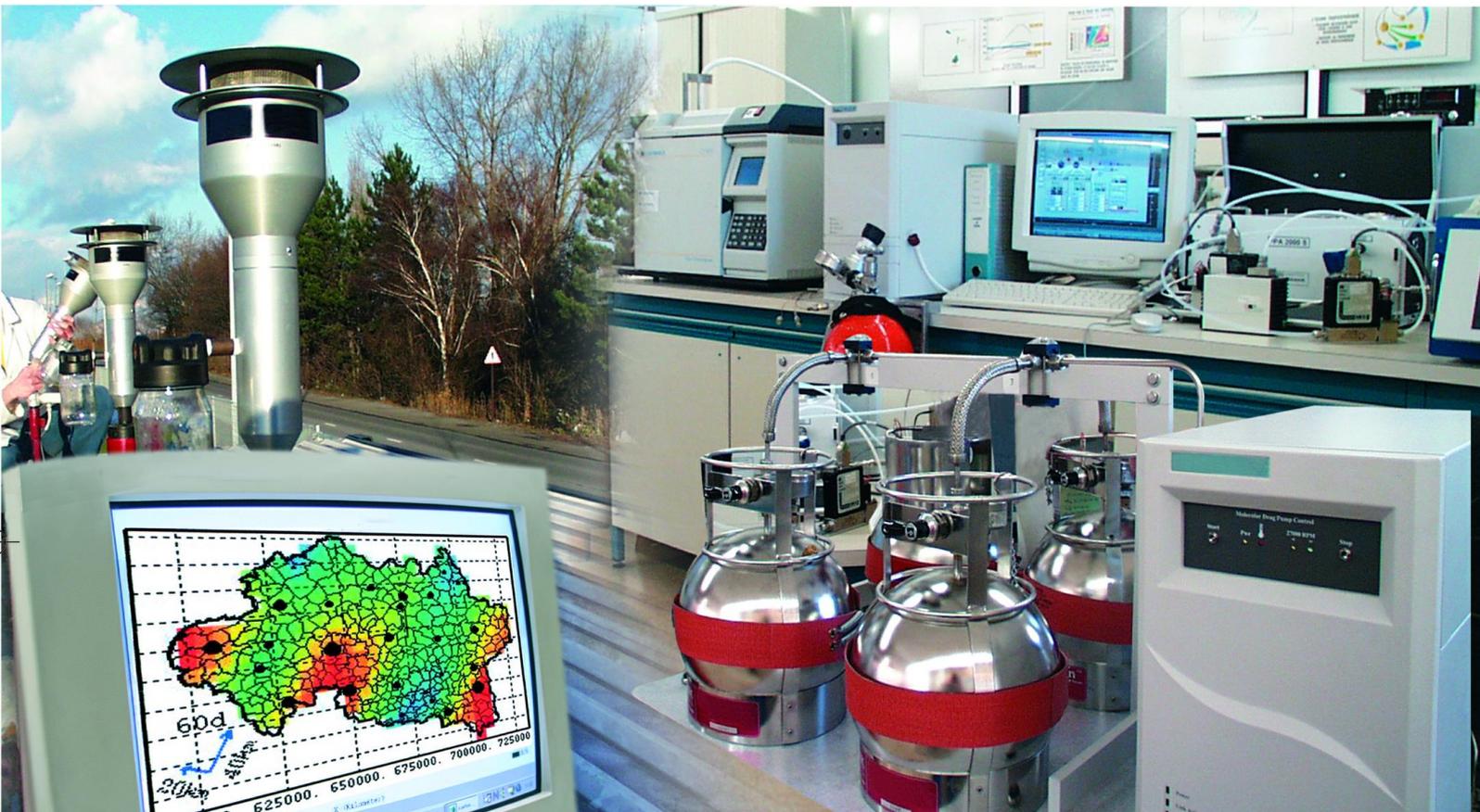




Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Métrologie - Etude des performances des appareils de mesure

Etude des appareils de mesure automatiques

Décembre 2008

Programme 2008

N. BOCQUET ET G. AYZOZ





PREAMBULE

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

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

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



Etude des appareils de mesure automatiques

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

Métrologie - Etude des performances des appareils de mesure

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

2008

N. BOCQUET et G. AYMOZ

Ce document comporte 47 pages (hors couverture et annexes)

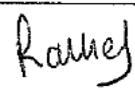
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	G. AYMOZ	D. GOMBERT	M. RAMEL
Qualité	Ingénieur Direction des Risques Chroniques	Responsable unité CIME (par intérim) Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE 1 : ETUDE DES FACTEURS DE CONVERSION POUR LES MESURES D'ALTITUDE.....	9
PARTIE 2 : CORRECTION DES MESURES DE CONCENTRATIONS DE NO₂ ET O₃.....	13
PARTIE 3 : ETUDE DES CARACTERISTIQUES DE PERFORMANCES DES ANALYSEURS AUTOMATIQUES DE GAZ.....	15
1. INTRODUCTION	15
2. ESSAIS REALISES ET RESULTATS.....	17
2.1 Analyseurs testés.....	18
2.2 Essais réalisés	18
2.2.1 Temps de réponse.....	18
2.2.2 Ecart de linéarité.....	19
2.2.3 Répétabilité.....	21
2.2.4 Dérive à court terme	24
2.2.5 Influence de la tension.....	27
2.2.6 Coefficient de sensibilité à la température de l'air environnant.....	33
2.2.7 Influence des interférents :	37
2.2.8 Influence de l'humidité	40
2.2.9 Rendement du four de conversion.....	44
3. CONCLUSION.....	46
LISTE DES ANNEXES	47

RESUME

L'objectif de cette étude est de poursuivre les travaux relatifs à l'évaluation des instruments de mesure de polluants atmosphériques, afin de permettre aux utilisateurs d'analyseurs automatiques de disposer des éléments nécessaires pour assurer et optimiser la qualité des mesures, et de s'assurer que les appareils répondent aux exigences des Directives en matière d'incertitude au niveau de la valeur limite. L'étude se divise en trois parties distinctes :

Partie 1 : La première partie est consacrée à la question de la conversion des unités de rapport de mélange (utilisées pour les mesures) en unités de concentrations massiques par unité de volume (utilisés pour la réglementation). Les facteurs de conversion pour chaque gaz, fixés dans les normes, ne sont pas adaptés aux sites d'altitudes, entraînant une surestimation des niveaux de concentration, et des dépassements de seuil "artificiels" pour l'ozone. Les normes, en cours de révision, ont été modifiées afin de permettre l'adaptation de ces facteurs pour les cas sensibles.

Partie 2 : Les réactions NO / O_3 à l'intérieur des lignes de prélèvement provoquent un artefact de mesure sur O_3 et NO_2 , devant être corrigé à l'aide d'une formule donnée dans les normes en vigueur. Les travaux du LCSQA et des AASQA ont montré que si cette formule fonctionne assez bien en théorie et dans des conditions de laboratoire, elle peut entraîner des erreurs plus importantes dans des cas réels. Là encore, les normes, en cours de révision, ont été modifiées afin de rendre l'utilisation de la formule optionnelle, et, en contrepartie, d'être plus exigeant sur les temps de résidence des gaz dans les lignes de prélèvement.

Partie 3 : Les procédures normatives d'évaluation des caractéristiques des analyseurs de gaz utilisés pour la surveillance réglementaire de la qualité de l'air prévoient d'effectuer les tests à deux niveaux de concentration en déterminant (excepté le test de linéarité) : à zéro et en un point en sensibilité, et dans le cas de la détermination de l'influence des interférents, à une concentration en interférent.

Or les budgets d'incertitude doivent être établis pour des niveaux de concentration en déterminant et en interférents ou encore pour des niveaux de facteur d'influence qui ne sont pas forcément ceux appliqués lors de l'évaluation.

L'objectif de cette étude consiste à déterminer si les caractéristiques de performance d'un analyseur peuvent être extrapolées lors de l'établissement d'un budget d'incertitudes à des niveaux de concentration en déterminant, en interférents, ainsi que des niveaux de facteur d'influence différents de ceux appliqués lors de l'évaluation de l'appareil, et éventuellement de proposer des règles d'extrapolation.

4 analyseurs d'oxydes d'azote ont été testés, un AC31M et un AC32M de la marque environnement SA, et deux 42C de marque Thermo Environmental. Les essais ont montré que l'un des analyseurs présentait de gros problèmes de fonctionnement. En effet, cet appareil n'est conforme ni pour la linéarité, ni pour le rendement de four.

Pour les autres analyseurs, les essais montrent que la plupart des caractéristiques de performance d'un analyseur ne peuvent pas être extrapolées à des niveaux de concentration en déterminant, en interférent, ou encore à des niveaux de facteur d'influence différents. Il apparaît en effet que les facteurs de sensibilité, à savoir les ratios entre l'écart observé en concentration et la variation en mesurande du facteur d'influence testé, ne sont pas invariants. Nous avons également observé qu'aucun des analyseurs testés n'est conforme au critère d'humidité, ce qui est probablement dû à l'absence de sécheur sur l'entrée échantillon.

Par ailleurs, le test d'interférence à l'ammoniac n'a pas été réalisé : nous avons pu constater que l'ammoniac a été entièrement absorbé avant d'arriver aux analyseurs. Il serait sans doute intéressant qu'une vérification de ce type soit systématique et inscrite dans la norme.

Il convient enfin de rappeler qu'afin d'optimiser le nombre d'essais réalisés, les tests ont été couplés avec ceux de l'étude de l'évolution dans le temps des performances des analyseurs. Les tests ont donc été réalisés sur des appareils fonctionnant en routine depuis plusieurs années. Les résultats, relativement inattendus, montrent qu'il pourrait être judicieux de réaliser certains des tests d'évaluation sur des appareils neufs, afin de vérifier si les écarts observés sont dus au vieillissement des appareils ou si certains paramètres fixés dans la procédure d'évaluation méritent d'être adaptés.

PARTIE 1 : ETUDE DES FACTEURS DE CONVERSION POUR LES MESURES D'ALTITUDE

Les mesures de gaz sont généralement exprimées en unité de rapport de mélange (comme le ppb ou la nmol.mol^{-1}). Ces unités sont utilisées dans les méthodes de référence pour la mesure des gaz polluants dans l'air ambiant tels que l' O_3 , les NO_x , le SO_2 et le CO . En revanche, les valeurs cibles ou limites de concentrations fixées pour ces différents gaz dans l'air ambiant sont exprimées en $\mu\text{g.m}^{-3}$. Une conversion des unités est donc nécessaire, dépendante des conditions de température et de pression. Dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air, ces facteurs de conversion sont fixés pour chacun des gaz cités, à la fois dans les normes et la directive (voir tableau 1). Ils correspondent aux conditions de température et pression normalisées à 293 K et 101,3 KPa.

Composé	Masse molaire en g/mol	Facteur de conversion
O_3	47,997	2,000
CO	28,011	1,160
SO_2	64,063	2,660
NO_x	46,005	1,192

tableau 1 : facteurs de conversion définis dans les normes pour les gaz considérés (la masse molaire du NO_2 est ici utilisée pour les NO_x)

En réalité, la température et la pression varient avec l'altitude, et le facteur de conversion devrait être beaucoup plus faible en région montagneuse. Il en résulte une surestimation des concentrations en altitude. Cette surestimation n'a généralement pas de conséquence car il existe peu de station de mesure situées en altitude, et les concentrations en gaz polluants y sont généralement faibles. Seul l'ozone est susceptible de présenter des concentrations importantes et proches des seuils d'information et/ou d'alerte. Une estimation de l'influence de l'altitude sur la valeur du facteur de conversion de l'ozone est présenté sur la figure 1.

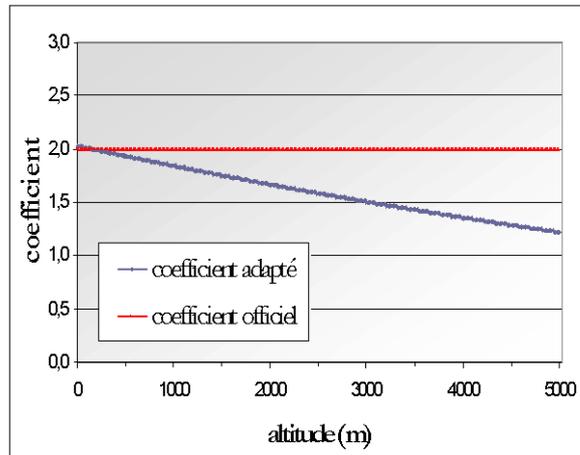


figure 1 : évolution du facteur de conversion de l'ozone en fonction de l'altitude. Les gradients de pression et température sont estimés à l'aide du modèle de l'Atmosphère type OACI¹.

L'écart croît de manière quasi linéaire entre la valeur du facteur calculé de façon appropriée en fonction de l'altitude et la valeur fixée dans la norme. L'altitude à partir de laquelle cet écart excède 10% de la valeur officielle est d'environ 1100 mètres. Pour la station du Plan du Lac (Air APS) située à environ 2400 mètres d'altitude, le facteur de conversion adapté devrait être de 1,61, au lieu de 2,00 utilisé dans le cadre réglementaire actuel.

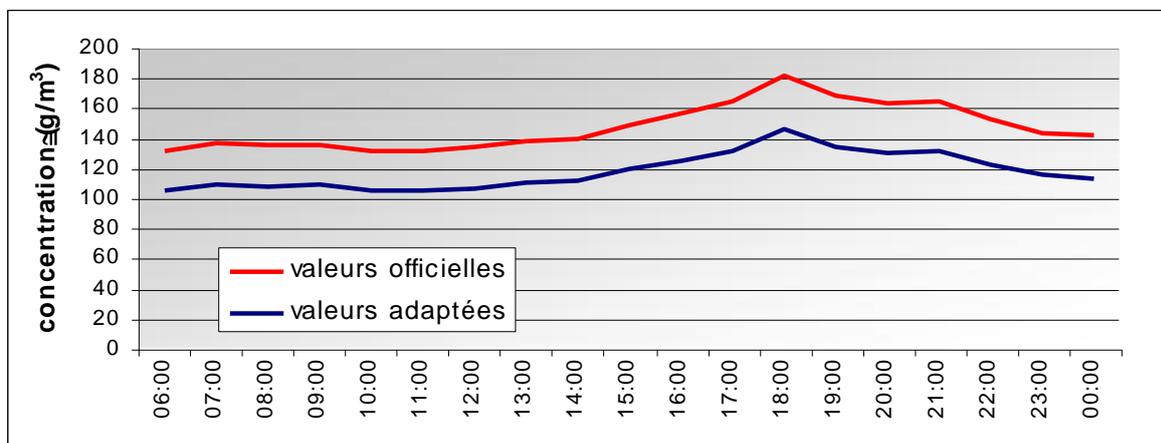


figure 2 : concentrations en ozone au cours de la journée du 16 juillet 2007

¹ Organisation de l'Aviation Civile Internationale. Source : J.P. Triplet, G. Roche, *Météorologie Générale*, Météo France, troisième édition, 1996_p 6, 95.

En pratique, la surestimation des valeurs de mesurages en altitude engendre des dépassements de seuil d'information ou d'alerte artificiels et des difficultés de communication. A titre d'exemple, la figure 2 montre la concentration en Ozone le 16 juillet 2007 à la station du Plan du Lac, selon que l'on applique un facteur de conversion adapté à l'altitude ou issu des textes réglementaires. Les valeurs obtenues dans le cadre réglementaire sont décalées dans ce cas d'environ $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ vers les valeurs plus élevées, et un dépassement de seuil d'information "artificiel" est observé.

Afin d'apporter une solution à ce problème spécifique, nous avons décidé de porter directement ce problème devant le groupe du CEN afin de profiter de la révision en cours des normes pour la mesure des gaz. Après discussion, lors de la réunion du WG12 il a été décidé de rajouter la note suivante à la partie fixant les facteurs de conversions :

NOTE For conversion at different atmospheric pressures and/or temperatures factors may be derived from the ideal gas law.

Cette modification permettra, dès la publication des normes révisées, d'adapter les facteurs de conversion pour les cas de figure pertinents. Il conviendra d'ici là de fixer une règle commune pour l'utilisation de cette option en France (par exemple au cours d'une réunion du groupe X43D de l'Afnor), et d'en informer l'ensemble des utilisateurs.

PARTIE 2 : CORRECTION DES MESURES DE CONCENTRATIONS DE NO₂ ET O₃

Les normes de référence EN 14211 et EN 14625 pour la mesure des concentrations en NO/NO_x et O₃ prévoient une correction des mesures pour tenir compte de la réaction entre le NO et l'O₃ dans la ligne d'échantillonnage. Cette correction fait l'objet d'une annexe normative à ces deux normes. Elle est basée sur l'application d'une formule de calcul, dont l'origine et la validité sont inconnues.

Les travaux réalisés en 2005 et 2006 avaient pour objectif de vérifier en laboratoire la validité de la formule de calcul et d'étudier les paramètres influant sur les pertes d'O₃ et l'augmentation de la teneur en NO₂, afin d'évaluer l'impact des réactions O₃/NO sur les résultats de mesure en terme de dépassement des valeurs limites horaires.

Ces travaux ont permis de recommander de minimiser les temps de résidence des gaz dans les lignes de prélèvement. En effet, il a été montré que l'application du calcul correctif est nécessaire aux fortes teneurs en NO et O₃. Toutefois, les travaux effectués sur site par Airparif ont montré que l'application de la formule conduisait, par exemple, à de très fortes surestimations de la concentration en NO₂ sur un site trafic.

Il était initialement proposé pour 2008 d'appliquer les résultats obtenus précédemment à des cas réels, afin d'étudier l'amplitude du biais de mesurage pour les différentes configurations des couples de concentrations en O₃ et NO_x. L'objectif était de définir dans quel(s) cas réel(s) la correction, ou a minima une réduction du temps de résidence, est nécessaire.

Etant donné que la révision des normes pour la mesure des gaz polluants a été anticipée en 2008, il a été décidé de porter directement les éléments disponibles devant le groupe de travail 12 du CEN. Une présentation (voir annexe II) a permis de convaincre le groupe que l'application obligatoire de la formule pouvait largement fausser les mesures. Il a donc été décidé de passer l'annexe A, contenant la formule, en annexe informative, et non normative. Afin de minimiser l'influence des réactions dans les lignes de prélèvement sur les mesures, il a été décidé d'une part que le temps de résidence dans les analyseurs doit être inférieurs à 2 secondes, et préconisé d'autre part que le temps de résidence total soit minimisé et inférieur à 5 secondes.

PARTIE 3 : ETUDE DES CARACTERISTIQUES DE PERFORMANCES DES ANALYSEURS AUTOMATIQUES DE GAZ

1. INTRODUCTION

Cadre général de l'étude

L'objectif général de cette étude est de poursuivre les travaux relatifs à l'évaluation des instruments de mesure de polluants atmosphériques, afin de permettre aux utilisateurs d'analyseurs automatiques de disposer des éléments nécessaires pour assurer et optimiser la qualité des mesures, et de s'assurer que les appareils répondent aux exigences des Directives en matière d'incertitude au niveau de la valeur limite.

Plus particulièrement, cette étude a pour but de documenter les variations des caractéristiques de performance des analyseurs en fonction de la concentration en déterminant, et à l'évolution dans le temps des performances des analyseurs. Ces deux objectifs sont décrits ci-dessous :

- Variation des caractéristiques de performance des analyseurs en fonction de la concentration et du niveau des facteurs d'influence

Les procédures normatives d'évaluation des analyseurs prévoient d'effectuer les tests à deux niveaux de concentration en déterminant (excepté le test de linéarité) : à zéro et en un point en sensibilité, et dans le cas de la détermination de l'influence des interférents, à une concentration en interférent.

Or les budgets d'incertitude doivent être établis pour des niveaux de concentration en déterminant, en interférents ou en niveaux de facteur d'influence qui ne sont pas forcément ceux appliqués lors de l'évaluation.

L'objectif de ce premier volet consistait à déterminer si les caractéristiques de performance d'un analyseur peuvent être extrapolées lors de l'établissement d'un budget d'incertitudes à des niveaux de concentration en mesurande et en interférents différents de ceux appliqués lors de l'évaluation de l'appareil, et éventuellement de proposer des règles d'extrapolation.

- Evolution dans le temps des performances des analyseurs

Les évaluations d'analyseurs effectuées dans le cadre des travaux du LCSQA ont montré que certaines caractéristiques de performance des analyseurs ont un impact significatif sur la justesse de la mesure et sur l'incertitude associée aux résultats de mesurage. C'est le cas de la sensibilité aux paramètres d'influence (en particulier température ambiante et interférents).

Or, comme présenté lors du séminaire du 13 octobre 2005 dans le cadre de l'étude "harmonisation des contrôles des analyseurs", compte tenu des moyens nécessaires pour mettre en œuvre ces tests, ceux-ci ne sont pas réalisables à un coût acceptable, par les AASQA (ou pas de façon régulière).

Ils sont déterminés lors de la mise en œuvre d'essais d'approbation de type, mais il convenait de vérifier que ces caractéristiques ne se dégradent pas dans le temps, risquant de conduire à des erreurs de mesure et à une augmentation de l'incertitude au-delà du seuil admissible.

L'objectif du second volet de cette étude était de réaliser un suivi dans le temps de ces caractéristiques sur des analyseurs fonctionnant en station, afin d'évaluer les dérives des coefficients de sensibilité et leur impact sur les écarts et sur l'incertitude de mesure. En pratique, des analyseurs utilisés en routine par les AASQA ont été testés à deux ans d'intervalle, et l'évolution des caractéristiques de performance est interprétée au terme des 2 phases de tests.

Organisation des essais

Les deux études ont été réalisées sur des analyseurs d'O₃ et de NOx. Les essais ont été organisés comme suit :

Variation des caractéristiques de performance des analyseurs en fonction de la concentration :

- essais sur 4 analyseurs d'ozone en 2007,
- essais sur 4 analyseurs de NOx en 2008.

Evolution dans le temps des performances des analyseurs :

Afin d'optimiser le nombre d'essais réalisés, les résultats du volet variation des caractéristiques de performance sont utilisés pour le volet d'étude de l'évolution dans le temps des performances des analyseurs en temps que résultats de la première phase. Il était donc initialement proposé le schéma suivant :

- essais sur 4 analyseurs d'ozone en 2009 (2^{nde} phase),
- essais sur 4 analyseurs de NOx en 2010 (2^{nde} phase).

On notera que les résultats du premier volet de l'étude concernant l'ozone (2007 : 1^{ère} phase) montrent clairement que les caractéristiques de performance des analyseurs évoluent dans le temps. Elles ne pourront donc pas être reliées directement à l'âge des analyseurs. Par ailleurs, les influences de la température (notamment autour de 20°C) et de l'humidité sur des appareils fonctionnant depuis plusieurs années nécessiteraient d'être étudiées plus en détail. Il est donc proposé de différer la 2^{nde} phase de test, et de la réorienter sur une étude spécifique de l'influence de la température et de l'humidité.

Présentation des résultats

Dans ce rapport, les essais réalisés en 2008 sur les analyseurs de NOx sont décrits et interprétés dans le cadre du volet d'étude sur la variation des caractéristiques de performance des analyseurs en fonction de la concentration pour les analyseurs de NOx.

2. ESSAIS REALISES ET RESULTATS

Les travaux proposés consistent à déterminer si les caractéristiques de performance d'un analyseur peuvent être extrapolées lors de l'établissement d'un budget d'incertitudes à des niveaux de concentration en déterminant, en interférents et à des niveaux de facteurs d'influence différents de ceux appliqués lors de l'évaluation de l'appareil, et de proposer des règles d'extrapolation s'il y a lieu. Ce type de test n'a pas lieu d'être pour les essais de temps de réponse et de linéarité, mais une vérification a tout de même été effectuée. Les essais réalisés pour les autres paramètres sont basés sur les essais en laboratoire conduits selon la norme NF EN 14211, et complétés par des essais à des concentrations en déterminant ou interférents ou de facteurs d'influence intermédiaires permettant d'apprécier la linéarité du comportement de l'appareil (ou l'invariance du coefficient de sensibilité). Les essais réalisés sont décrits point par point ci-dessous. La figure 3 représente le schéma du banc d'essai.

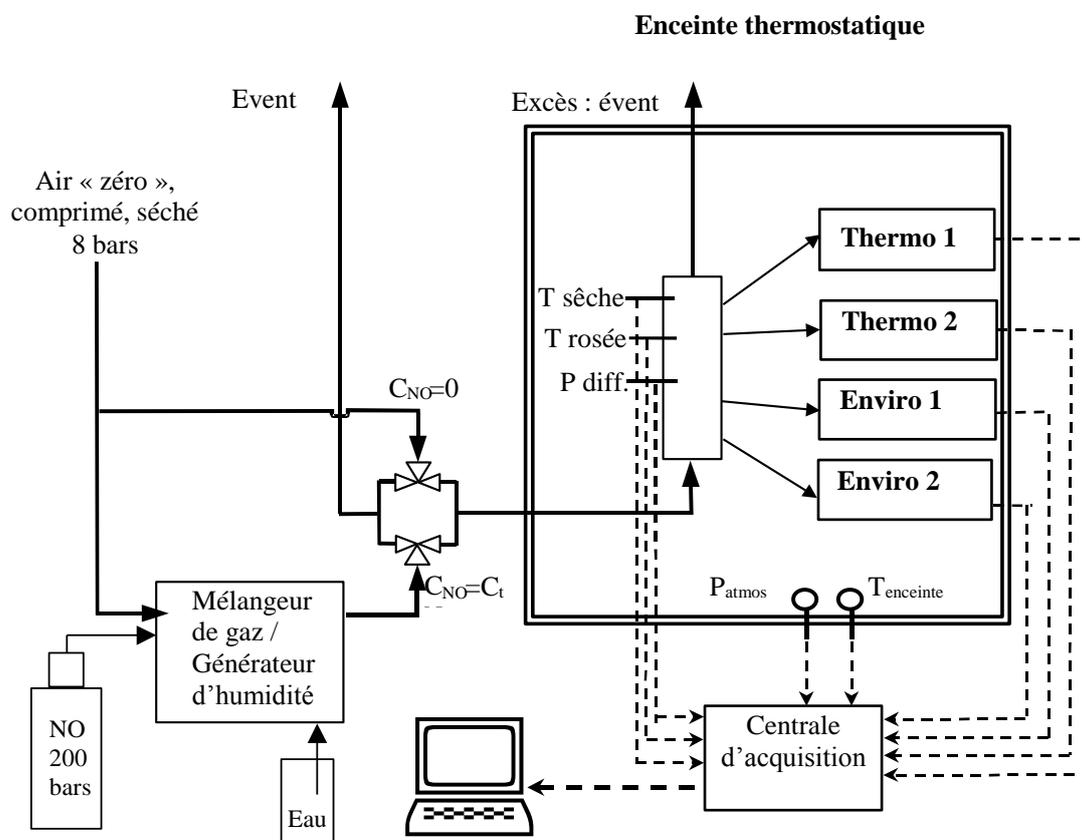


figure 3: Schéma du banc d'essai

2.1 ANALYSEURS TESTES

Les tests ont été réalisés sur quatre analyseurs d'oxydes d'azote:

- Deux analyseurs Environnement SA, type AC31M et AC32M,
- Deux analyseurs Thermo Environmental type 42C.

Ces types d'analyseurs sont les plus représentatifs du parc d'analyseurs de NOx des AASQA. Ils fonctionnent habituellement en continu dans des stations de surveillance. Ils ne sont pas équipés de sécheur à l'entrée de l'échantillon.

Pour chaque analyseur, la gamme 0-1000 ppb a été choisie mais le calibrage a été réalisé à 800 ppb (équivalent à 80% de la gamme 0-1000 ppb qui est la gamme de référence).

Le fabricant, le type ainsi que l'année de mise en service de chaque analyseur sont regroupés dans le tableau 2. Dans ce tableau se trouve la désignation de chaque analyseur qui figurera dans les tableaux de résultats.

Fabricant	Type	Année de mise en service	Désignation pour les résultats
Environnement SA	AC31M	2000	Enviro 1
	AC32M	2002	Enviro 2
Thermo Environmental	42C	2005	Thermo 1
		2001	Thermo 2

tableau 2: *Caractéristiques des analyseurs étudiés*

2.2 ESSAIS REALISES

2.2.1 TEMPS DE REPONSE

Le temps de réponse de l'analyseur ne peut, par définition, pas être sensible à la concentration. Toutefois, les définitions des mesurages élémentaire et indépendant, nécessaires par la suite, sont liées au temps de réponse des analyseurs. Le temps de réponse des analyseurs a donc été déterminé conformément à la norme NF EN 14211, au débit nominal de prélèvement spécifié par le fabricant.

Les résultats, non discutés ici, montrent que le temps de réponse pour les 4 analyseurs est de 70 et 75 secondes pour les analyseurs Thermo Environmental et 20 et 35 secondes pour les appareils Environnement SA. Pour des raisons pratiques, un mesurage élémentaire a donc été fixé pour l'ensemble des appareils comme la moyenne des acquisitions sur 70 secondes.

2.2.2 ECART DE LINEARITE

Le test vise précisément à déterminer les écarts de linéarité de l'analyseur à différents niveaux de concentration. La linéarité a ici été vérifiée afin de s'assurer du bon fonctionnement des appareils testés. Pour chaque concentration (notamment zéro), au moins cinq lectures indépendantes sont effectuées. Les concentrations sont appliquées dans l'ordre suivant : 800, 400, 0, 600, 200 et 950 ppb. Le calcul de la fonction de régression linéaire et des résidus est réalisé comme décrit ci-dessous.

Etablissement de la droite de régression

Une fonction de régression linéaire sous la forme $Y_i = A + B \times c_i$ est établie à l'aide du calcul de la fonction $Y_i = a + B \times (c_i - \bar{c})$, .

Pour le calcul de la régression, toutes mesures, y compris le zéro sont pris en considération. Le nombre total de mesures n est égal au nombre de niveaux de concentration p multiplié par le nombre de répétitions m à chaque niveau de concentration (au moins 5).

Le coefficient « a » est obtenu comme suit : $a = \sum_{i=1}^n Y_i / n$

où Y_i : valeurs mesurées lors des m répétitions à chacun des p niveaux de concentration

n : nombre total de mesures

Le coefficient B est obtenu comme suit : $B = \left(\sum_{i=1}^n Y_i (c_i - \bar{c}) \right) / \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2$

où c_i : concentrations générées lors des m répétitions à chacun des p niveaux de concentration

\bar{c} : concentration moyenne générée calculée comme suit : $\bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i$

La fonction $Y_i = a + B(c_i - \bar{c})$ est convertie en $Y_i = A + B \times c_i$ à l'aide du calcul de A :

$$A = a - B \times \bar{c}$$

Calcul des résidus de moyennes pour $c_i \neq 0$

Les résidus de moyenne de chaque concentration d'essai (excepté au niveau zéro) sont calculés comme suit :

Calcul de la valeur moyenne \bar{Y}_j au niveau de concentration c_j :

$$\bar{Y}_j = \sum_{k=1}^m Y_{k,j} / m \quad \text{en ppb}$$

où $Y_{k,j}$: k^{ième} valeur mesurée au niveau de concentration c_j

m : nombre de répétitions de mesures au niveau de concentration c_j

Calcul du résidu de chaque moyenne dc_j à chaque niveau de concentration c_j (excepté au point zéro) :

$$dc_j = \bar{Y}_j - (A + B \times c_j) \quad \text{en ppb}$$

Calcul de la valeur relative du résidu $(dr)_{c_j}$ à chaque niveau de concentration c_j :

$$(dr)_{c_j} = \frac{dc_j}{\bar{Y}_j} \times 100 \quad \text{en \% du niveau de concentration}$$

La plus grande valeur de résidu relatif est donnée comme résultat de l'essai, et est prise en compte lors de l'établissement du budget d'incertitude.

Calcul du résidu au niveau zéro

Le résidu correspond à la différence entre la valeur moyenne mesurée \bar{Y}_0 et la concentration générée ($c_j=c_0$), soit $\bar{Y}_0 - c_0$.

2.2.2.1 CONDITIONS OPERATOIRES

L'essai s'est déroulé selon les conditions opératoires décrites dans le tableau 3.

Paramètres d'essai	Valeurs
Concentrations du gaz d'essai	800, 400, 0, 600, 100, 200 et 950 ppb
Nombre d'essais	1
Nombre de mesurages par concentration d'essai	5 mesurages indépendants
Fréquence d'acquisition	Toutes les 2 secondes

tableau 3: Conditions opératoires pour la détermination de la linéarité

2.2.2.2 RESULTATS

Les résultats sont résumés dans le tableau 4 et le tableau 5. Le détail des résultats est présenté en annexe III- B.

Sur les 4 analyseurs testés, les analyseurs Thermo 1 et Enviro 2 répondent aux critères de performance de linéarité.

L'analyseur Thermo 2 présente un résidu au zéro supérieur à 5 ppb (8.03 ppb) mais un résidu maximal inférieur à 4% pour chaque valeur de concentration testée.

	Thermo 1	Thermo 2	Critère de performance
Résidu relatif maximal	0.91	1.86	≤ 4% de la valeur mesurée
Résidu au zéro	1.30	8.03	≤ 5 ppb
Conformité	O	N	

tableau 4: Résultat de l'écart de linéarité pour les analyseurs Thermo 1 et Thermo 2

	Enviro 1	Enviro 2	Critère de performance
Résidu relatif maximal	13.16	0.69	≤ 4% de la valeur mesurée
Résidu au zéro	-21.88	2.84	≤ 5 ppb
Conformité	N	O	

tableau 5: Résultat de l'écart de linéarité pour les analyseurs Enviro 1 et Enviro 2

Avec un résidu relatif maximal de 13% et un résidu au zéro de -21.9 ppb, l'analyseur Enviro 1 ne répond absolument pas aux critères de performance de la linéarité. Etant donné que le délai pour effectuer la réparation nécessaire aurait totalement exclu l'analyseur de l'ensemble des essais prévus, il a été décidé de conserver l'analyseur tel quel pour la suite des tests, en gardant en mémoire ce défaut de linéarité.

2.2.3 REPETABILITE

La norme spécifie de réaliser le test de répétabilité au niveau zéro et à une concentration en NO de l'ordre du seuil d'alerte horaire. Afin d'évaluer la variation de la répétabilité en fonction de la concentration, ce test a finalement été réalisé aux 5 concentrations de NO suivantes:

- 800 ppb
- 600 ppb
- 400 ppb
- 200 ppb
- 0 ppb

Un mesurage indépendant suivi de 19 mesurages élémentaires sont effectués à un niveau de concentration en NO c_j ($j=0$ à p ; $p=2$).

A partir de ces mesurages, l'écart-type de répétabilité (s_j) à chaque niveau de concentration c_j est calculé comme suit :

$$s_{r,j} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (y_{k,j} - \bar{Y}_j)^2}{m-1}}$$

où

$s_{r,j}$ est l'écart-type de répétabilité au niveau de concentration c_j (ppb) ;

$Y_{k,j}$ est le $k^{\text{ième}}$ mesurage au niveau de concentration c_j (ppb) ;

\bar{Y}_j est la moyenne des 20 mesurages au niveau de concentration c_j (ppb) ;

m est le nombre de mesurages, $m = 20$.

La **répétabilité** r_j au niveau de concentration c_j est calculée comme suit :

$$r_j = t_{m-1,0,975} \times s_{r,j}$$

où

$t_{m-1, 0,975}$ est le facteur bilatéral de Student t à un niveau de confiance de 95%, avec $m-1$ degrés de liberté (pour $m = 20$, $t_{m-1, 0,975} = 2,09$) ;

$s_{r,j}$ est l'écart-type de répétabilité au niveau de concentration c_j (ppb).

2.2.3.1 CONDITIONS OPERATOIRES

L'essai s'est déroulé selon les conditions opératoires décrites dans le tableau 6.

Paramètres d'essai	Valeurs
Concentrations du gaz d'essai	800, 400, 0, 600, 200 ppb
Nombre d'essais	1 par concentration
Nombre de mesurage par essai	1 mesurage indépendant ² + 19 mesurages individuels ³
Fréquence d'acquisition	Toutes les 2 secondes

tableau 6: Conditions opératoires pour la détermination de la répétabilité

2.2.3.2 RESULTATS

Les résultats sont donnés dans le tableau 7 et le tableau 8. Le critère de performance au niveau de la valeur limite horaire en NO₂ est que l'écart type de répétabilité soit inférieur à 3 ppb. Les analyseurs Thermo 1, Thermo 2 et Enviro 2 respectent systématiquement ce critère sur l'ensemble de la gamme de concentration testée.

	Thermo 1	Thermo 2	Critère de performance
<i>Ecart type de répétabilité à 800 ppb, en ppb</i>	0.838	0.602	
<i>Ecart type de répétabilité à 400ppb, en ppb</i>	0.430	0.602	
Ecart type de répétabilité à au zéro, en ppb	0.013	0.001	≤1 ppb
<i>Ecart type de répétabilité à 600 ppb, en ppb</i>	0.484	0.548	
<i>Ecart type de répétabilité à 200 ppb, en ppb</i>	0.119	0.261	
Conformité	O	O	

tableau 7: Résultats de l'essai de répétabilité des analyseurs Thermo 1 et Thermo 2

² Mesurage indépendant : mesurage élémentaire qui n'est pas influencé par un mesurage précédent, obtenu en séparant deux mesurages élémentaires par au moins quatre temps de réponse.

³ Mesurage élémentaire : mesurage intégré sur une période de temps égale au temps de réponse de l'analyseur.

	Enviro 1	Enviro 2	Critère de performance
Ecart type de répétabilité à 800 ppb, en ppb	3.223	0.488	
Ecart type de répétabilité à 400 ppb, en ppb	1.568	0.160	
Ecart type de répétabilité à au zéro, en ppb	0.173	0.190	≤1 ppb
Ecart type de répétabilité à 600 ppb, en ppb	2.044	0.348	
Ecart type de répétabilité à 200 ppb, en ppb	0.526	0.175	
Conformité	N	O	

tableau 8: Résultats de l'essai de répétabilité des analyseurs Enviro 1 et Enviro 2

L'analyseur Enviro 1 présente un écart-type de répétabilité au zéro conforme à la norme. Seul l'écart-type de répétabilité à la concentration de 800 ppb est légèrement supérieur au critère de performance (3.2 pour 3 ppb).

Pour plus de lisibilité, l'évolution de l'écart type de répétabilité en fonction de la concentration en NOx est donnée sur la figure 4.

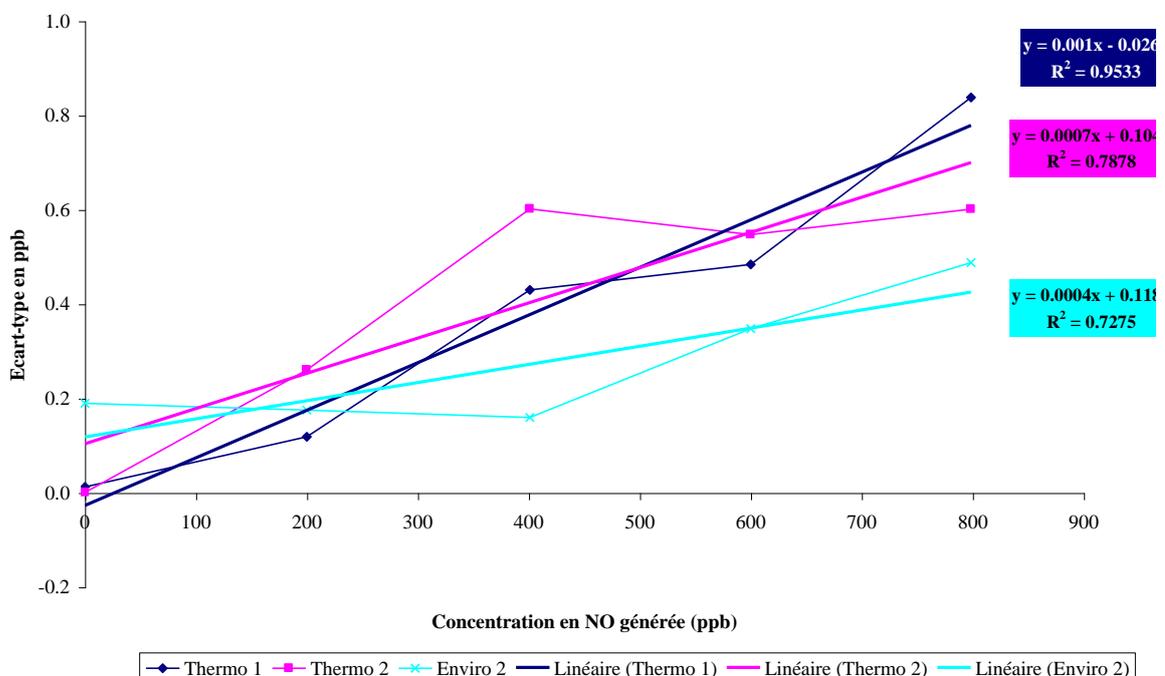


figure 4: Evolution de l'écart type de répétabilité en fonction de la concentration en NO

L'écart type de répétabilité varie légèrement en fonction de la concentration en NO pour les analyseurs Thermo1, Thermo2 et Enviro2 sans règle de proportionnalité exacte. Toutefois, cette variation, inférieure à 1 ppb, apparaît comme négligeable.

La variation observée pour l'écart type de répétabilité de l'analyseur Enviro1 semble proportionnelle à la concentration de NO mesurée. Mais la valeur de l'écart type calculée pour 800 ppb de NO est supérieure au critère de performance donné par la norme. De ce fait, cet analyseur ne répond pas au critère.

2.2.4 DERIVE A COURT TERME

La norme spécifie que l'essai de dérive à court terme a lieu sur 12 heures et pour 2 concentrations: zéro et un point d'échelle correspondant à environ 80% de la valeur maximale de l'étendue de mesure certifiée. Afin d'évaluer l'évolution de la dérive en fonction de la concentration, l'essai de dérive a été réalisé aux mêmes concentrations que la linéarité :

- 800 ppb
- 400 ppb
- 0 ppb
- 600 ppb
- 200 ppb

Un mesurage indépendant suivi de 19 mesurages élémentaires sont effectués à différentes concentrations. Pour chaque concentration, la moyenne est calculée à partir de ces 20 mesurages.

Selon la norme NF EN 14211, les analyseurs continuent de fonctionner dans les conditions de laboratoire en analysant l'air ambiant. Afin de se soustraire aux éventuelles interférences dues à l'humidité ambiante, les analyseurs sont alimentés en gaz de zéro sec. Au bout de 12 heures les gaz de zéro et de concentration sont introduits dans les analyseurs (dans le même ordre que précédemment). Un mesurage indépendant suivi de 19 mesurages élémentaires sont à nouveau effectués, pour chaque concentration. Les moyennes au zéro et aux concentrations sont calculées.

Les dérives à court terme au zéro et aux concentrations sont calculées comme suit :

$$D_{s,z} = (\overline{Y_{z,2}} - \overline{Y_{z,1}})$$

où

$D_{s,z}$ est la dérive au zéro sur 12 heures (ppb) ;

$\overline{Y_{z,1}}$ est la moyenne des mesures avec le gaz de zéro avant la période de dérive (ppb) ;

$\overline{Y_{z,2}}$ est la moyenne des mesures avec le gaz de zéro à la fin de la période de dérive (12 heures) (ppb).

$$D_{s,s} = (\overline{Y_{s,2}} - \overline{Y_{s,1}}) - D_{s,z}$$

où

$D_{s,s}$ est la dérive en concentration sur 12 heures (ppb) ;

$\overline{Y_{s,1}}$ est la moyenne des mesurages en concentration avant la période de dérive (ppb) ;

$\overline{Y_{s,2}}$ est la moyenne des mesurages en concentration à la fin de la période de dérive (12 heures) (ppb).

2.2.4.1 CONDITIONS OPERATOIRES

L'essai s'est déroulé selon les conditions opératoires décrites dans le tableau 9.

Paramètres d'essai	Valeurs
Période de dérive	Durée : 12 h
Concentration du gaz d'essai	800, 400, 0, 600 et 200 ppb
Nombre de mesurages au temps 0 à 12h pour chaque concentration	1 mesurage indépendant + 19 mesurages élémentaires
Fréquence d'acquisition	Toutes les 2 secondes

tableau 9: Conditions opératoires pour la détermination de la dérive

2.2.4.2 RESULTATS

Les résultats des essais de dérive sur 12 heures sont résumés dans le tableau 10 et le tableau 11. Le détail des résultats est présenté en annexe III - C. Les résultats des tests qui ne figurent pas dans la norme sont en italique dans les tableaux de résultat.

Concentrations	Thermo 1	Thermo 2	Critère de performance
Zéro	-0.06	0	≤2 ppb sur 12h
800	-1.74	-1	≤6 ppb sur 12h
<i>400</i>	<i>-0.51</i>	<i>-0.03</i>	
<i>600</i>	<i>-0.78</i>	<i>0.97</i>	
<i>200</i>	<i>-0.01</i>	<i>0.22</i>	
Conformité	O	O	

tableau 10: Résultats de l'essai de dérive sur 12 heures des analyseurs Thermo 1 et Thermo 2

Concentrations	Enviro 1	Enviro 2	Critère de performance
Zéro	0.56	-0.19	≤2 ppb sur 12h
800	-9.48	0.53	≤6 ppb sur 12h
400	-6.68	0.58	
600	-10.29	1.18	
200	-4.03	0.15	
Conformité	N	O	

tableau 11: Résultats de l'essai de dérive sur 12 heures des analyseurs Enviro 1 et Enviro 2

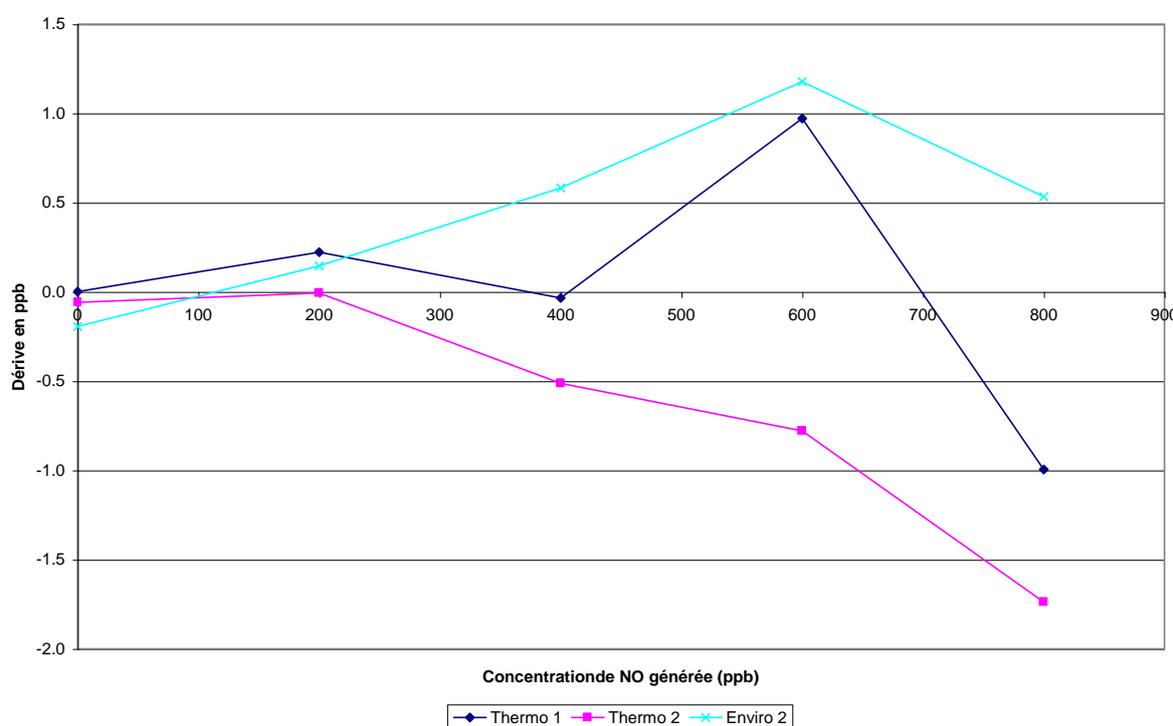


figure 5 : dérive sur 12 heures des 4 analyseurs

L'étude de la dérive à court terme selon la norme (concentration en NO égale à 0 ppb et 800 ppb) indique que les analyseurs Thermo 1, Thermo 2 et Enviro 2 sont conformes au critère de performance sur 12 heures. Les essais supplémentaires réalisés à d'autres concentrations que celles préconisées par la norme font apparaître ces 3 analyseurs comme conformes au critère de performance. Mais il ne peut être établi de proportionnalité de la dérive en fonction de la concentration (Cf. figure 5). L'analyseur Enviro 1 répond au critère de performance pour la concentration zéro et 200 ppb de NO mais la dérive observée pour les concentrations suivantes est supérieure à celle du critère de performance de la norme sans qu'il puisse être établi de règle de proportionnalité pour autant.

2.2.5 INFLUENCE DE LA TENSION

Dans la norme EN 14211, le critère de performance pour la sensibilité à la tension est de 0.3 ppb par volt quand il est déterminé aux deux extrémités de la plage de tension spécifiée, à la concentration de zéro et à une concentration de l'ordre de 800 ppb de NO.

Dans cette étude, la sensibilité à la tension a été déterminée, pour plusieurs concentrations et à plusieurs tensions répertoriées dans le *tableau 12*. Le coefficient de sensibilité a été calculé par rapport à la tension nominale (230V) pour chaque tension testée ainsi par rapport à la différence des tensions extrêmes. Les résultats des tests qui ne figurent pas dans la norme sont en italique dans les tableaux de résultats.

Un mesurage indépendant suivi de deux mesurages élémentaires ont été effectués pour chaque tension et pour chaque concentration.

L'influence de la tension est calculée comme suit :

$$b_v = \frac{(\overline{Y_{V_{\max}}} - \overline{Y_{V_{\min}}})}{(V_{\max} - V_{\min})}$$

où

b_v est l'influence de la tension (ppb/V) ;

$\overline{Y_{V_{\max}}}$ est la lecture moyenne de concentration des mesurages à la tension V_{\max} (ppb) ;

$\overline{Y_{V_{\min}}}$ est la lecture moyenne de concentration des mesurages à la tension V_{\min} (ppb) ;

V_{\max} est la tension maximale (V) ;

V_{\min} est la tension minimale (V).

Dans le rapport d'évaluation, l'influence de la tension correspond au plus grand des résultats au zéro et en concentration.

Pour un analyseur alimenté en courant continu, l'essai de sensibilité à la tension pour l'approbation de type doit être effectué dans la plage correspondant à $\pm 10\%$ de la tension nominale.

2.2.5.1 CONDITIONS OPERATOIRES

L'essai s'est déroulé selon les conditions opératoires décrites dans le *tableau 12* suivant.

Paramètres d'essai	Valeurs
Tensions de test	230V / 218.5V / 207V / 195.5V / 230V / 241.5V et 253V
Concentrations du gaz d'essai	800, 400, 0, 600, 200 ppb
Nombre d'essais	1 à chaque tension
Nombre de mesurages à chaque tension de test et à chaque concentration	1 mesurage indépendant + 2 mesurages élémentaires
Fréquence d'acquisition	Toutes les 2 secondes

tableau 12: Conditions opératoires pour la détermination de l'influence de la tension

2.2.5.2 RESULTATS

Les résultats sont résumés dans le *tableau13*, *tableau14*, *tableau15*, *tableau16*, et *tableau17*. Le détail des résultats est présenté en annexe D.

Trois analyseurs (Thermo 1, Enviro 1 et Enviro 2) répondent parfaitement au critère de sensibilité à la tension pour toutes les concentrations et tensions appliquées. L'analyseur thermo 2 ne respecte pas systématiquement le critère de 0,3 ppb, mais uniquement pour la concentration de 800 ppb de NO. L'influence de la tension est donc faible. Les coefficients de sensibilité (pentes des droites de régression) sont différents d'un analyseur à un autre. La figure 6 illustre (pour une concentration spécifique, mais le comportement est le même pour les autres concentrations), que la sensibilité en fonction de la tension est aléatoire et ne peut être extrapolée.

Pour les analyseurs Thermo 1 et Thermo 2 (figure 7 et figure 8), l'influence de la variation de tension est en première approximation proportionnelle à la concentration. Les profils des analyseurs Enviro 1 et Enviro 2 (figure 9et figure 10) diffèrent sur ce critère. Tout en ayant un coefficient de sensibilité inférieur au critère de performance, l'analyseur Enviro 1 a un comportement aléatoire quelque soit la concentration et la tension appliquées alors que l'analyseur Enviro 2 a deux types de comportement. Pour des tensions appliquées supérieures à 220V, le coefficient de sensibilité est positif et augmente légèrement avec la concentration alors que pour des tensions appliquées inférieures à 220V, le coefficient de sensibilité est négatif et baisse avec la concentration.

Saut de tension en V	Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
11.5	-0.19	-0.15	-0.02	-0.16
23.0	-0.23	-0.17	-0.09	-0.13
34.2	-0.23	-0.20	-0.07	-0.08
-9.9	-0.27	-0.36	-0.22	0.05
-22.1	-0.24	-0.34	-0.01	0.09
57.3	-0.18	-0.15	-0.05	0.03
Conformité	O	N	O	O

tableau13: Sensibilité des analyseurs en fonction du saut de tension pour une concentration de NO de 800 ppb

Saut de tension en V	Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
12.2	-0.08	-0.08	-0.03	-0.05
23.9	-0.08	-0.06	-0.09	-0.03
35.5	-0.08	-0.13	-0.05	-0.01
-11.3	-0.15	-0.15	-0.17	-0.01
-26.2	-0.13	-0.16	-0.07	0.00
60.5	-0.09	-0.09	-0.08	0.00
Conformité	O	O	O	O

tableau14: : Sensibilité des analyseurs en fonction du saut de tension pour une concentration de NO de 400 ppb

Saut de tension en V	Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
11.2	0.00	0.00	-0.06	0.00
22.3	0.01	0.00	-0.07	0.00
36.0	0.01	0.00	-0.05	0.00
-11.9	-0.01	0.00	-0.06	0.00
-24.2	-0.01	0.00	-0.05	0.00
59.9	0.00	0.00	-0.05	0.00
Conformité	O	O	O	O

tableau15: : Sensibilité des analyseurs en fonction du saut de tension pour une concentration de NO de 0 ppb

Saut de tension en V	Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
10.8	-0.10	-0.18	-0.01	-0.08
22.4	-0.11	-0.15	-0.01	-0.06
33.7	-0.12	-0.17	0.04	-0.05
-10.2	-0.20	-0.26	0.08	0.01
-23.1	-0.15	-0.23	0.10	0.04
57.6	-0.10	-0.10	0.01	0.02
Conformité	0	0	0	0

tableau16: : Sensibilité des analyseurs en fonction du saut de tension pour une concentration de NO de 600 ppb

Saut de tension en V	Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
11.9	-0.03	0.01	-0.08	-0.02
23.1	-0.01	-0.03	-0.08	-0.01
34.9	-0.01	-0.03	-0.08	0.00
-10.5	-0.05	-0.10	-0.03	0.02
-25.4	-0.06	-0.09	-0.08	0.02
60.5	-0.03	-0.03	-0.07	0.01
Conformité	0	0	0	0

tableau17: : Sensibilité des analyseurs en fonction du saut de tension pour une concentration de NO de 200 ppb

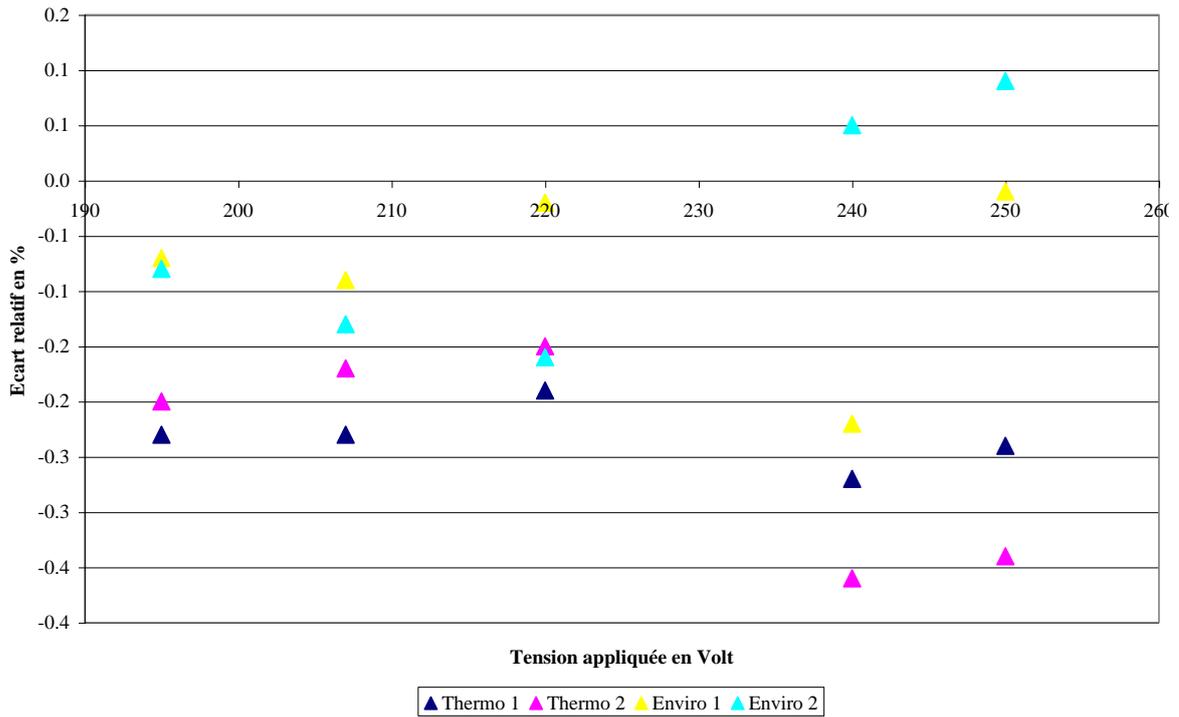


figure 6: Ecart relatif entre la réponse à 230V et celle aux différentes tensions testées pour 800 ppb de NO

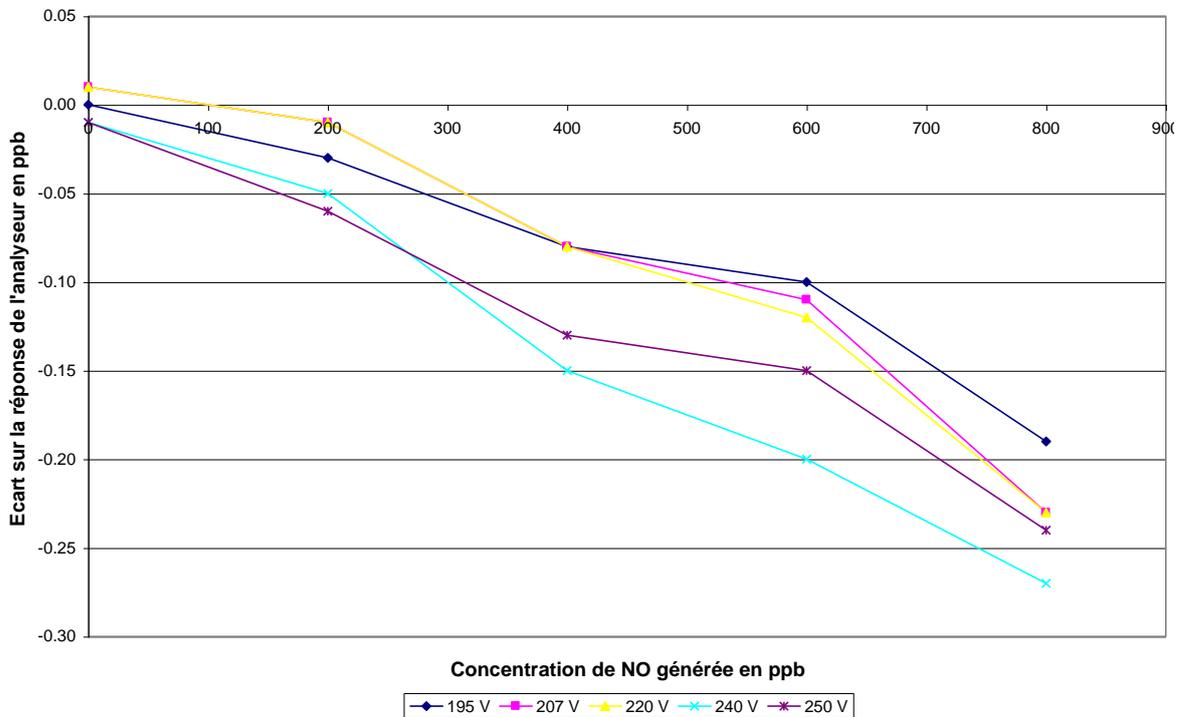


figure 7 : Influence de la tension sur l'analyseur Thermo 1

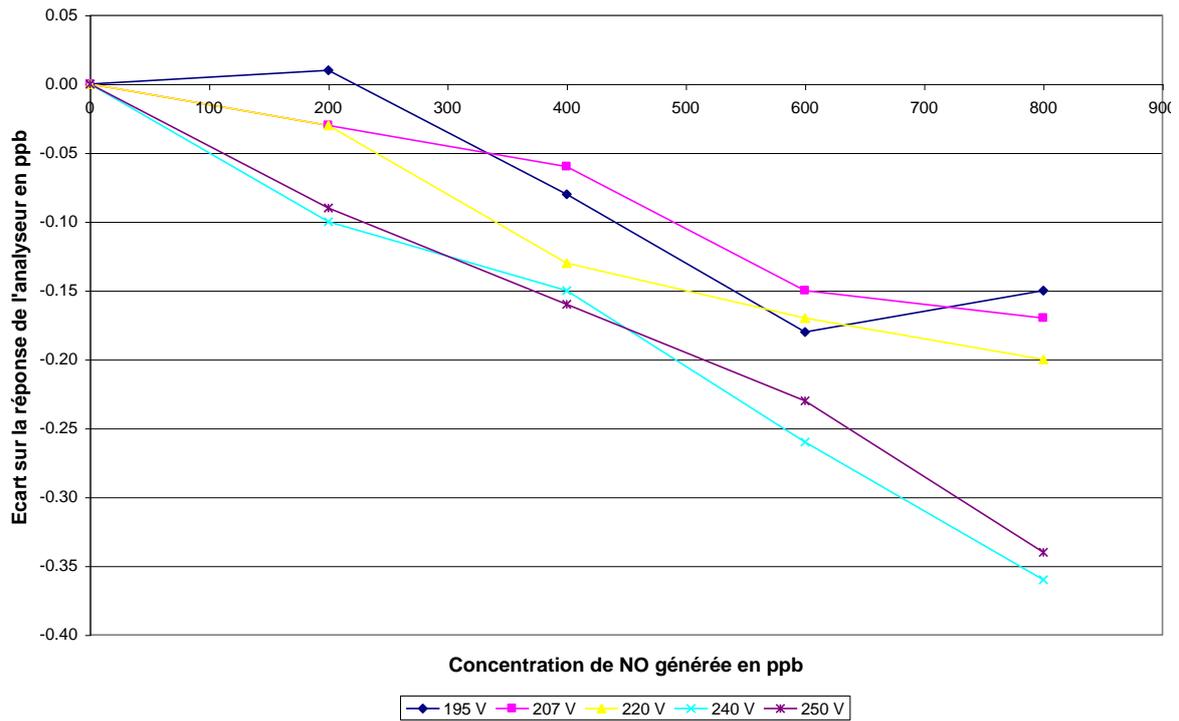


figure 8: Influence de la tension sur l'analyseur Thermo 2

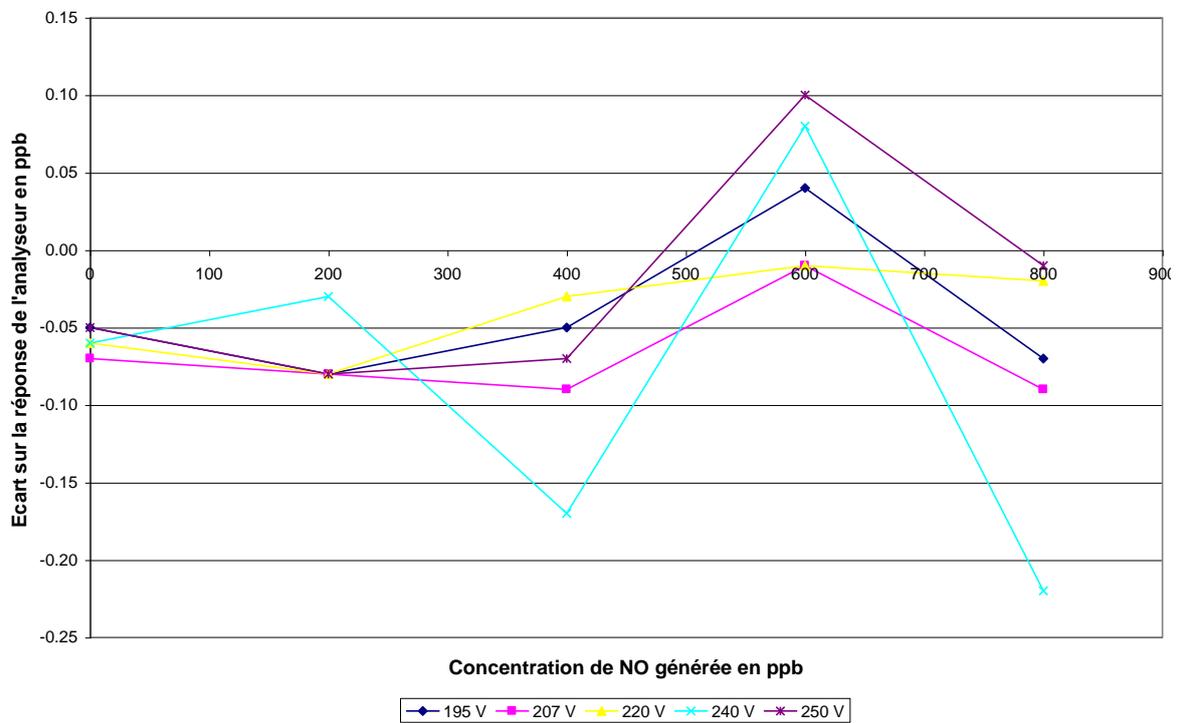
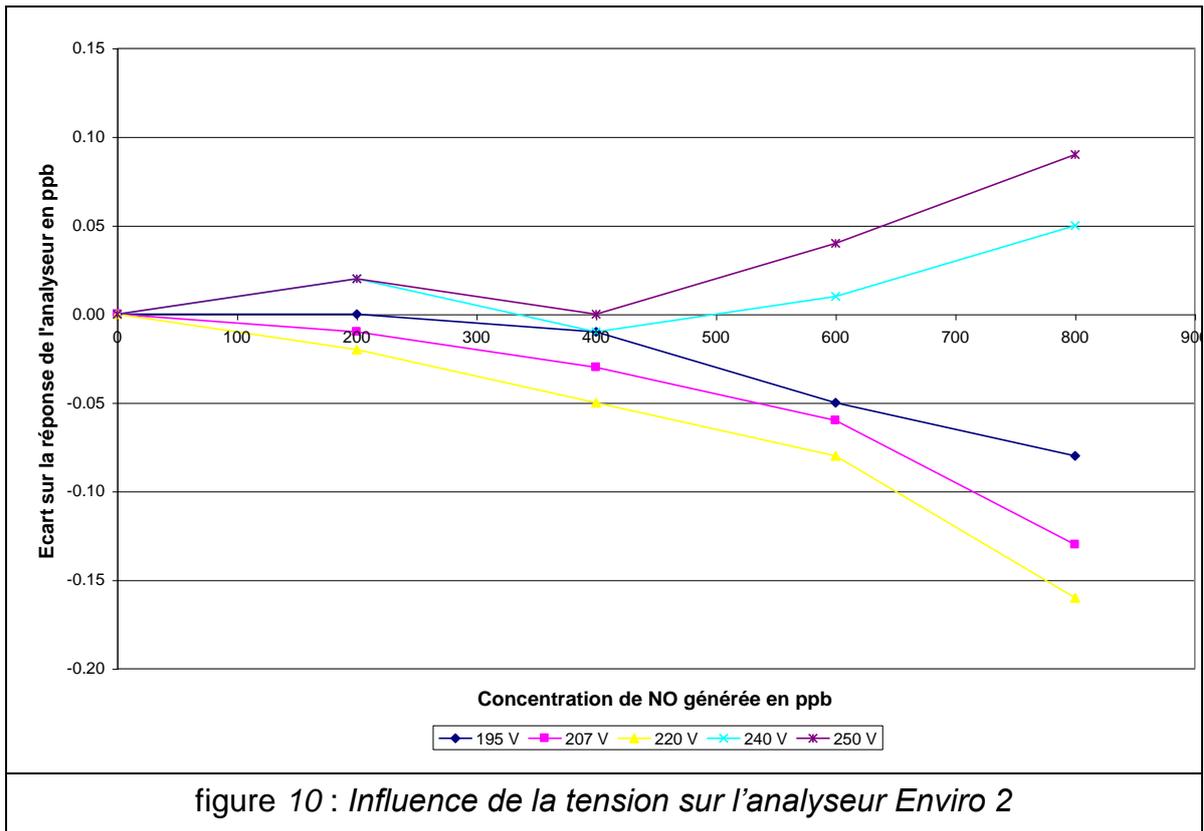


figure 9 : Influence de la tension sur l'analyseur Enviro 1



2.2.6 COEFFICIENT DE SENSIBILITE A LA TEMPERATURE DE L'AIR ENVIRONNANT

La norme préconise de réaliser les essais à 70-80% de la valeur maximale de l'étendue de mesure certifiée soit 700-800 ppb. Les essais ont ici été réalisés à 5 concentrations allant de 0 à 800 ppb. Les températures auxquelles ont été soumis les analyseurs étaient de 20°C, 10°C, 30 puis 40°C, ce qui correspond à des sauts de température de -10, +20 et +10 °C. Le critère de performance indiqué dans la norme est " $\leq 3 \text{ ppb}/^\circ\text{C}$ ".

A chaque température, un mesurage indépendant et deux mesurages élémentaires sont effectués pour chaque concentration de NO.

Afin d'exclure toute dérive éventuelle due à des facteurs autres que la température, les mesurages à T_{enceinte} sont moyennés, ce qui conduit à la formule suivante pour le calcul de l'influence de la température de l'air environnant :

$$b_{\text{st}} = \left| \frac{\overline{Y}_T - \frac{\overline{Y}_1 + \overline{Y}_2}{2}}{T - T_{\text{enceinte}}} \right| \text{ pour l'essai à } T ;$$

où

b_{st} est l'influence de la température de l'air environnant au zéro ou en concentration, et à la température de l'essai T (ppb/K) ;

\overline{Y}_T est la moyenne des mesurages à T(ppb) ;

\overline{Y}_1 est la première moyenne des mesurages à T_{enceinte} (ppb) ;

\overline{Y}_2 est la seconde moyenne des mesurages à T_{enceinte} (ppb) ;

T_{enceinte} est la température de l'air environnant dans le laboratoire (°C) ;

2.2.6.1 CONDITIONS OPERATOIRES

L'essai s'est déroulé selon les conditions opératoires décrites dans le *tableau18*.

Paramètres d'essai	Valeurs
Températures testées	20°C; 10°C; 30 et 40°C
Concentrations du gaz d'essai	800 ; 400 ; 0 ; 600 et 100 ppb
Nombre d'essais	1 à chaque température
Nombre de mesurages à chaque tension de test et à chaque concentration	1 mesurage indépendant + 2 mesurages élémentaires
Fréquence d'acquisition	Toutes les 2 secondes

tableau18: *Conditions opératoires pour la détermination de l'influence de la température*

2.2.6.2 RESULTATS

Les résultats sont résumés dans le tableau19. Le détail des résultats est présenté en annexe III - E.

Les résultats des tests qui ne figurent pas dans la norme sont en italique dans les tableaux de résultats.

Ces résultats montrent que les analyseurs Thermo 2 et Enviro 2 sont conformes au critère de performance pour toutes les concentrations ainsi que pour toutes les températures étudiées. La figure 12 et la figure 14 indiquent qu'une approximation linéaire de l'influence de la température sur les concentrations pourrait être pertinente. Toutefois, les pentes de ces droites sont propres à chaque appareil et à chaque palier de température.

L'analyseur Thermo 1 est hors critère de performance à 10°C quelle que soit la concentration étudiée. Pour les autres températures, 30°C et 40°C les remarques faites précédemment pour les analyseurs Thermo 2 et Enviro 2 s'appliquent.

L'analyseur Enviro 1, enfin, est globalement non conforme au critère de performance attendu.

Au final, pour les 3 analyseurs respectant les critères de linéarité, tous ne respectent pas systématiquement les critères de sensibilité à la température. De plus, si le comportement des analyseurs à température donnée en fonction de la concentration est souvent assez linéaire, les caractéristiques de cette droite semblent dépendantes à la fois de l'analyseur et de la température.

Niveau de concentration	Saut de température (°C)	Thermo 1 ppb / °C	Thermo 2 ppb / °C	Enviro 1 ppb / °C	Enviro 2 ppb / °C
800 ppb	-10	11,2	-2,5	-3,0	1,1
	+ 20	-0,1	-2,5	-22,4	-2,3
	+ 10	-0,9	-1,6	-42,0	-3,0
	Conformité	N	O	N	O
400 ppb	-10	9,37	-1,39	-4,13	0,50
	+ 20	0,16	-1,39	0,86	-0,97
	+ 10	0,12	-0,55	-22,64	-1,47
	Conformité	N	O	N	O
0 ppb	-10	0,16	0,02	0,11	0,00
	+ 20	0,11	0,01	-0,13	0,03
	+ 10	0,87	0,26	-0,09	0,00
	Conformité	O	O	O	O
600 ppb	-10	8,86	-1,86	-6,20	0,75
	+ 20	0,11	-2,02	-4,98	-1,67
	+ 10	-0,39	-1,27	-34,00	-2,34
	Conformité	N	O	N	O
100 ppb	-10	7,55	-0,25	-1,04	-0,01
	+ 20	0,38	-0,28	0,59	-0,06
	+ 10	0,90	0,28	-5,56	-0,21
	Conformité	N	O	N	O
200 ppb	-10	8,13	-0,67	-2,21	0,21
	+ 20	0,27	-0,80	0,68	-0,35
	+ 10	0,61	0,01	-11,28	-0,66
	Conformité	N	O	N	O

tableau19 : Résultats de l'essai de l'influence de la température

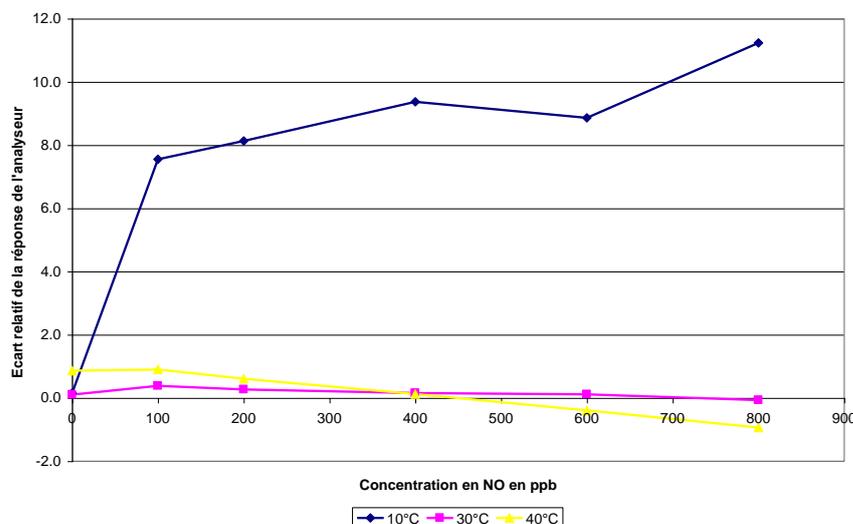


figure 11 : Influence de la concentration sur l'écart de mesure pour différentes variations de température pour l'analyseur Thermo 1

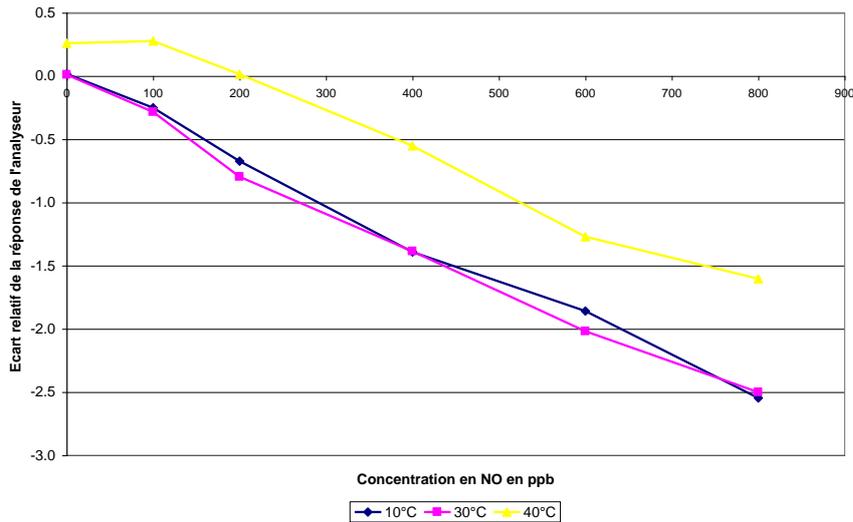


figure 12 : Influence de la concentration sur l'écart de mesure pour différentes variations de température pour l'analyseur Thermo 2

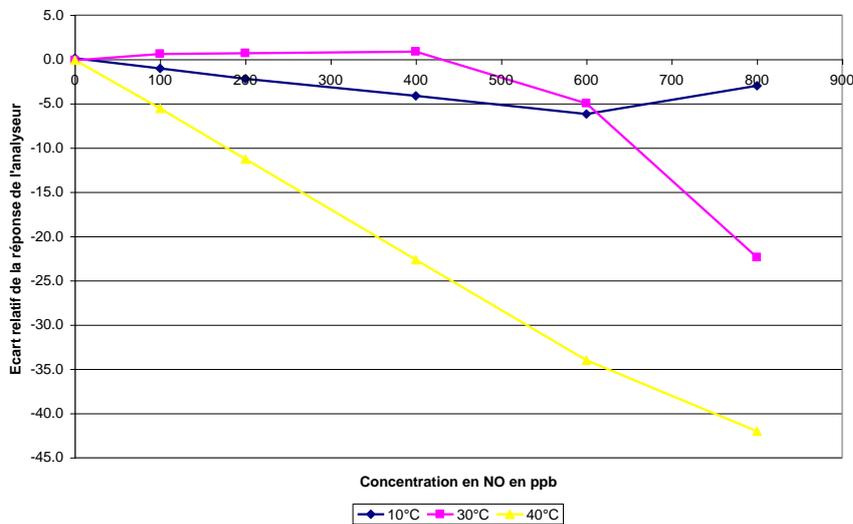


figure 13 : Influence de la concentration sur l'écart de mesure pour différentes variations de température pour l'analyseur Enviro 1

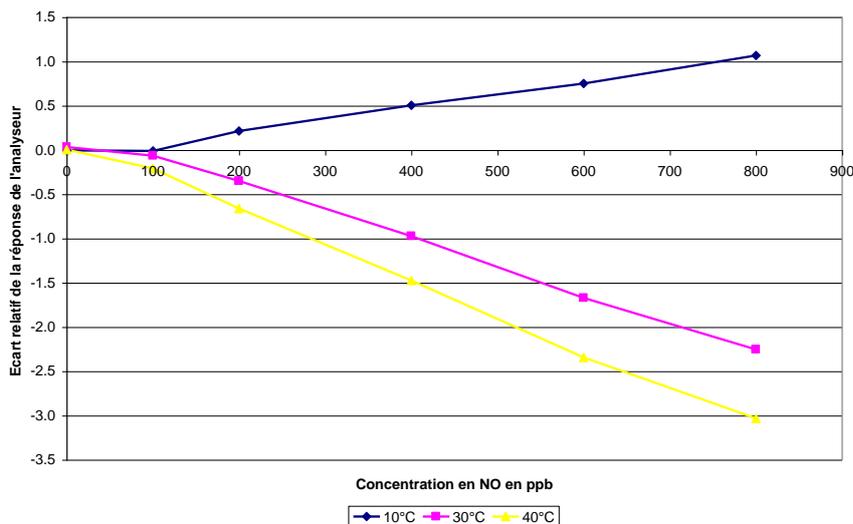


figure 14 : Influence de la concentration sur l'écart de mesure pour différentes variations de température pour l'analyseur Enviro 2

2.2.7 INFLUENCE DES INTERFERENTS :

2.2.7.1 DIOXYDE DE CARBONE

La norme précise que les tests doivent être réalisés à une concentration de 0 et 104 ppb de NO et une concentration en CO₂ de 500 ppm. L'influence du CO₂ doit être inférieure à 5 ppb. Afin d'évaluer l'interférence du CO₂ en fonction de la concentration de NO, le test a été réalisé à 3 concentrations différentes de CO₂ et pour 5 concentrations de NO. La concentration atmosphérique en CO₂ est actuellement d'environ 380 ppm. Les 2 concentrations de CO₂ supplémentaires par rapport à la norme (700 et 1200 ppm) ont été choisies afin d'être représentatives de concentrations en air intérieur.

Après *calibrage* de l'analyseur au zéro et en concentration, un mélange de NO et d'air, à un débit Q est introduit dans l'analyseur. Avec ce mélange, un mesurage indépendant puis deux mesurages élémentaires sont effectués. Cette opération est répétée pour chaque concentration de NO testée. Puis la même opération est répétée en ajoutant du CO₂, en respectant le même débit Q.

Ce cycle est répété pour chaque concentration de CO₂ et de NO donnée dans le tableau 20. Le schéma du montage est identique à celui de la figure 3. Il a juste été ajouté au mélangeur la bouteille de CO₂ afin de réaliser le mélange.

Concentration en NO en ppb	Concentration en CO ₂ en ppm
800	500
400	800
0	1200
600	
100	
200	

tableau 20: Concentrations de NO et de CO₂ utilisées lors de l'essai d'influence du CO₂

L'influence au niveau de concentration zéro c_0 et à la concentration c_j est calculée comme suit :

$$X_{\text{int},z} = \overline{Y}_0$$

où $X_{\text{int},z}$ est l'influence de l'interférent au niveau de concentration zéro (ppb) ;
 \overline{Y}_0 est la moyenne des mesurages au zéro (ppb).

et :

$$X_{\text{int},c_j} = \overline{Y}_j - c_j$$

où X_{int,c_j} est l'influence de l'interférent à la concentration c_j (ppb) ;
 \overline{Y}_j est la moyenne des mesurages à la concentration c_j (ppb) ;
 c_j est la concentration en ozone (ppb).

2.2.7.2 CONDITIONS OPERATOIRES

L'essai s'est déroulé selon les conditions opératoires décrites dans le *tableau21*.

Paramètres d'essai	Valeurs
Concentrations en CO ₂ testées	500, 800 et 1200 ppm
Concentrations du gaz d'essai	800, 400, 0, 600, 100 et 200 ppb
Nombre d'essais	1 à chaque concentration de CO ₂
Nombre de mesurages à chaque concentration	1 mesurage indépendant + 2 mesurages élémentaires
Fréquence d'acquisition	Toutes les 2s

tableau21: Conditions opératoires pour la détermination de l'influence du CO₂

2.2.7.3 RESULTATS

Concentration en CO ₂ ppm	Concentration en NO ppb	Thermo2	Thermo1	Enviro1	Enviro2
500	799.8	14.2	11.9	11.4	26.6
	401.0	-4.0	5.4	5.4	9.4
	0.0	0.2	-0.1	1.2	0.7
	599.4	3.9	7.7	10.6	16.1
	100.4	-8.6	0.1	0.7	0.3
	200.8	-10.6	1.3	-3.0	2.6
Conformité		N	N	N	N
800	799.9	13.3	12.1	12.4	24.2
	401.1	-3.7	5.2	-1.5	8.6
	0.0	0.2	-0.3	0.6	0.5
	599.4	3.3	8.1	1.6	15.1
	100.5	-8.4	-0.2	-1.3	0.2
	200.8	-10.8	1.9	-0.1	2.9
Conformité		N	N	N	N
1200	799.8	13.3	12.1	11.0	23.2
	401.0	-4.2	5.3	4.9	8.5
	0.0	0.2	0.0	1.0	0.5
	599.2	3.3	7.9	7.5	13.8
	100.5	-8.7	0.0	-0.5	0.4
	200.8	-10.9	1.8	0.8	2.7
Conformité		N	N	N	N

tableau22: Résultats de l'essai de l'influence du CO₂

Les résultats sont résumés dans le tableau22. Le détail des résultats est présenté en annexe III - F. Ces résultats nous indiquent que, selon la norme, seul

l'analyseur Thermo 2 ne répond pas au critère de performance. Mais les essais qui ont été réalisés à des teneurs en NO et CO₂ autres que celles préconisées par la norme, indiquent qu'aucun des appareils ne répond au critère de performance sur toute la gamme testée.

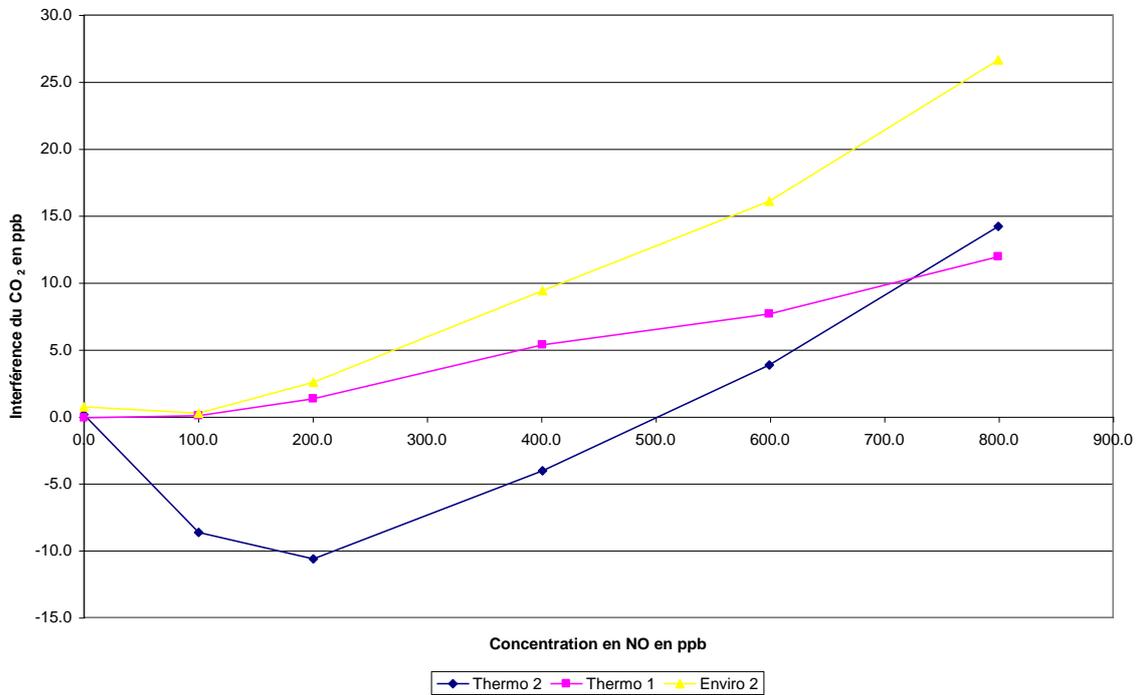


figure 15: Sensibilité des analyseurs à l'influence de 500 ppb de CO₂

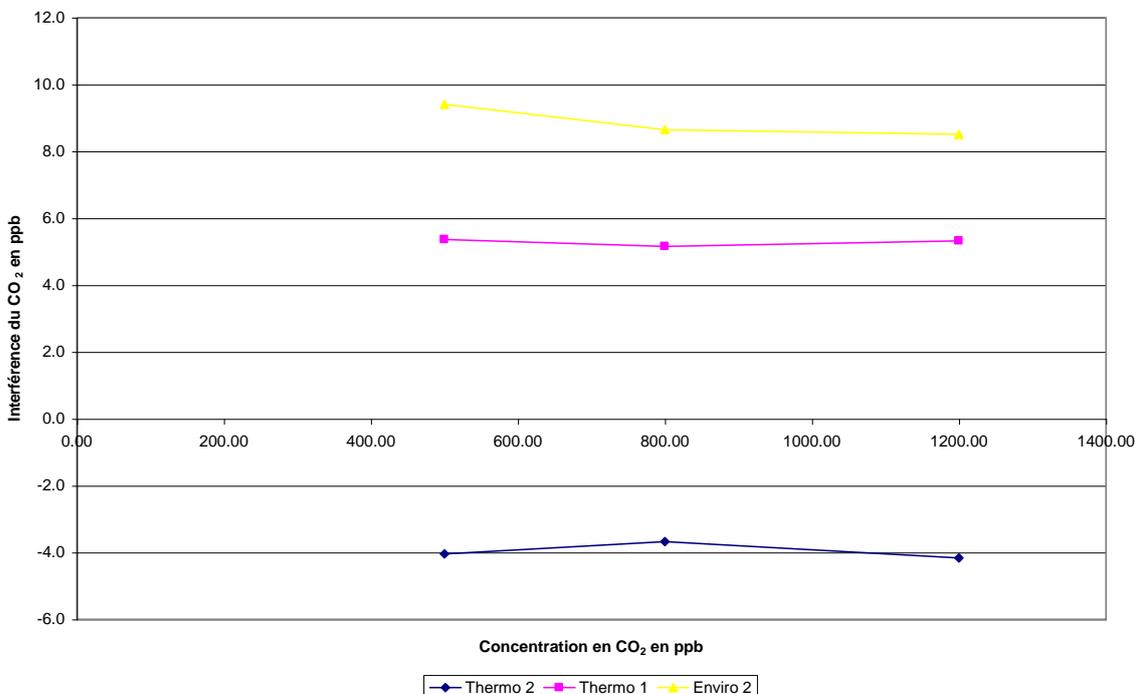


figure 16: Sensibilité des analyseurs Thermo 1, Thermo 2 et Enviro 2 en fonction de la concentration en CO₂ pour une concentration en NO₂ de 400 ppb

La figure 15 et la figure 16 nous permettent de visualiser l'influence de l'interférence du CO₂ sur la réponse de 3 analyseurs:

- figure 15 : la concentration en CO₂ est constante et la concentration en NO varie,
- figure 16 : la concentration en NO est constante et la concentration en CO₂ varie.

La figure 15 montre que l'écart du à la présence de l'interférent CO₂ croit linéairement avec la concentration en NO entre 100 et 800 ppb, sauf pour l'un des appareils (Thermo 2) où l'interférence du CO₂ est négative entre 0 et 200 ppb de NO et croit de façon linéaire entre 200 et 800 ppb de NO. Il n'y a pas d'extrapolation linéaire possible en fonction de la concentration en NO pour ces 3 analyseurs.

En revanche, la figure 16 montre un écart de mesure très stable quelque soit la concentration en CO₂ pour une concentration de 400 ppb de NO. Cet interférent ne semble donc pas constituer une limite à l'utilisation de ces appareils pour étudier la qualité de l'air intérieure.

2.2.7.4 AMMONIAC

L'essai d'interférence de l'ammoniac a été réalisé selon le même mode opératoire que celui concernant l'interférence du CO₂.

La génération de l'ammoniac est particulièrement délicate. Lors de cet essai, aucune interférence n'ayant été observée, un analyseur d'ammoniac a été mis en parallèle des analyseurs testés et l'essai recommencé. Cet analyseur (TGA310-X0 de Omnisens) fonctionne sur le principe d'une excitation par laser des molécules d'ammoniac puis détection photo acoustique. La mesure réalisée a confirmé que la génération de l'ammoniac par dilution n'est pas triviale. En effet, la concentration de la bouteille d'ammoniac utilisée est de 10 ppm. Les dilutions demandées étaient de 10, 50 et 100 ppb. Aucune de ces concentrations n'a pu être mesurée par l'analyseur d'ammoniac. L'ammoniac a probablement interagit avec les parois des tubulures utilisées, et a été entièrement absorbé. Ce type de vérification est complètement inhabituel, et pose deux questions :

- La génération et l'injection d'ammoniac lors des tests d'approbation de type réalisés par les différents laboratoires est-elle fiable ?
- Existe-t-il des cas réels où l'ammoniac n'est pas absorbé par les lignes de prélèvement ?

Dans ce dernier cas, il conviendrait de vérifier si les lignes de prélèvement peuvent être passivées ou non. Les réponses à ces questions sortent du cadre de cette étude. En conclusion, l'essai d'interférence de l'ammoniac n'a pas pu être réalisé.

2.2.8 INFLUENCE DE L'HUMIDITE

Dans la norme NF EN 14625, le critère de performance de l'influence de l'humidité n'existe que pour une humidité relative de 80% et une concentration en NO de

zéro et 100 ppb. L'influence de l'humidité doit être inférieure à 5 ppb. Pour cette étude, 3 taux d'humidité ont été testés pour 6 concentrations de NO (Cf tableau 23).

Humidité en %	Concentration en NO en ppb
30	0
	100
	200
	400
	600
	800
50	0
	100
	200
	400
	600
	800
80	0
	100
	200
	400
	600
	800

tableau 23: Concentrations en ozone et en humidité pour l'essai d'interférence de l'humidité

La configuration du banc d'essai qui a été utilisé est schématisée sur la figure 3. Le mélangeur de gaz est équipé d'un générateur d'humidité interne.

Après calibrage de l'analyseur au zéro et en concentration, un mélange de NO et d'air sec est introduit dans l'analyseur. Avec ce mélange, un mesurage indépendant puis deux mesurages élémentaires sont effectués. Cette opération est répétée pour chaque concentration de NO testée. Puis la même opération est répétée en humidifiant l'air.

Ce cycle est répété pour chaque concentration en humidité.

Entre chaque changement de concentration en humidité, les analyseurs sont alimentés en air ambiant afin que la dérive, constatée par l'influence de l'humidité, se résorbe.

2.2.8.1 CONDITIONS OPERATOIRES

L'essai s'est déroulé selon les conditions opératoires décrites dans le tableau 24.

Paramètres d'essai	Valeurs
--------------------	---------

Humidités testées	30; 50; 80 %
Concentrations du gaz d'essai	ppb
Nombre d'essais	1 à chaque humidité
Nombre de mesurages à chaque tension de test et à chaque concentration	1 mesurage indépendant + 2 mesurages élémentaires
Fréquence d'acquisition	Toutes les 2 secondes

tableau 24: Conditions opératoires pour la détermination de l'influence de l'humidité

2.2.8.2 RESULTATS

Humidité en %	Concentration en NO ppb	Thermo 2	Thermo 1	Enviro 1	Enviro 2
30	796.99	-13.83	-11.09	-15.64	17.98
	418.30	-18.54	-7.37	-9.82	8.67
	0.00	0.16	-0.51	-1.61	0.46
	616.83	-16.92	-10.58	-11.80	13.14
	106.17	-11.99	-3.61	-6.48	1.00
	209.85	-16.74	-4.07	-7.12	1.06
Conformité		N	N	N	N
50	806.97	-40.52	-45.25	-43.51	-19.29
	420.89	-31.20	-23.13	-22.16	-12.44
	0.00	0.16	-0.33	1.91	0.46
	621.69	-38.23	-34.24	-32.59	-16.44
	107.19	-15.20	-7.43	-7.34	-4.88
	212.32	-24.29	-12.99	-13.22	-7.63
Conformité		N	N	N	N
80	814.70	-64.43	-66.93	-54.98	-47.09
	408.60	-40.57	-33.17	-28.14	-26.04
	0.00	0.15	-0.53	1.95	0.47
	611.36	-52.18	-49.27	-38.89	-37.32
	102.57	-16.22	-10.13	-7.01	-7.98
	204.24	-27.42	-16.84	-13.93	-14.74
Conformité		N	N	N	N

tableau 25: Résultats de l'essai de l'influence de l'humidité sur les 4 analyseurs

Les résultats sont résumés dans le tableau 25. Les résultats des tests non prévus par la norme sont donnés en italique. Le détail des résultats est présenté en annexe III - G.

Aucun des analyseurs testés ne répond au critère de performance.

La figure 17 montre que l'interférence due à l'humidité croît linéairement (pente négative) en fonction de la concentration en NO pour une humidité de 80%. Ce phénomène, identique pour une humidité de 50%, ne se retrouve pas pour une humidité de 30%. Il n'est donc pas possible d'établir une règle d'extrapolation de l'interférence de l'humidité valable quel que soit l'humidité rencontrée.

La figure 18 indique que, pour une concentration en NO proche de la valeur limite horaire, l'interférence de l'humidité n'est ni constante, ni linéaire et ce, quelque soit le taux d'humidité appliqué. Ce même profil est retrouvé pour les autres concentrations en NO testées.

Les analyseurs testés ne sont pas certifiés par l'ACIME. En revanche les analyseurs de NO/NOx de Thermo Environmental de dernière génération (Modèle 42i) sont certifiés par l'ACIME en étant équipé d'un sécheur sur l'entrée échantillon. Grâce à ce sécheur, l'appareil neuf répond au critère de performance. L'influence de l'humidité est telle qu'il est important de connaître la durée de vie du sécheur afin de réaliser les maintenances nécessaires à une bonne mesure.

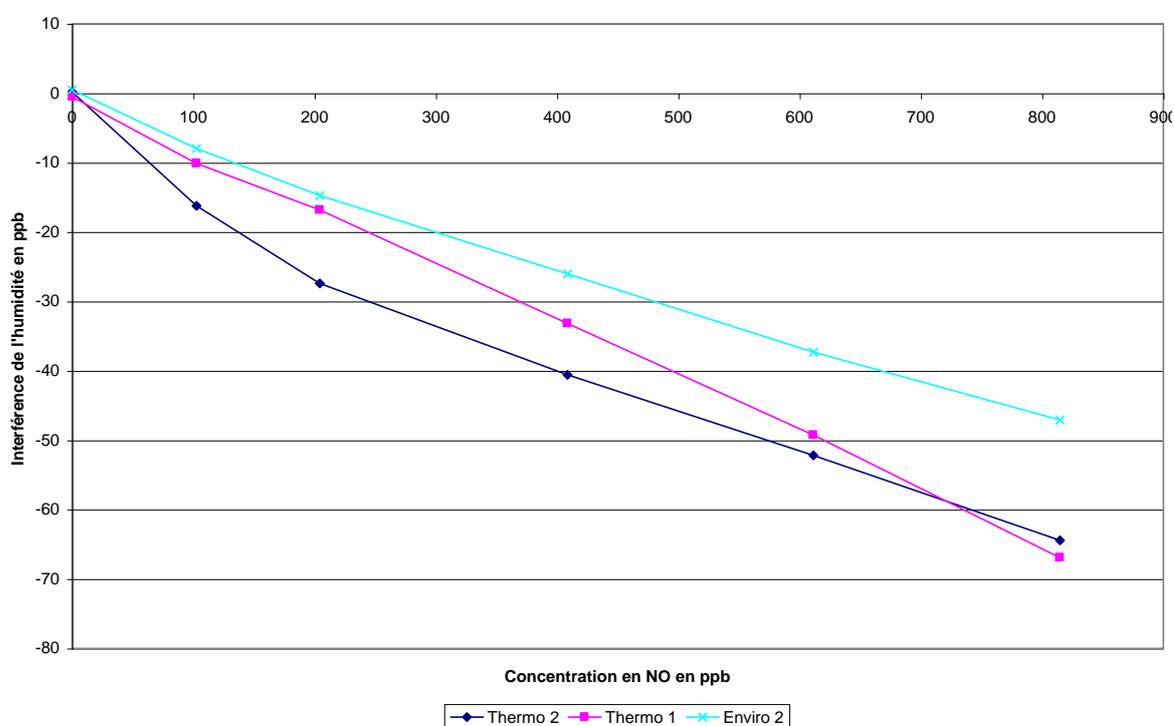


figure 17 : Interférence de l'humidité en fonction de la concentration en NO pour une humidité de 80%

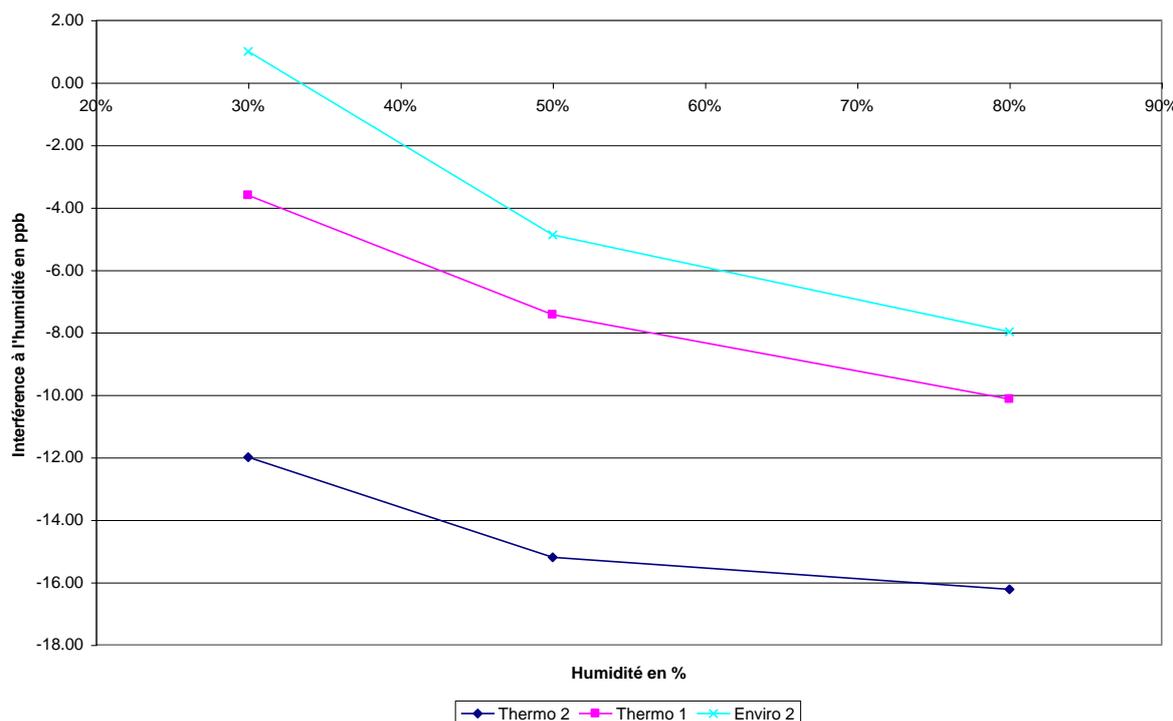


figure 18 Evolution de la sensibilité des analyseurs à l'humidité pour une concentration de 100 ppb de NO

2.2.9 RENDEMENT DU FOUR DE CONVERSION

La norme EN 14211 précise que le rendement du four de conversion doit être déterminé par des mesurages effectués à deux niveaux de concentrations : à environ 50% et 95% de la valeur maximale de l'étendue de mesure certifiée en NO₂. Le rendement de four doit être supérieur ou égal à 98%.

Concentration en NO en ppb	Concentration en ozone en ppb	Rendement du four de conversion en %			
		Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
500	100	100.31	100.72	85.76	96.73
	200	100.54	100.09	79.60	100.70
	300	99.62	100.04	75.66	98.65
	400	99.47	100.18	73.58	99.96
800	100	94.94	100.50	81.59	100.27
	200	100.66	99.24	79.23	99.43
	300	100.16	100.10	77.14	98.07
	400	99.72	98.78	77.18	99.95

tableau 26 : Résultat de l'essai du rendement du four de conversion

Les tests ont été effectués à 2 concentrations de NO (500 et 800 ppb) ainsi qu'à 4 concentrations d'ozone (100, 200, 300 et 400 ppb). Les résultats sont résumés dans le tableau 26. Les analyseurs Thermo 1, Thermo 2 et Enviro 2 répondent correctement au critère de performance quelque que soit la concentration de NO ou d'ozone injectée. En revanche, les rendements de four de l'analyseur Enviro 1 sont bien inférieurs au critère de performance de la norme pour les cas étudiés dans cette étude.

3. CONCLUSION

Les procédures normatives d'évaluation des caractéristiques des analyseurs de gaz utilisés pour la surveillance réglementaire de la qualité de l'air prévoient d'effectuer les tests à deux niveaux de concentration en déterminant (excepté le test de linéarité) : à zéro et en un point en sensibilité, et dans le cas de la détermination de l'influence des interférents, à une concentration en interférent.

Or les budgets d'incertitude doivent être établis pour des niveaux de concentration en déterminant et en interférents ou encore pour des niveaux de facteur d'influence qui ne sont pas forcément ceux appliqués lors de l'évaluation.

L'objectif de cette étude était de déterminer si les caractéristiques de performance d'un analyseur peuvent être extrapolées lors de l'établissement d'un budget d'incertitudes à des niveaux de concentration en déterminant, en interférents, ainsi qu'à des niveaux de facteur d'influence différents de ceux appliqués lors de l'évaluation de l'appareil, et éventuellement de proposer des règles d'extrapolation.

Quatre analyseurs de NOX ont été testés :

- deux, de la marque environnement SA : AC31M et AC 32M
- deux NOX 42C de marque Thermo Environmental.

Au cours des essais, l'analyseur Enviro 1 a présenté de gros problèmes de fonctionnement. En effet, cet appareil n'est pas conforme aux tests de linéarité, ni de rendement de four.

Les essais montrent que la plupart des caractéristiques de performance d'un analyseur ne peuvent pas être extrapolées à des niveaux de concentration en déterminant, en interférent, ou encore à des niveaux de facteur d'influence différents. Il apparaît en effet que les facteurs de sensibilité, à savoir les ratios entre l'écart observé en concentration et la variation en mesurande du facteur d'influence testé, ne sont pas invariants. Nous avons également observé qu'aucun des analyseurs testés n'est conforme au critère d'humidité, ce qui est probablement dû à l'absence de sécheur sur l'entrée échantillon. Notons que désormais, les analyseurs au catalogue des deux marques citées bénéficient d'un sécheur en option, et ne sont conformes à la méthode de référence que munis de cette option.

Par ailleurs, le test d'interférence à l'ammoniac n'a pas été réalisé : nous avons pu constater que l'ammoniac a été entièrement absorbé avant d'arriver aux analyseurs. Il serait sans doute intéressant qu'une vérification de ce type soit systématique et inscrite dans la norme.

Il convient enfin de rappeler qu'afin d'optimiser le nombre d'essais réalisés, les tests ont été couplés avec ceux de l'étude de l'évolution dans le temps des performances des analyseurs. Les tests ont donc été réalisés sur des appareils fonctionnant en routine depuis plusieurs années. Les non conformités observées sur quelques paramètres montrent qu'il pourrait être judicieux de réaliser certains des tests d'évaluation sur des appareils neufs, afin de vérifier si les écarts observés sont dus au vieillissement des appareils ou si certains paramètres fixés dans la procédure d'évaluation méritent d'être adaptés.

LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe I	Fiche descriptive de l'étude	4
Annexe II	Communication au GT12 sur l'utilisation de la formule de correction des réactions NO / O3 dans les lignes de prélèvement	5
Annexe III	Résultats des tests de caractéristiques de performances	19

Annexe I

THEME GENERAL : METROLOGIE – ETUDE DES PERFORMANCES DES APPAREILS DE MESURE

Etude des appareils de mesure automatiques

Objectif

L'objectif de cette étude est de poursuivre les travaux relatifs à l'évaluation des instruments de mesure de polluants atmosphériques, afin de permettre aux utilisateurs d'analyseurs automatiques de disposer des éléments nécessaires pour assurer et optimiser la qualité des mesures, et de s'assurer que les appareils répondent aux exigences des Directives en matière d'incertitude au niveau de la valeur limite.

Ceci implique de connaître :

- les caractéristiques de performances des appareils
- l'influence du niveau de concentration ou du niveau d'interférents sur la valeur de ces caractéristiques
- l'éventuelle dérive dans le temps de ces caractéristiques.

Contexte et travaux antérieurs

- **Variation des caractéristiques de performance des analyseurs en fonction de la concentration** (opération différée en 2006)

Les procédures normatives d'évaluation des analyseurs prévoient d'effectuer les tests à deux niveaux de concentration en mesurande (excepté le test de linéarité) : à zéro et en un point en sensibilité, et dans le cas de la détermination de l'influence des interférents, à une concentration en interférent.

Or les budgets d'incertitude doivent être établis pour des niveaux de concentration en mesurande et en interférents qui ne sont pas forcément ceux appliqués lors de l'évaluation.

L'objectif de l'étude est donc de vérifier si les tests de performance des analyseurs à 2 niveaux de concentration en mesurande sont suffisants pour l'établissement des budgets d'incertitude, et si les valeurs peuvent être extrapolées à des concentrations différentes, et dans quelles limites (en termes de valeur de la caractéristique de performance et de ratio concentration de test/concentration d'extrapolation).

La question se pose notamment pour l'incertitude au niveau de la valeur limite annuelle, qui risque d'être majorée en utilisant les valeurs de caractéristiques de performance obtenues à partir de tests qui sont effectués sur la valeur limite horaire (le test d'influence des interférents, par exemple).

- **Amélioration de la réponse des analyseurs de NO₂ en situation de proximité**

Les études menées en 2004 et 2005 sur les 3 régimes transitoires des analyseurs d'oxydes d'azote", en collaboration avec des AASQA ont mis en évidence des écarts de réponse en NO₂ des analyseurs d'oxydes d'azote par chimiluminescence, notamment pour ceux ayant un fonctionnement "cyclique" (induisant un décalage dans le temps de la mesure de NO_x et de NO), lors de variations rapides de concentration (site de proximité). Cela pose notamment un problème en matière de surveillance du NO₂ au niveau des valeurs limites, la Directive 1999/30/CE imposant un nombre limité de dépassement des seuils.

Suite à des échanges avec les constructeurs sur l'optimisation du paramétrage des analyseurs pour ce type de site, et sur les évolutions techniques possibles, il a été prévu en 2006 de tester le comportement d'analyseurs de nouvelle génération.

Si des écarts sont toujours constatés, les constructeurs devront s'engager à apporter des modifications (il semblerait que ce soit déjà le cas sur un modèle testé par une AASQA), et il conviendra en 2007 de valider ces modifications.

L'étude sera donc à conduire si des modifications sont apportées, dans les prochains mois, sur les analyseurs par les constructeurs pour corriger les écarts de mesure en NO₂; ou en 2008, dans le cas contraire.

- **Evolution dans le temps des performances des analyseurs**

Les évaluations d'analyseurs effectuées dans le cadre des travaux du LCSQA ont montré que certaines caractéristiques de performance des analyseurs ont un impact significatif sur la justesse de la mesure et sur l'incertitude associée aux résultats de mesurage. C'est le cas de la sensibilité aux paramètres d'influence (en particulier température ambiante et interférents).

Or, comme présenté lors du séminaire du 13 octobre 2005 dans le cadre de l'étude "harmonisation des contrôles des analyseurs", compte tenu des moyens nécessaires pour mettre en œuvre ces tests, ceux-ci ne sont pas réalisables à un coût acceptable, par les AASQA (ou pas de façon régulière).

Ils sont déterminés lors de la mise en œuvre d'essais d'approbation de type, mais il conviendrait de vérifier que ces caractéristiques ne se dégradent pas dans le temps, risquant de conduire à des erreurs de mesure et à une augmentation de l'incertitude au-delà du seuil admissible.

Pour cela, un suivi dans le temps de ces caractéristiques est à effectuer sur des analyseurs fonctionnant en station (étude à mener en collaboration avec des AASQA), afin d'évaluer les dérives des coefficients de sensibilité et leur impact sur les écarts et sur l'incertitude de mesure. Ces résultats permettront, également, de définir si ces paramètres peuvent constituer des indicateurs de renouvellement des appareils.

Travaux proposés pour 2007

- **Variation des caractéristiques de performance des analyseurs en fonction de la concentration**

Les travaux proposés en 2007 consistent à déterminer si les caractéristiques de performance d'un analyseur peuvent être extrapolées lors de l'établissement d'un budget d'incertitudes à des niveaux de concentration en mesurande et en interférents différents de ceux appliqués lors de l'évaluation de l'appareil, et de proposer des règles d'extrapolation.

Les caractéristiques de performance prises en compte dans les budgets d'incertitude à différentes concentrations en mesurande (concentrations de la gamme d'approbation de type définie dans les normes et en dehors de cette gamme) seront testées : répétabilité, dérive, sensibilité aux paramètres d'influence et sensibilité aux interférents.

Les essais seront effectués en 2007, pour les analyseurs d'O₃ et en 2008 pour les analyseurs de NO_x. Pour chaque polluant, deux modèles d'analyseurs et deux analyseurs par modèle seront testés.

- **Amélioration de la réponse des analyseurs de NO₂ en situation de proximité**

Suite aux écarts de réponse des analyseurs de NO₂ constatés lors des essais réalisés en 2006 – sur-estimation ou sous-estimation de la concentration en NO₂ liée au décalage dans le temps de la mesure en NO_x et en NO – , si les constructeurs d'analyseurs s'engagent à apporter des modifications aux appareils pour corriger cet artefact, le but des travaux en 2007 sera de réaliser des essais des appareils modifiés afin de valider l'amélioration apportée.

Les essais consisteront à **observer les réponses des analyseurs modifiés lors d'injections de mélanges gazeux avec des fluctuations rapides en NO et NO₂** pour lesquelles les concentrations en NO, NO₂ et NO_x seront maîtrisées et couvriront les gammes de concentration susceptibles d'être rencontrées en site de proximité. Les essais seront réalisés sur 2 appareils de même modèle.

- **Evolution dans le temps des performances des analyseurs**

Afin de déterminer si les facteurs de sensibilité aux interférents et aux paramètres d'influence évoluent dans le temps et peuvent conduire à des écarts de mesure ainsi qu'à un dépassement du seuil d'incertitude maximum fixé dans les Directives, il convient de suivre l'évolution de ces caractéristiques de performances sur des appareils pendant plusieurs années.

Pour ce faire il est proposé de **réaliser des tests sur une durée de 3 ans, sur plusieurs modèles d'analyseurs d'âges différents, mesurant l'ozone et les oxydes d'azote** :

- Analyseurs en station depuis 5 ans pour disposer des valeurs des caractéristiques entre 5 et 7 ans
- Analyseurs en station depuis 8 ans pour disposer des valeurs des caractéristiques entre 8 et 10 ans

Compte tenu des priorités de travail du LCSQA, le programme initialement prévu pour l'exercice 2007 débutera en 2007 et se poursuivra en 2008.

Annexe II

Communication au GT12 sur l'utilisation de la formule de correction des réactions NO / O₃ dans les lignes de prélèvement

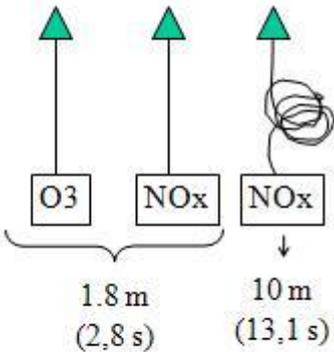


Field study : Annex A of
EN 14625 and EN 14211

Annexe A - WG12 12/2008 - G. Ajmaz



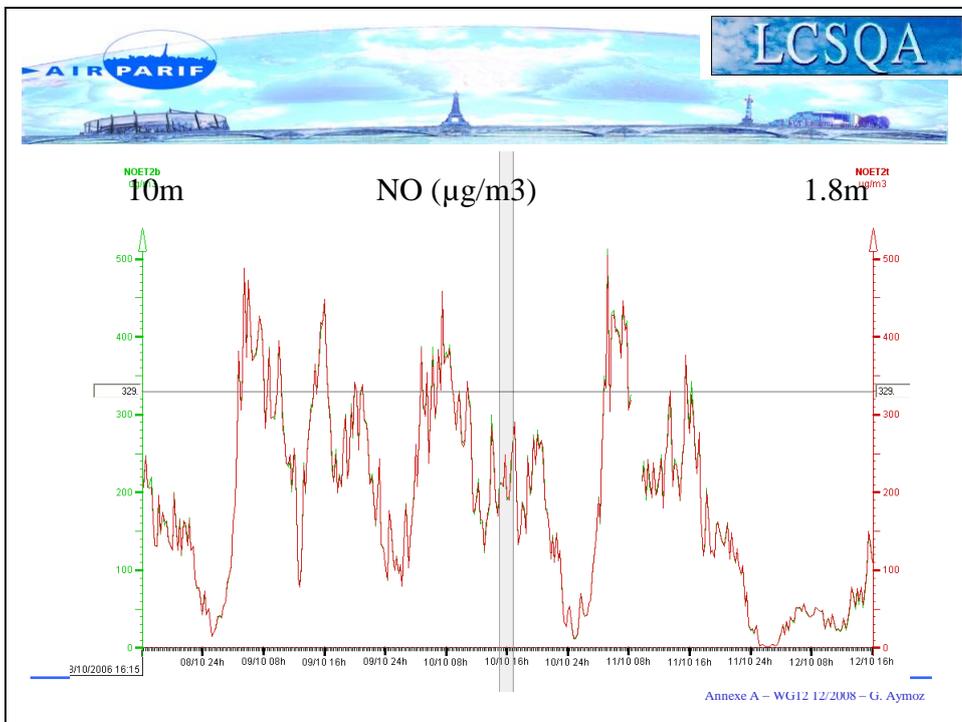
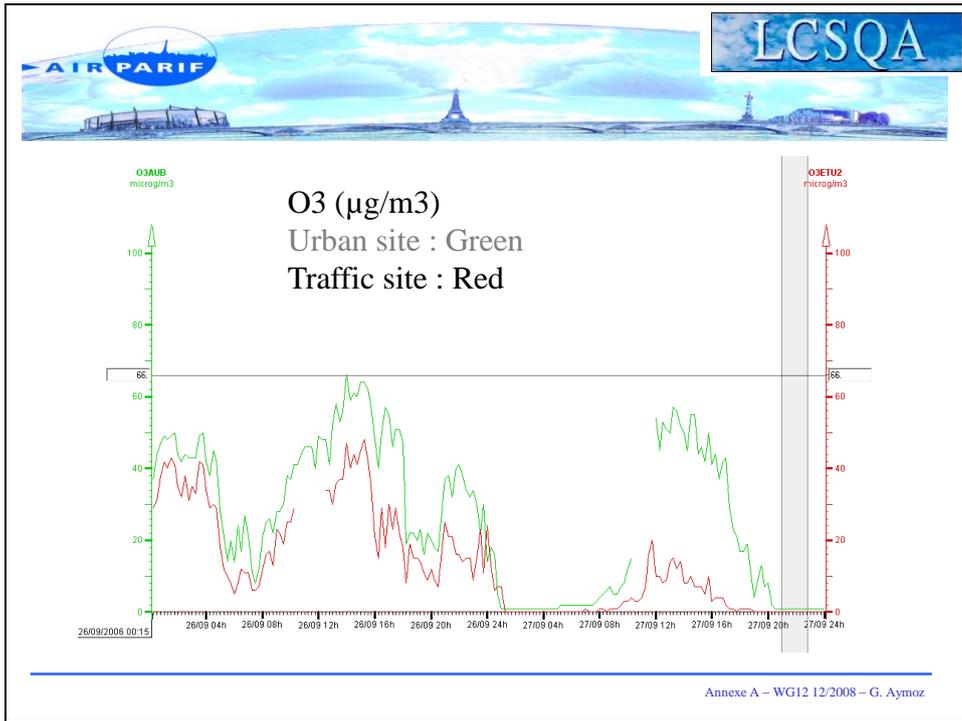
26 sept au 16 oct 2006

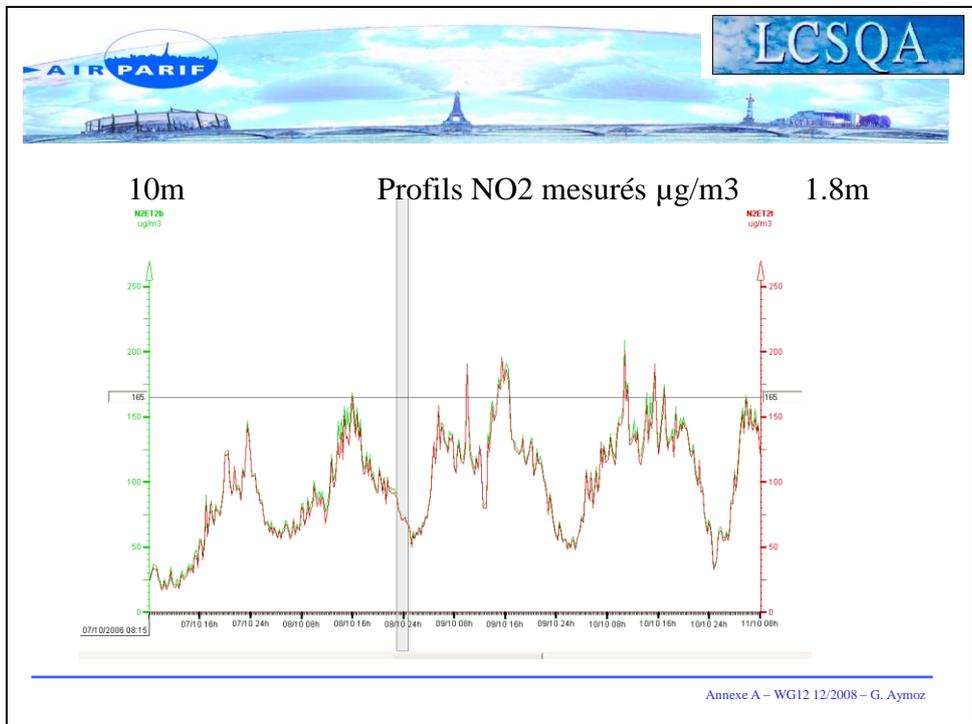
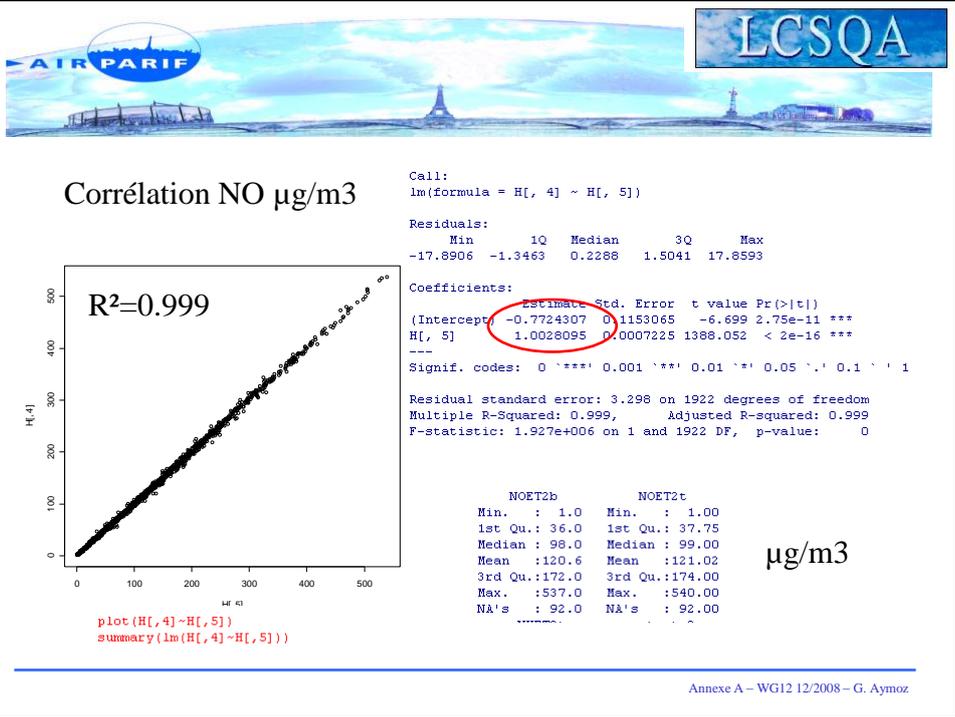


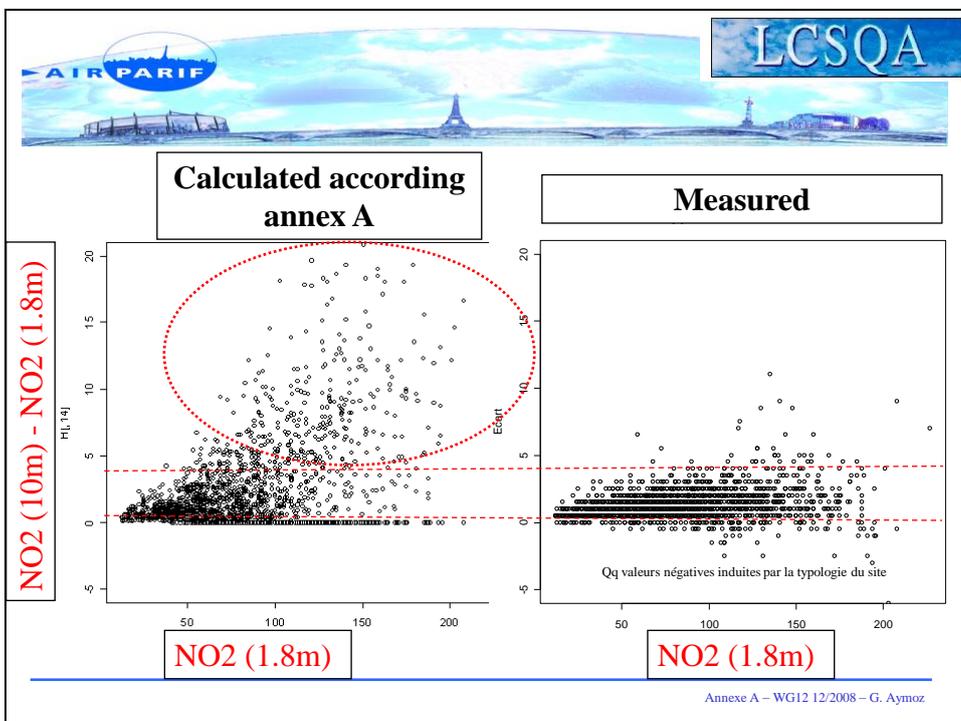
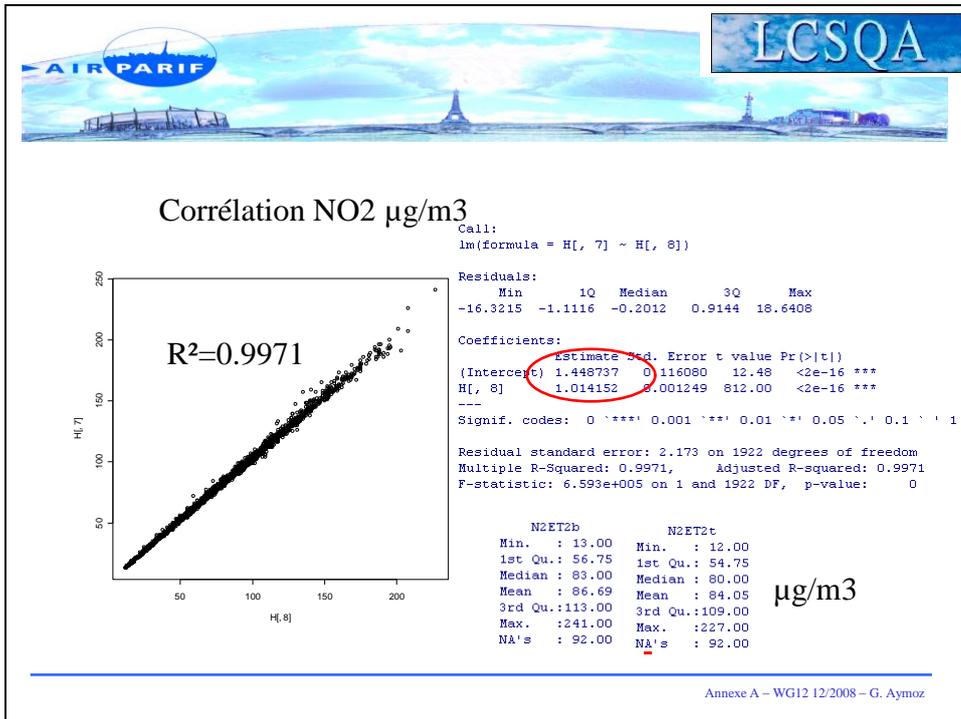
Ligne de prélèvement 4/6mm
Temps interne analyseur voie NO: 1.5s
Temps de résidence ligne:
1.8m = 2.8s
10m = 13.1s
Boucle de retard:
5s

NO_x : MODEL TEI 42i

Annexe A - WG12 12/2008 - G. Ajmaz

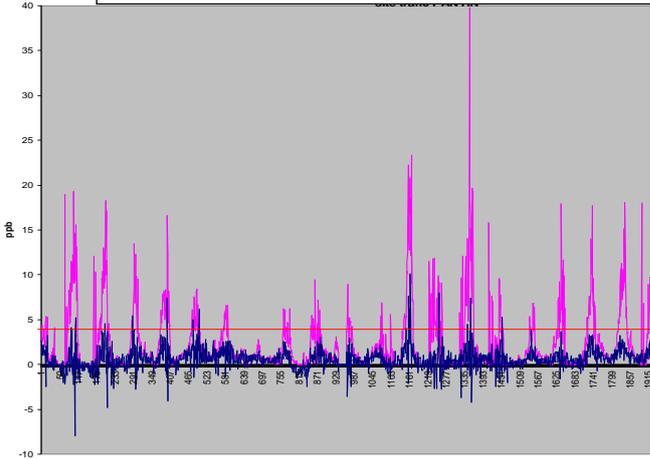








NO2 (1.8m) - NO2 (10m)



Calculated
Measured

Seuil d'acceptation 4ppb

Annexe III

Résultats des tests de caractéristiques de performances

Annexe III - A

Résultats du test temps de réponse

Analyseur Thermo 1

Montée

	Ci ppb	Heure début échelon	Temps au bout duquel est atteint Cf (s)	Cf ppb	$Ci - 0.9(Ci - Cf)$	Temps réponse analyseur (s)
Essai 1	-0.52	15:23:07	800	855.22	770.166	71
Essai 2	-0.47	15:53:08	800	857.1	771.813	78
Essai 3	-0.5	16:23:08	800	853.02	768.168	78
Essai 4	-0.34	16:53:10	800	853.18	768.168	75

Descente

	Ci ppb	Heure début échelon	Temps au bout duquel est atteint Cf (s)	Cf ppb	$0.9 \times (Cf - Ci)$	Temps réponse analyseur (s)
Essai 1	854.17	15:38:08	800	-0.36	85.453	78
Essai 2	852.18	16:08:08	800	-0.48	85.266	77
Essai 3	855.18	16:38:11	800	-0.59	85.577	75
Essai 4	855.18	17:08:09	800	-0.4	85.558	73

Tr : tps réponse moy à la montée (s)	75.5
Tf : tps réponse moy à la descente (s)	75.75
Td : différence relative entre Tr et Tf (%)	0.33

Analyseur Thermo 2

Montée

	Ci ppb	Heure début échelon	Temps au bout duquel est atteint Cf (s)	Cf ppb	$Ci-0.9(Ci-Cf)$	Temps réponse analyseur (s)
Essai 1	0.13	15:23:07	800	869.55	782.478	73
Essai 2	0.14	15:53:08	800	877.54	789.66	72
Essai 3	0.13	16:23:08	800	873.53	786.06	72
Essai 4	0.13	16:53:10	800	871.52	784.251	67

Descente

	Ci ppb	Heure début échelon	Temps au bout duquel est atteint Cf (s)	Cf ppb	$0.9x(Cf-Ci)$	Temps réponse analyseur (s)
Essai 1	871.53	15:38:08	800	0.13	87.14	71
Essai 2	868.53	16:08:08	800	0.14	86.839	71
Essai 3	873.55	16:38:11	800	0.14	87.341	66
Essai 4	874.53	17:08:09	800	0.13	87.44	67

Tr : tps réponse moy à la montée (s)	71
Tf : tps réponse moy à la descente (s)	68.75
Td : différence relative entre Tr et Tf (%)	3.17

Analyseur Enviro 1

Montée

	Ci ppb	Heure début échelon	Temps au bout duquel est atteint Cf (s)	Cf ppb	$0.9 \times (Cf - Ci)$	Temps réponse analyseur (s)
Essai 1	1.05	15:08:08	800	796.4	715.815	21
Essai 2	0.86	15:38:08	800	795.75	715.401	21
Essai 3	0.78	16:08:08	800	791.47	711.621	18
Essai 4	1.11	16:38:11	800	796.48	715.833	21

Descente

	Ci ppb	Heure début échelon	Temps au bout duquel est atteint Cf (s)	Cf ppb	$Ci - 0.9(Ci - Cf)$	Temps réponse analyseur (s)
Essai 1	797.42	15:23:07	800	0.94	79.648	22
Essai 2	792.26	15:53:08	800	0.8	79.146	19
Essai 3	791.73	16:23:08	800	1.13	79.06	22
Essai 4	798.71	16:53:10	800	0.58	79.813	22

Tr : tps réponse moy à la montée (s)	20.25
Tf : tps réponse moy à la descente (s)	21.25
Td : différence relative entre Tr et Tf (%)	4.94

Analyseur Enviro 2

Montée

	Ci	Heure début échelon	Temps au bout duquel est atteint Cf (s)	Cf	$0.9 \times (Cf - Ci)$	Temps réponse analyseur (s)
Essai 1	0.14	15:08:08	800	813.47	731.997	35
Essai 2	-0.13	15:38:08	800	832.34	749.223	36
Essai 3	0.12	16:08:08	800	823.39	740.943	30
Essai 4	0.12	16:38:11	800	819.35	737.307	33

Descente

	Ci ppb	Heure début échelon	Temps au bout duquel est atteint Cf (s)	Cf	$Ci - 0.9(Ci - Cf)$	Temps réponse analyseur (s)
Essai 1	821.79	15:23:07	800	-0.16	82.195	36
Essai 2	826.6	15:53:08	800	-0.13	82.673	36
Essai 3	837.02	16:23:08	800	0.16	83.686	36
Essai 4	834.38	16:53:10	800	0.21	83.417	33

Tr : tps réponse moy à la montée (s)	33.5
Tf : tps réponse moy à la descente (s)	35.25
Td : différence relative entre Tr et Tf (%)	5.22

Annexe III - B

Test de linéarité

Thermo 1

Concentrations générées Ci ppb	(Yi)moy ppb	résidu dc	résidu relatif (dc)rel (% de Ci)	val abs (dc)rel (% de Ci)
799.50	803.55	7.27	0.91	0.91
399.84	401.04	-0.90	-0.23	0.23
0.00	-1.63	1.30	1.30	1.30
599.81	602.43	-3.05	-0.51	0.51
200.48	200.27	-0.60	-0.30	0.30
99.63	98.70	-0.36	-0.36	0.36
948.34	953.44	-3.65	-0.38	0.38
Valeur absolue du résidu relatif max pour Ci différent de 0 (% de Ci)				0.91

Thermo 2

Concentrations générées Ci ppb	(Yi)moy ppb	résidu dc	résidu relatif (dc)rel (% de Ci)	val abs (dc)rel (% de Ci)
799.50	810.57	0.18	0.02	0.02
399.84	401.39	-4.73	-1.18	1.18
0.00	-7.96	8.03	8.03	8.03
599.81	606.12	-2.81	-0.47	0.47
200.48	197.28	-3.73	-1.86	1.86
99.63	94.04	-1.51	-1.52	1.52
948.34	962.94	4.56	0.48	0.48
Valeur absolue du résidu relatif max pour Ci différent de 0 (% de Ci)				1.86

Enviro 1

Concentrations générées Ci ppb	(Yi)moy ppb	résidu dc	résidu relatif (dc)rel (% de Ci)	val abs (dc)rel (% de Ci)
799.50	765.73	53.83	6.73	6.73
399.84	394.88	24.14	6.04	6.04
0.00	23.86	-21.88	-21.88	21.88
599.81	580.43	38.92	6.49	6.49
200.48	209.89	-3.94	-1.96	1.96
99.63	116.31	-13.11	-13.16	13.16
948.34	903.84	-77.96	-8.22	8.22
Valeur absolue du résidu relatif max pour Ci différent de 0 (% de Ci)				13.16

Enviro 2

Concentrations générées Ci ppb	(Yi)moy ppb	résidu dc	résidu relatif (dc)rel (% de Ci)	val abs (dc)rel (% de Ci)
799.50	824.70	-0.11	-0.01	0.01
399.84	411.13	-1.97	-0.49	0.49
0.00	-2.61	2.84	2.84	2.84
599.81	618.06	-2.41	-0.40	0.40
200.48	204.83	-1.38	-0.69	0.69
99.63	100.48	0.32	0.32	0.32
948.34	978.71	2.70	0.28	0.28
Valeur absolue du résidu relatif max pour Ci différent de 0 (% de Ci)				0.69

Annexe III - C
Résultats du test de dérive

	Concentration en NO ppb	Thermo 1	Enviro 1	Thermo 2	Enviro 2
Temps zéro	798.40	797.76	806.89	801.13	810.25
	400.80	401.36	406.74	391.63	406.07
	0.00	-0.50	1.32	0.16	0.39
	599.80	599.38	609.97	593.98	607.67
	199.91	200.40	203.78	188.68	202.01
Temps 12 h	798.39	795.96	797.96	800.14	810.59
	400.75	400.79	400.61	391.60	406.45
	0.00	-0.56	1.88	0.16	0.20
	599.76	598.54	600.24	594.96	608.65
	199.90	200.33	200.31	188.90	201.96

Dérive au bout de 12h

	Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
D _{C0} ppb	-0.06	0.00	0.56	-0.19
D _{C1} ppb	-1.74	-1.00	-9.48	0.53
D _{C2} ppb	-0.51	-0.03	-6.68	0.58
D _{C3} ppb	-0.78	0.97	-10.29	1.18
D _{C4} ppb	-0.01	0.22	-4.03	0.15

Annexe III - D

Résultats du test de l'influence de la tension

Concentration en NO: 799.2 ppb

Tension (V)	Paramètre	Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
V ₁ 230.12	x _{v1} (ppb)	802.09	802.13	806.22	813.62
V ₂ 218.58	x _{v2} (ppb)	804.29	803.91	806.49	815.48
	b_{v1-v2} (ppb/V)	-0.19	-0.15	-0.02	-0.16
V ₃ 207.09	x _{v3} (ppb)	807.49	806.08	808.21	816.68
	b_{v1-v3} (ppb/V)	-0.23	-0.17	-0.09	-0.13
V ₄ 195.95	x _{v4} (ppb)	809.81	809.03	808.47	816.36
	b_{v1-v4} (ppb/V)	-0.23	-0.20	-0.07	-0.08
V ₅ 231.22	x _{v5} (ppb)	804.49	807.57	805.70	816.15
V ₆ 241.13	x _{v6} (ppb)	801.83	804.01	803.54	816.69
	b_{v5-v6} (ppb/V)	-0.27	-0.36	-0.22	0.05
V ₇ 253.29	x _{v7} (ppb)	799.30	800.15	805.44	818.04
	b_{v5-v7} (ppb/V)	-0.24	-0.34	-0.01	0.09
	b_{vmax-vmin} (ppb/V)	-0.18	-0.15	-0.05	0.03

Concentration en NO: 400 ppb

Tension (V)	Paramètre	Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
V ₁ 231.01	x _{v1} (ppb)	403.38	391.22	404.36	408.80
V ₂ 218.81	x _{v2} (ppb)	404.40	392.18	404.73	409.43
	b_{v1-v2} (ppb/V)	-0.08	-0.08	-0.03	-0.05
V ₃ 207.08	x _{v3} (ppb)	405.32	392.73	406.53	409.51
	b_{v1-v3} (ppb/V)	-0.08	-0.06	-0.09	-0.03
V ₄ 195.49	x _{v4} (ppb)	406.36	395.83	406.22	409.12
	b_{v1-v4} (ppb/V)	-0.08	-0.13	-0.05	-0.01
V ₅ 229.71	x _{v5} (ppb)	404.72	394.73	403.31	408.99
V ₆ 241.00	x _{v6} (ppb)	402.99	393.02	401.35	408.93
	b_{v5-v6} (ppb/V)	-0.15	-0.15	-0.17	-0.01
V ₇ 255.94	x _{v7} (ppb)	401.20	390.65	401.36	408.98
	b_{v5-v7} (ppb/V)	-0.13	-0.16	-0.07	0.00
	b_{vmax-vmin} (ppb/V)	-0.09	-0.09	-0.08	0.00

Concentration en NO: 0 ppb

Tension (V)	Paramètre	Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
V ₁ 230.71	x _{v1} (ppb)	-0.48	0.16	1.12	0.20
V ₂ 219.49	x _{v2} (ppb)	-0.51	0.16	1.83	0.20
	b_{v1-v2} (ppb/V)	0.00	0.00	-0.06	0.00
V ₃ 208.44	x _{v3} (ppb)	-0.70	0.16	2.58	0.20
	b_{v1-v3} (ppb/V)	0.01	0.00	-0.07	0.00
V ₄ 194.71	x _{v4} (ppb)	-0.76	0.16	3.09	0.20
	b_{v1-v4} (ppb/V)	0.01	0.00	-0.05	0.00
V ₅ 230.45	x _{v5} (ppb)	-0.55	0.15	1.15	0.20
V ₆ 242.39	x _{v6} (ppb)	-0.70	0.16	0.47	0.20
	b_{v5-v6} (ppb/V)	-0.01	0.00	-0.06	0.00
V ₇ 254.63	x _{v7} (ppb)	-0.69	0.17	-0.18	0.20
	b_{v5-v7} (ppb/V)	-0.01	0.00	-0.05	0.00
	b_{vmax-vmin} (ppb/V)	0.00	0.00	-0.05	0.00

Concentration en NO: 600 ppb

Tension (V)	Paramètre	Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
V ₁ 229.59	x _{v1} (ppb)	601.98	593.46	602.99	610.39
V ₂ 218.83	x _{v2} (ppb)	603.00	595.39	603.10	611.20
	b_{v1-v2} (ppb/V)	-0.10	-0.18	-0.01	-0.08
V ₃ 207.18	x _{v3} (ppb)	604.45	596.87	603.23	611.63
	b_{v1-v3} (ppb/V)	-0.11	-0.15	-0.01	-0.06
V ₄ 195.88	x _{v4} (ppb)	606.06	599.19	601.54	612.13
	b_{v1-v4} (ppb/V)	-0.12	-0.17	0.04	-0.05
V ₅ 230.39	x _{v5} (ppb)	603.63	598.76	599.85	612.26
V ₆ 240.55	x _{v6} (ppb)	601.56	596.09	600.69	612.32
	b_{v5-v6} (ppb/V)	-0.20	-0.26	0.08	0.01
V ₇ 253.44	x _{v7} (ppb)	600.21	593.49	602.04	613.09
	b_{v5-v7} (ppb/V)	-0.15	-0.23	0.10	0.04
	b_{vmax-vmin} (ppb/V)	-0.10	-0.10	0.01	0.02

Concentration en NO: 200 ppb

Tension (V)	Paramètre	Thermo 1	Thermo 2	Enviro 1	Enviro 2
V ₁ 230.41	x _{v1} (ppb)	202.42	190.18	200.71	203.76
V ₂ 218.54	x _{v2} (ppb)	202.78	190.03	201.71	203.96
	b_{v1-v2} (ppb/V)	-0.03	0.01	-0.08	-0.02
V ₃ 207.32	x _{v3} (ppb)	202.58	190.76	202.50	203.90
	b_{v1-v3} (ppb/V)	-0.01	-0.03	-0.08	-0.01
V ₄ 195.47	x _{v4} (ppb)	202.93	191.32	203.43	203.71
	b_{v1-v4} (ppb/V)	-0.01	-0.03	-0.08	0.00
V ₅ 230.57	x _{v5} (ppb)	202.50	191.69	201.10	203.84
V ₆ 241.09	x _{v6} (ppb)	201.93	190.66	200.79	204.06
	b_{v5-v6} (ppb/V)	-0.05	-0.10	-0.03	0.02
V ₇ 255.92	x _{v7} (ppb)	201.06	189.31	199.15	204.40
	b_{v5-v7} (ppb/V)	-0.06	-0.09	-0.08	0.02
	b_{vmax-vmin} (ppb/V)	-0.03	-0.03	-0.07	0.01

Annexe III - E

Résultats du test de l'influence de la température

Niveau de concentration	Température (°C)		Paramètre	Thermo 2	Thermo 1	Enviro 1	Enviro 2
800 ppb	T1	20.66	X(T1)	849.04	847.17	839.98	828.38
	T2	10.67	X(T2)	874.48	840.11	805.22	853.86
			bstT2-T1	-2.55	11.23	-2.99	1.07
	T3	30.72	X(T3)	823.89	846.51	614.79	805.73
			bstT3-T1	-2.50	-0.07	-22.39	-2.25
	T4	40.63	X(T4)	817.01	828.48	0.52	767.82
			bstT4-T1	-1.60	-0.94	-42.03	-3.03
		bstT2-T4	-1.92	-0.39	-26.86	-2.87	
400 ppb	T1	20.66	X(T1)	416.76	425.21	452.76	412.42
	T2	10.67	X(T2)	430.67	419.32	404.74	424.46
			bstT2-T1	-1.39	9.37	-4.13	0.50
	T3	30.72	X(T3)	402.82	426.78	461.44	402.63
			bstT3-T1	-1.39	0.16	0.86	-0.97
	T4	40.63	X(T4)	405.72	427.66	0.50	382.98
			bstT4-T1	-0.55	0.12	-22.64	-1.47
		bstT2-T4	-0.83	0.28	-13.49	-1.38	
0 ppb	T1	20.66	X(T1)	0.08	-0.75	2.29	0.40
	T2	10.67	X(T2)	-0.08	-0.85	3.59	0.30
			bstT2-T1	0.02	0.16	0.11	0.00
	T3	30.72	X(T3)	0.18	0.33	1.00	0.73
			bstT3-T1	0.01	0.11	-0.13	0.03
	T4	40.63	X(T4)	5.25	16.54	0.51	0.47
			bstT4-T1	0.26	0.87	-0.09	0.00
		bstT2-T4	0.18	0.58	-0.10	0.01	

Niveau de concentration	Température (°C)		Paramètre	Thermo 2	Thermo 1	Enviro 1	Enviro 2
600 ppb	T1	20.66	X(T1)	631.89	635.49	679.69	620.56
	T2	10.67	X(T2)	650.46	629.92	607.66	638.48
			bstT2-T1	-1.86	8.86	-6.20	0.75
	T3	30.72	X(T3)	611.58	636.65	629.65	603.75
			bstT3-T1	-2.02	0.11	-4.98	-1.67
	T4	40.63	X(T4)	606.50	627.66	0.52	573.76
			bstT4-T1	-1.27	-0.39	-34.00	-2.34
		bstT2-T4	-1.47	-0.08	-20.26	-2.16	
100 ppb	T1	20.66	X(T1)	97.76	105.37	111.60	102.49
	T2	10.67	X(T2)	100.27	100.63	99.49	102.23
			bstT2-T1	-0.25	7.55	-1.04	-0.01
	T3	30.72	X(T3)	94.90	109.24	117.52	101.85
			bstT3-T1	-0.28	0.38	0.59	-0.06
	T4	40.63	X(T4)	103.29	123.40	0.52	98.33
			bstT4-T1	0.28	0.90	-5.56	-0.21
		bstT2-T4	0.10	0.76	-3.30	-0.13	
200 ppb	T1	20.66	X(T1)	201.20	212.53	225.79	205.16
	T2	10.67	X(T2)	207.93	207.42	200.14	210.27
			bstT2-T1	-0.67	8.13	-2.21	0.21
	T3	30.72	X(T3)	193.18	215.26	232.68	201.63
			bstT3-T1	-0.80	0.27	0.68	-0.35
	T4 =	40.63	X(T4)	201.46	224.65	0.49	191.96
			bstT4-T1	0.01	0.61	-11.28	-0.66
		bstT2-T4	-0.22	0.58	-6.66	-0.61	

Annexe III - F

Résultats du test de l'influence du CO₂

	Concentration en interférent (ppm)	Concentration en mesurande (ppb)	Thermo 2	Thermo 1	Enviro 1	Enviro 2
Sans interférent	0	800.0	813.3	810.6	810.6	821.3
	0	400.8	397.2	405.9	406.8	410.1
	0	0.0	0.2	-0.3	2.1	0.7
	0	599.5	602.9	607.0	608.7	614.6
	0	100.4	91.5	99.9	100.3	100.2
	0	200.7	189.9	201.7	200.9	203.5
Avec interférent	500	799.8	814.0	811.7	811.2	826.4
	500	401.0	397.0	406.4	406.5	410.5
	500	0.0	0.2	-0.1	1.2	0.7
	500	599.4	603.3	607.1	610.0	615.5
	500	100.4	91.8	100.5	101.1	100.7
	500	200.8	190.2	202.1	197.8	203.4
Influence interférent (en ppb)			14.2	11.9	11.4	26.6
			-4.0	5.4	5.4	9.4
			0.2	-0.1	1.2	0.7
			3.9	7.7	10.6	16.1
			-8.6	0.1	0.7	0.3
			-10.6	1.3	-3.0	2.6

	Concentration en interférent (ppm)	Concentration en mesurande (ppb)	Thermo 2	Thermo 1	Enviro 1	Enviro 2
Sans interférent	0	800.1	814.1	811.7	803.7	824.0
	0	400.8	396.6	405.8	401.0	410.1
	0	0.0	0.2	-0.1	1.0	0.6
	0	599.6	602.5	606.7	606.0	616.0
	0	100.4	91.8	100.3	101.7	100.7
	0	200.7	189.9	202.5	201.3	203.1
Avec interférent	800	799.9	813.2	811.9	812.3	824.1
	800	401.1	397.4	406.2	399.6	409.7
	800	0.0	0.2	-0.3	0.6	0.5
	800	599.4	602.6	607.5	601.0	614.4
	800	100.5	92.0	100.3	99.2	100.7
	800	200.8	190.0	202.7	200.7	203.7
Influence interférent (en ppb)			13.3	12.1	12.4	24.2
			-3.7	5.2	-1.5	8.6
			0.2	-0.3	0.6	0.5
			3.3	8.1	1.6	15.1
			-8.4	-0.2	-1.3	0.2
			-10.8	1.9	-0.1	2.9

	Concentration en interférent (ppm)	Concentration en mesurande (ppb)	Thermo 2	Thermo 1	Enviro 1	Enviro 2
Sans interférent	0	800.1	813.1	811.6	805.9	824.0
	0	400.8	396.8	405.8	402.5	411.2
	0	0.0	0.2	-0.3	0.9	0.5
	0	599.5	602.3	607.0	604.2	615.7
	0	100.4	91.6	100.6	99.8	101.0
	0	200.7	190.1	202.4	199.7	202.7
Avec interférent	1200	799.8	813.0	811.9	810.8	823.0
	1200	401.0	396.9	406.4	405.9	409.5
	1200	0.0	0.2	0.0	1.0	0.5
	1200	599.2	602.5	607.2	606.7	613.1
	1200	100.5	91.8	100.5	100.1	100.9
	1200	200.8	189.9	202.7	201.6	203.5
Influence interférent (en ppb)			13.3	12.1	11.0	23.2
			-4.2	5.3	4.9	8.5
			0.2	0.0	1.0	0.5
			3.3	7.9	7.5	13.8
			-8.7	0.0	-0.5	0.4
			-10.9	1.8	0.8	2.7

Annexe III - G

Résultats du test de l'influence de l'humidité

Résultats du test à 30% d'humidité relative

	Concentration en interférent (%)	Concentration en mesurande (ppb)	Thermo 2	Thermo 1	Enviro 1	Enviro 2
Sans interférent	0	834.94	849.80	847.36	845.07	880.81
	0	426.75	422.94	432.26	433.29	447.30
	0	0.00	0.16	-0.74	1.29	0.72
	0	627.67	630.39	635.31	642.80	660.48
	0	107.41	98.04	106.98	108.91	110.75
	0	211.55	200.69	213.32	216.48	220.64
Avec interférent	30	796.99	783.16	785.89	781.34	814.97
	30	418.30	399.76	410.93	408.49	426.97
	30	0.00	0.16	-0.51	-1.61	0.46
	30	616.83	599.91	606.26	605.03	629.97
	30	106.17	94.18	102.57	99.69	107.17
	30	209.85	193.12	205.78	202.73	210.91
Influence interférent (en ppb)			-13.83	-11.09	-15.64	17.98
			-18.54	-7.37	-9.82	8.67
			0.16	-0.51	-1.61	0.46
			-16.92	-10.58	-11.80	13.14
			-11.99	-3.61	-6.48	1.00
			-16.74	-4.07	-7.12	1.06

Résultats du test à 50% d'humidité relative

	Concentration en interférent (%)	Concentration en mesurande (ppb)	Thermo 2	Thermo 1	Enviro 1	Enviro 2
Sans interférent	0	817.53	835.72	830.19	812.64	855.52
	0	419.96	415.66	425.60	426.95	433.41
	0	0.00	0.16	-0.32	2.01	0.21
	0	620.58	624.99	627.94	629.60	643.63
	0	106.56	97.52	106.58	108.04	108.23
	0	210.94	199.64	212.61	212.76	215.75
Avec interférent	50	806.97	766.45	761.72	763.46	787.69
	50	420.89	389.68	397.76	398.72	408.45
	50	0.00	0.16	-0.33	1.91	0.46
	50	621.69	583.46	587.44	589.10	605.25
	50	107.19	91.99	99.76	99.85	102.31
	50	212.32	188.03	199.33	199.10	204.69
Influence interférent (en ppb)			-40.52	-45.25	-43.51	-19.29
			-31.20	-23.13	-22.16	-12.44
			0.16	-0.33	1.91	0.46
			-38.23	-34.24	-32.59	-16.44
			-15.20	-7.43	-7.34	-4.88
			-24.29	-12.99	-13.22	-7.63

Résultats du test à 80% d'humidité relative

	Concentration en interférent (ppm)	Concentration en mesurande (ppb)	Thermo 2	Thermo 1	Enviro 1	Enviro 2
Sans interférent	0	799.14	818.61	815.33	817.41	839.93
	0	400.86	400.69	409.70	409.15	419.91
	0	0.00	0.15	-0.49	1.12	-0.08
	0	599.84	609.27	613.18	614.73	631.51
	0	100.58	92.80	101.43	100.70	103.71
	0	200.32	192.01	204.26	203.84	207.86
Avec interférent	80	814.70	750.26	747.77	759.72	767.60
	80	408.60	368.03	375.43	380.46	382.55
	80	0.00	0.15	-0.53	1.95	0.47
	80	611.36	559.18	562.09	572.47	574.04
	80	102.57	86.35	92.44	95.56	94.59
	80	204.24	176.82	187.40	190.31	189.50
Influence interférent (en ppb)			-64.43	-66.93	-54.98	-47.09
			-40.57	-33.17	-28.14	-26.04
			0.15	-0.53	1.95	0.47
			-52.18	-49.27	-38.89	-37.32
			-16.22	-10.13	-7.01	-7.98
			-27.42	-16.84	-13.93	-14.74