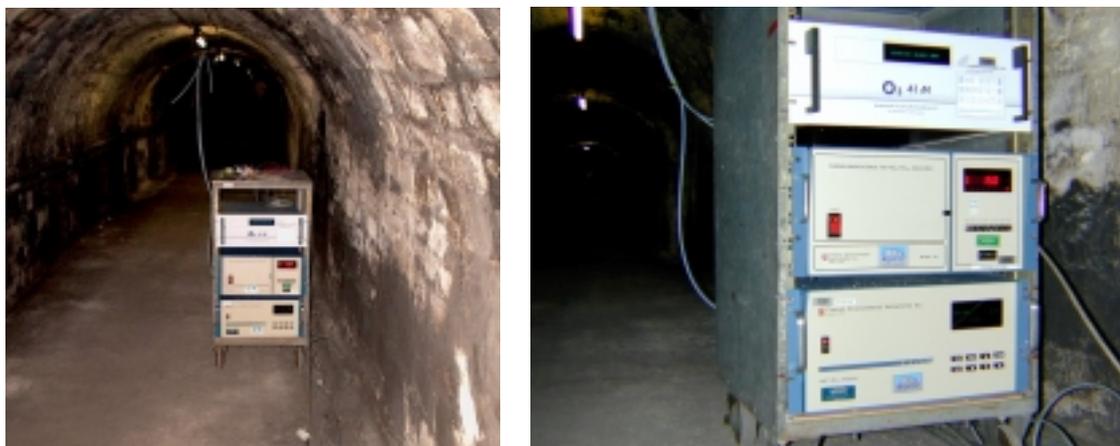
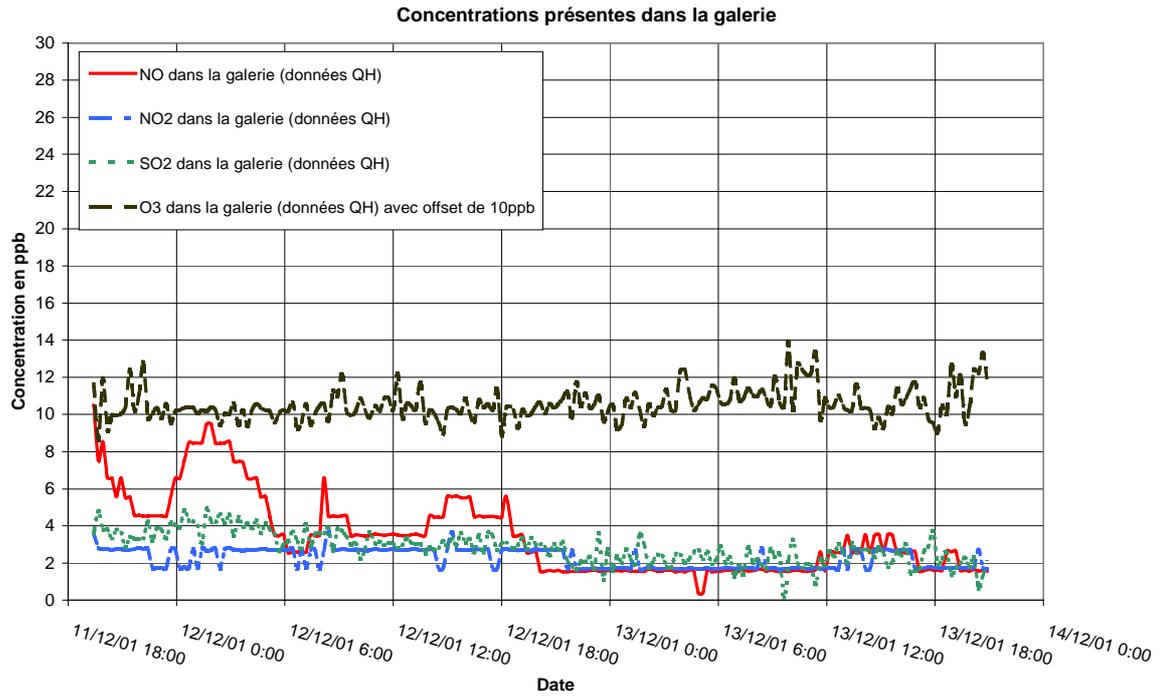


Figure 4 : unité d'évaluation des concentrations dans la galerie

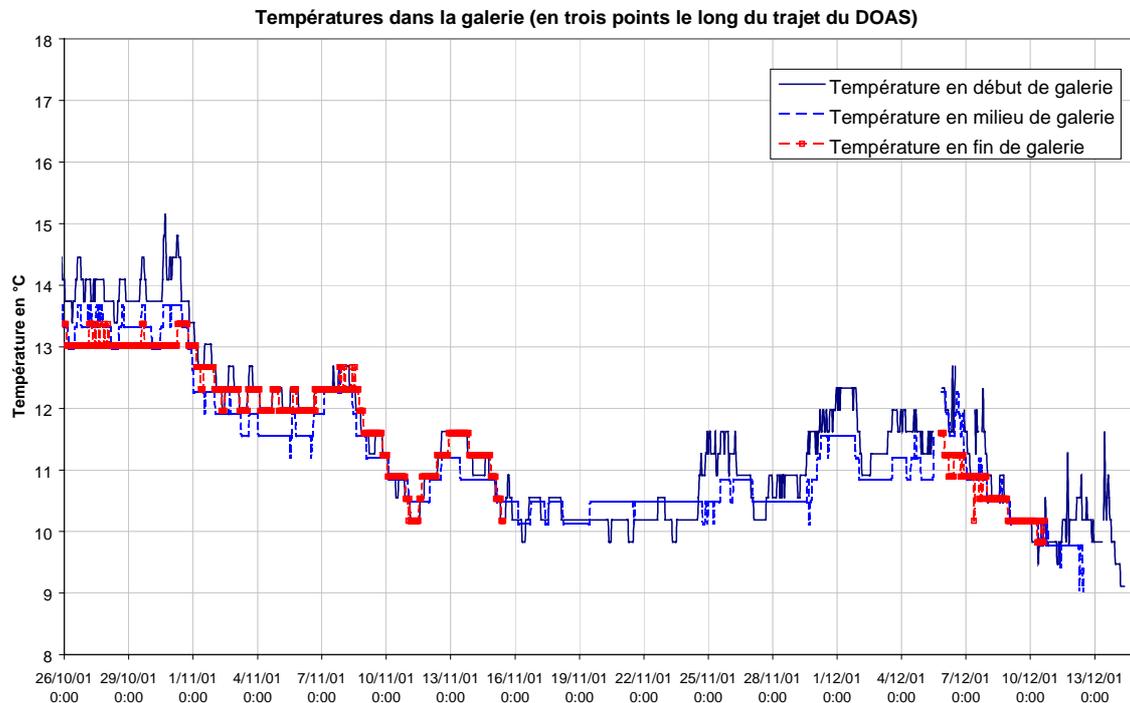
Une étude fut réalisée durant l'été 2001 visant à évaluer les caractéristiques météorologiques et chimiques dans la galerie ainsi que sa stabilité.

On a observé que les concentrations en SO_2 et NO_2 sont stables et correspondent à des niveaux de fond caractéristiques de zones rurales:

- Moyenne NO_2 : environ 3 ppb avec un écart type de 1 ppb
- Moyenne SO_2 : 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 C

CALIBRATION DOAS ET CIRCUIT DE GENERATION EN GAZ

Montage de contrôle des concentrations en SO₂ et NO₂

Les concentrations en NO₂ et SO₂ étaient générées dans les deux cellules en utilisant des bouteilles hautes teneurs couplées à deux systèmes de dilutions quaternaires par buses soniques :

- Bouteille de SO₂ : B50 dosée à 805 ppm avec une incertitude de 2%
- Bouteille de NO₂ : 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.

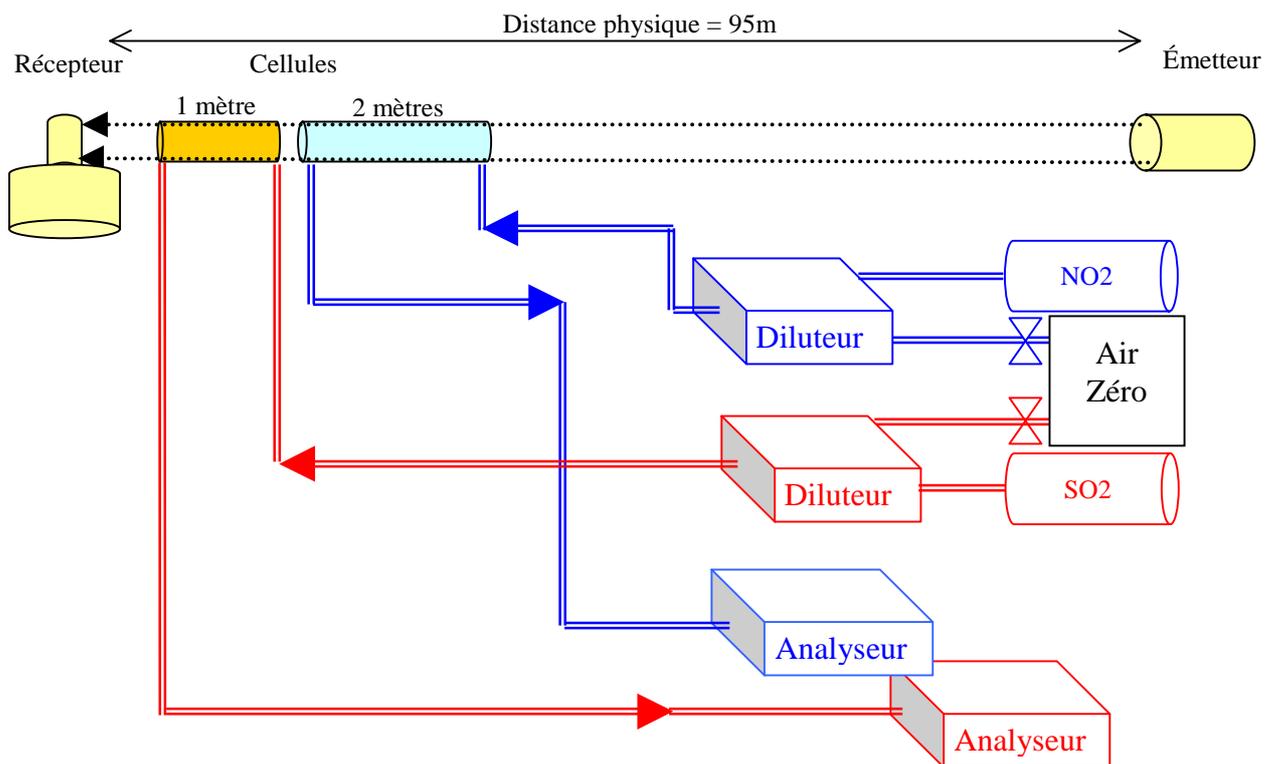


Figure 4 : montage de génération et de contrôle des gaz pour les polluants NO₂ et SO₂