



LCSQA

Laboratoire Central de
Surveillance de la Qualité de l'Air

Comparaison Inter Laboratoires 2025 Niveaux 2 de la chaîne nationale d'étalonnage des analyseurs de polluants atmosphériques gazeux inorganiques

Septembre 2025



Groupement d'intérêt scientifique



«L'expertise au service de la qualité de l'air»



Travaux réalisés par
IMT Nord Europe
dans le cadre du

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

Comparaison Inter Laboratoires 2025

Niveaux 2 de la chaîne nationale d’étalonnage des analyseurs de polluants atmosphériques gazeux inorganiques

Emmanuel Tison – IMT Nord Europe

Vérification : Sabine Crunaire – IMT Nord Europe

Approbation : Nadine Locoge – IMT Nord Europe, 25 septembre 2025

Liste des personnes ayant participé à l’étude

Anthony Lagache – IMT Nord Europe

Table des matières

1	INTRODUCTION	9
2	LES COMPARAISONS INTERLABORATOIRES	10
2.1	Contexte général	10
2.2	CIL organisée par le LCSQA-IMT Nord Europe (site de Douai-Bourseul) ..	10
3	PARTICIPANTS	11
4	CHRONOLOGIE DE L'EXERCICE	12
5	CONFIDENTIALITE DES RESULTATS	12
6	MATERIELS MIS EN OEUVRE	13
6.1	Matériels des participants	13
6.2	Matériels mis en œuvre pour la CIL	15
6.3	Test d'homogénéité de ligne de prélèvement	16
7	CONDITIONS AMBIANTES	19
8	ANALYSE DES DONNEES ET EVALUATION DES RESULTATS	19
8.1	Analyses statistiques	19
8.2	Test de performance	20
9	RESULTATS	21
9.1	Mesures du NO/NO _x en matrice air	21
9.2	Mesures de NO/NO _x en matrice diazote	26
9.3	Mesures de NO ₂	29
9.4	Mesures d'ozone	31
9.5	Mesure de SO ₂	34
9.6	Mesure de CO	35
10	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	36
11	RÉFÉRENCES	37
12	GLOSSAIRE	39
13	LISTE DES ANNEXES	41
ANNEXES #		42

Résumé

Le LCSQA-IMT Nord Europe a organisé un Exercice de Comparaison Inter Laboratoires (ECIL) du 31 mars au 03 avril 2025. Cinq laboratoires français dits « de Niveau 2 » de la chaîne nationale d'étalonnage d'analyseurs de polluants atmosphériques réglementés (gaz inorganiques), un laboratoire privé national, un laboratoire étranger (Belgique) et le LCSQA (représenté par IMT Nord Europe) ont participé à l'exercice de comparaison :

- Le Laboratoire Métrologie d'AtmoSud – Établissement de Martigues ;
- Le laboratoire d'étalonnage d'Air Pays de la Loire (APL) ;
- Le Laboratoire Interrégional de Métrologie (LIM) d'ATMO Grand Est ;
- Le Laboratoire Grand Sud-Ouest (LGSO) d'ATMO Occitanie ;
- Le Laboratoire InterRégional d'Étalonnage (LIRE) d'Airparif ;
- Un laboratoire privé national ;
- Le laboratoire Institut Scientifique de Service Public (ISSeP), Liège – Belgique ;
- Le LCSQA-IMT Nord Europe (organisateur et participant, en charge de la mise en œuvre du système de génération).

Les résultats ont été anonymisés après accord avec l'ensemble des participants.

L'objectif pour chaque participant est de mesurer avec ses propres moyens analytiques différentes concentrations de gaz (air de zéro, NO/NO_x/NO₂, O₃, SO₂ et CO) générées par le LCSQA-IMT Nord Europe à l'aide d'une source spécifique (dispositif de dilution sur gaz sec) et distribuées à l'aide d'une ligne d'échantillonnage adaptée aux CIL et élaborée par le LCSQA-IMT Nord Europe.

Pour chaque gaz, le point zéro a consisté en une mesure sur air de zéro provenant d'une bouteille d'air de qualité type Air Scientifique 6.0 (Messer) (air de zéro choisi comme référence conformément au consensus national fait dans le cadre de la chaîne nationale d'étalonnage). Hormis pour les oxydes d'azote (NO+NO_x), chaque gaz a fait l'objet d'une génération individuelle. Pour les oxydes d'azote, l'effet « matrice » (air ou diazote) a été étudié à un niveau de concentration de l'ordre de 200 et 800 ppb en NO_x.

Les résultats analysés par des calculs statistiques (test de Grubbs, écart normalisé) sur l'ensemble des participants n'ont pas révélé de valeurs aberrantes pour l'ensemble des polluants testés et pour l'ensemble des participants à l'exception d'un participant qui s'est retrouvé en dehors des tolérances acceptées pour l'écart normalisé sur le niveau « 0 ppb en NO_x/N₂ », et aux niveaux « 100 ppb et 350 ppb en SO₂ », ainsi que pour le test résiduel normalisé maximum aux niveaux de concentration « 800 ppb en NO/air » et « 0 ppb en NO_x/N₂ et 200 ppb, 800ppb en NO/N₂ ».

Abstract

LCSQA-IMT Nord Europe organized an Inter-Laboratory Comparison (ILC) from March 31st to April 3rd, 2025. The objective for each participant was to measure with his own analytical means different concentrations of gases in zero air, NO/NO_x/NO₂, O₃, SO₂ and CO generated using a specific source (dry gas dilution device) and distributed using a sampling line suitable for ILC and designed specifically.

A private French laboratory, 1 foreign laboratory (Belgium), LCSQA (represented by IMT Nord Europe, host and participant, in charge of the implementation of the generation system) and five French laboratories so-called "Level 2" of the national calibration chain for atmospheric pollutants (inorganic gases), took part in the ILC:

- Laboratoire Métrologie, AtmoSud – Martigues (France);
- Laboratoire étalonnage, Air Pays de la Loire – Nantes (France);
- Laboratoire Interrégional de Métrologie, ATMO Grand Est – Strasbourg (France);
- Laboratoire Grand Sud-Ouest, ATMO Occitanie – Toulouse (France);
- Laboratoire InterRégional d'Étalonnage (LIRE), Airparif – Paris (France).

The Belgian laboratory is:

- Laboratoire Institut Scientifique de Service Public, ISSeP – Liege (Belgium).

The zero-air measurement consisted on measure on zero air coming from an air cylinder type Alpha2 or equivalent (zero air chosen as reference in accordance with the national calibration chain). Except for nitrogen oxides, each gas has been individually generated by diluting. For nitrogen oxides, the "matrix" effect (air or nitrogen) has been studied at a concentration level of around 200 and 800 ppb in NO_x.

The results have been anonymized after agreement of all participants.

The results analyzed by statistical calculations (Grubbs test, normalized deviation) did not reveal outliers for all the pollutants tested and for all the participants except for one participant outside the accepted tolerances for the standard deviation on the level "0 ppb in NO_x / N₂" and levels "100 and 350 ppb in SO₂/ air as well as for the maximum standardized residual test at the concentration levels « 800 ppb in NO/air » and « 0 ppb in NO_x/N₂ and 200 ppb, 800ppb in NO/N₂ »

1 Introduction

La chaîne d'étalonnage nationale concernant les analyseurs des polluants atmosphériques gazeux inorganiques SO₂, NO/NO₂/NO_x, O₃ et CO a pour principaux objectifs :

- d'assurer la traçabilité des mesures réglementaires effectuées dans l'air ambiant ;
- de permettre aux utilisateurs des analyseurs de maîtriser leurs moyens de mesure ;
- de connaître l'incertitude liée à l'étalonnage de leurs appareils.

Le principe général de l'organisation de la chaîne d'étalonnage est décrit par la figure 1.

Elle s'articule autour de 3 maillons (pour SO₂, NO/NO₂/NO_x et CO) :

- Le niveau 1 (le Laboratoire National de métrologie et d'Essais),
- Le niveau 2 (un laboratoire d'étalonnage accrédité selon la norme NF EN ISO/IEC 17025 [1]),
- Le niveau 3 (l'analyseur de polluant atmosphérique gazeux tel que celui utilisé par une Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air).

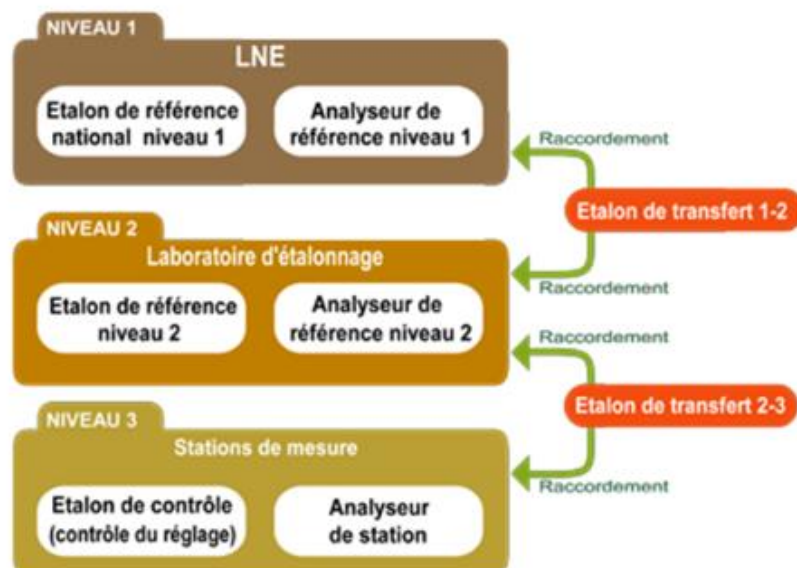


Figure 1 : Principe de la chaîne nationale d'étalonnage des analyseurs de polluants atmosphériques gazeux

Pour O₃, l'étalon de référence du laboratoire dit « de niveau 2 » est directement raccordé au niveau 1 à une périodicité donnée.

Dans une logique d'accréditation selon la norme NF EN ISO/IEC 17025 (2017) mais aussi pour répondre à leur démarche qualité, les différents laboratoires doivent participer à des exercices de comparaison de façon périodique afin d'évaluer leur performance analytique. Le paragraphe 7.7.2 de cette norme stipule l'obligation de participer à des programmes de comparaisons entre laboratoires ou d'essais d'aptitude en tant qu'outil permettant d'assurer la qualité des résultats.

Enfin, l'article 16 de l'arrêté modifié du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant requiert des AASQA la participation aux comparaisons inter laboratoires préconisées par le LCSQA.

2 Les comparaisons interlaboratoires

2.1 Contexte général

Une Comparaison Inter Laboratoires est un exercice d'aptitude mettant en comparaison plusieurs laboratoires et s'inscrivant dans la démarche qualité des laboratoires.

Les comparaisons inter laboratoires correspondent aussi à un besoin en terme :

- d'évaluation des performances analytiques des laboratoires sur un même échantillon homogène ;
- d'identification des problèmes au sein d'un laboratoire et éventuellement le lancement d'actions d'amélioration ;
- de comparaison de méthodes ;
- d'amélioration de la confiance (en interne pour le laboratoire mais aussi en externe vis à vis de ses clients) ;
- de détection des différences entre laboratoire ;
- de validation des incertitudes de mesure.

La nécessité d'une confiance permanente dans la performance des laboratoires est non seulement essentielle pour les laboratoires et leurs clients, mais également pour les autres parties prenantes, comme les organismes d'accréditation des laboratoires.

2.2 CIL organisée par le LCSQA-IMT Nord Europe (site de Douai-Bourseul)

L'organisateur de la présente CIL est le LCSQA-IMT Nord Europe. Elle s'est tenue du 31 mars au 3 avril 2025, au Laboratoire de Métrologie des Polluants Atmosphériques (LMPA) du Centre d'Enseignement, de Recherche et d'Innovation Energie Environnement (CERI EE) de l'IMT Nord Europe, intégrant le plateau technique CaMEROne « CompARison of MEthods for measuring Regulated Or emergiNg gasEous pollutants ».

L'objectif pour les participants a consisté à mesurer (avec ses propres moyens) différentes concentrations de gaz dans une matrice donnée (NO/air, NO_x/air, NO/N₂, NO_x/N₂, NO₂/air, O₃/air, SO₂/air CO/air) générées par le LCSQA-IMT Nord Europe à l'aide d'une source spécifique (dispositif de dilution sur gaz sec par régulation de débit massique). La notion de « gaz sec » correspond à une valeur en Humidité Relative inférieure ou égale à 10 % (mesure assurée par l'organisateur). Chaque participant a au préalable étalonné ses moyens de mesure avec ses propres étalons.

Pour un polluant donné, après un temps de stabilisation d'**au minimum 10 min**, chaque participant relève la valeur de concentration qu'il mesure en s'assurant de la stabilité du signal lors du relevé.

Pour chaque gaz, le point zéro consiste en une mesure **sur air de zéro provenant d'une bouteille d'air type air scientifique** (ex. : 6.0 Messer).

Hormis pour les oxydes d'azote (NO+NO_x), chaque gaz a fait l'objet d'une génération individuelle.

Pour les oxydes d'azote, l'effet « matrice » est étudié, par génération de NO en matrice air puis en matrice diazote provenant d'une bouteille de diazote scientifique 6.0 Messer.

Le Tableau 1 ci-dessous reprend les points nominaux de génération des concentrations et les conditions de génération par polluant de la CIL :

Tableau 1 : Gammes de concentrations des polluants gazeux générés durant le CIL 2025 et conditions de génération

Polluant gazeux	Gaz de dilution (gaz sec)	Points nominaux couverts (ppb / ppm ¹ pour CO)
NO - NO_x *	Air	0 - 200 - 800 - 800
	N ₂	0 - 200 - 800
	Air	arrêt étalonnage puis 50
NO₂ - NO_x **	Air	0 - 30 - 200
O₃	Air	0 - 50 - 100 - 200
SO₂	Air	0 - 100 - arrêt étalonnage puis 350
CO	Air	0 - 9

* : La teneur en NO_x est voisine de la teneur en NO

** : La teneur en NO_x est voisine de la teneur en NO₂

L'ajout éventuel de points (notamment en dessous ou au-dessus du point d'étalonnage usuel) est décidé en concertation avant le démarrage de la CIL.

3 Participants

Cinq laboratoires français dits « de Niveau 2 » de la chaîne nationale d'étalonnage d'analyseurs de polluants atmosphériques réglementés (gaz inorganiques), un laboratoire privé national, un laboratoire étranger (Belgique) et le LCSQA (représenté par IMT Nord Europe) ont participé à l'exercice de comparaison :

- Laboratoire Métrologie d'AtmoSud – Etablissement de Martigues (F. Marty – M. Ferrero) ;
- Laboratoire d'étalonnage d'Air Pays de la Loire (APL) (M. Charuel) ;
- Laboratoire Interrégional de Métrologie (LIM) d'Atmo Grand Est (S. Dubost et K. Darigny) ;
- Laboratoire Grand Sud-Ouest (LGSO) d'Atmo Occitanie (R. Lesca) ;
- Laboratoire InterRégional d'Etalonnage (LIRE) d'Airparif (C. Liegey, G. Lacondemine et P. Magdelenat) ;
- Un laboratoire privé national ;
- Laboratoire Institut Scientifique de Service Public (ISSeP), Liège – Belgique (D.Huygen, L. Spanu, N. Tognocchi) ;
- LCSQA-IMT Nord Europe : organisateur et participant, en charge de la mise en œuvre du système de génération (E. Tison ; A. Lagache (observateur)).

¹ Dans le SI, les unités de mesures doivent être exprimées en fraction molaire (nmol/mol et/ou μmol/mol). Cependant, par simplicité les mesures indiquées et comparées dans ce rapport seront en ppb et/ou ppm (1ppb = 1nmol/mol ; 1 ppm = 1μmol/mol).

4 Chronologie de l'exercice

L'exercice s'est déroulé du 31 mars au 3 avril 2025 comme suit :

31 mars 2025	avant 16h00	Installation et mise en chauffe des matériels
	à 16h00	Présentation et validation des conditions de l'exercice
1^{er} avril 2025	de 8h30 à 18h00	Etalonnage des analyseurs de NO/NO _x et NO ₂
		Génération des concentrations de NO/NO _x
		Etalonnage spécifique NO
		Génération concentration NO/air (50 ppb)
		Etalonnage spécifique NO ₂
		Génération des concentrations de NO ₂ /NO _x
2 avril 2025	de 8h30 à 13h00	Etalonnage des analyseurs CO et SO ₂
	14h30 – 16h30	Génération des concentrations CO
		Génération des concentrations SO ₂ (0-100 ppb)
		Etalonnage spécifique SO ₂
		Génération concentration SO ₂ (350 ppb)
		Désinstallation des matériels
	Bilan - Discussion	
3 avril 2025	jusqu'à 17h00	Restitution des résultats au LMPA par email

5 Confidentialité des résultats

Lors de la validation des conditions de l'exercice, il a été décidé à l'unanimité la non confidentialité des résultats et du non affichage de l'identité des participants. Ainsi pour la suite de ce rapport, une lettre a été attribuée aléatoirement à chaque participant. Celle-ci a été transmise par courriel avec accusé de réception aux personnes impliquées dans l'exécution du programme.

6 Matériels mis en oeuvre

6.1 Matériels des participants

Chaque participant a mesuré par ses propres moyens les concentrations générées en gaz. Le Tableau 2 ci-dessous donne les informations sur les matériels de mesure et le Tableau 3 sur les matériels d'étalonnage utilisés par les participants.

Tableau 2 : Liste de l'appareillage des différents participants

participants	Polluants	ANALYSEURS		
		fabricant	type	n° série
G	NO_NOx	TELEDYNE	200P	146
F	NO_NOx	TEI	42i	1181560004
	O3	ENVEA	O342e	132
	SO2	HORIBA	APSA-370	PPYBFLC6
	CO	HORIBA	APMA-370	7EYS000R
	NO2	ENVEA	AS32M	103
E	NO_NOx	Envea	AC32e	1217
	O3	Envea	O342e	39
	SO2	Thermo	43i	1317958420
	CO	Thermo	48i	1317958421
	NO2	Envea	AS32m	52
D	NO_NOx	Envea	AC32M	3191
	O3	Envea	O342e	118
	SO2	Teledyne	T100	5213
	CO	Envea	CO12e	1261
	NO2	Envea	AS32M	71
C	NO_NOx	API/Teledyne	T200UP	208
	O3	HORIBA	APOA370	VTM1YKMB
	SO2	HORIBA	APSA370	U1KLOGFH
	CO	HORIBA	APMA370	W2R2J0A4
	NO2	/	/	/
B	NO_NOx	HORIBA	APNA370	5A1E0TYF
	O3	HORIBA	APOA370	EGRGKY1M
	SO2	HORIBA	APSA370	112BPFAL
	CO	HORIBA	APMA370	TYLD0H4A
	NO2	HORIBA	APNA370	5A1E0TYF
A	NO_NOx	Thermo	42i	1182080011
	O3	Thermo	49i	1182080010
	SO2	Thermo	43i	1182080008
	CO	Thermo	48i	1182080009
	NO2	Thermo	42i	1182080011
H	NO_NOx	TELEDYNE	T200UP	219
	O3	Thermo	49i	CM22497093
	SO2	TELEDYNE	T100	6356
	CO	PICARRO	G2401	3261-CFKAD52317
	NO2	TELEDYNE	T200UP	219

participants	Polluants	fabricant	GAZ ZERO						GAZ ETALON					
			type	n° série	niveau de concentration (ppb) (CO ppm)	incertitude élargie (ppb) (CO ppm)	pression (bar)	fabricant	type	n° série	concentration (ppb) (CO ppm)	incertitude élargie (ppb) (CO ppm)	pression (bar)	niveau étalon chaîne
G	NO_NOx	messer	scientific	54295382	0		150	MESSER	NO/N2	56995630	810,4/810,4	6,2/6,4	100	2
F	NO_NOx	Air liquide	Alphagaz 2 AIR B20	H53Y8AE	0,0	1,2	/	Air liquide	B11	H3NA70M	179/181,7	5,0/5,0	75	ET2-3
	O3	Air liquide	Alphagaz 2 AIR B20	H53Y8AE	0,0	1,2	/	Gasmot (Ansysco)	KTGPT	17821119	108,7	3,8		ET2-3
	SO2	Air liquide	Alphagaz 2 AIR B20	H53Y8AE	0,0	1,2	/	Air liquide	B11	H4F56D4	104,4	4,0	130	ET2-3
	CO	Air liquide	Alphagaz 2 AIR B20	H53Y8AE	0,00	0,12	/	Air liquide	B11	H44C9A1	9,15	0,30	31	ET2-3
	NO2	Air liquide	Alphagaz 2 AIR B20	H53Y8AE	0,0	1,2	/	Air liquide	B11	H44MWND	206,80	9,0	26	ET2-3
E	NO_NOx-200	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	AirLiquide	B20	H4XEWRN	180,2	1,9	155 bar	1->2
	NO_NOx-800	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	AirLiquide	B20	H4H5L6C	811,3	6,5	75 bar	1->2
	NO_NOx-50	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	AirLiquide	B20	H3XF7Y8	48,9	1,2	150 bar	1->2
	O3-50	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	1170530002	50,3	1,4		2
	O3-100	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	1170530002	99,5	2,4		2
	O3-120	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	1170530002	119,6	2,8		2
	O3-150	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	1170530002	149,1	3,4		2
	O3-200	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	1170530002	198,9	4,5		2
	O3-240	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	1170530002	238,7	5,3		2
	O3-50	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	736226695	50	1,4		2
	O3-100	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	736226695	100,2	2,3		2
	O3-120	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	736226695	119,8	2,8		2
	O3-150	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	736226695	149,9	3,4		2
	O3-200	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	736226695	199,4	4,4		2
	O3-240	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	Thermo	49iPS	736226695	239,6	5,3		2
	SO2-100	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	AirLiquide	B20	H479WU5	101,6	1,4	95 bar	1->2
	CO-9	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	AirLiquide	B20	H3XYL81	9,11	0,069	120 bar	1->2
	NO2-200	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	AirLiquide	B20	H27HUYM	254,30	2,50	10 bar	1->2
NO2-200	AirLiquide	B11	H6FY8YD	0	1	145 bar	AirLiquide	B20	H3W1650	228,40	2,30	140 bar	1->2	
D	NO_NOx	Air Liquide	M20	H60D3E8	0	< 1	130	Air Liquide	M20	H3XETNM	201,5_201,7	3,0_3,0	110	2
	O3	Air Liquide	M20	H60D3E8	0	< 1	130	Thermo S.	49iPS	0629719091	99,8	2,4		2
	SO2	Air Liquide	M20	H60D3E8	0	< 1	115	Air Liquide	M20	H3W1342	90,3	2,0	95	2
	CO	Air Liquide	M20	H60D3E8	0	< 0,1	115	Air Liquide	M20	H4FDM43	9,35	0,15	90	2
	NO2	Air Liquide	M20	H60D3E8	0	< 1	130	Air Liquide	M20	H525TRO	214,2	3,9	135	2
C	NO_NOx	Air Liquide	Air scientifique 6,0	57757769	0	0,16	100	Air Liquide	B11	H4GM9G4	200,4/200,7	3,9/4,1	110	ET2-3
	O3	API / Thermo	T703	336	0	1,6		API / Thermo	T703	T703	111,6	3,9		ET2-3
	SO2	Air Liquide	Air scientifique MESSER	57757769	0	1,6	100	Air Liquide	B11	H32565H	107,5	2,9	50	ET2-3
	CO	Air Liquide	Air scientifique MESSER	57757769	0	1,6	100	Air Liquide	B11	H4G48WR	9,13	0,23	50	ET2-3
B	NO_NOx		CA + Purafil					AirProduct	b20	DY45HM9	700,3	16,7		transfert pour réseau N3
	O3		CA					API T753U	Gen. O3	68	199,4	5,2		transfert pour réseau N3
	SO2		CA					AirProduct	b20	APE1225044	312,2	9,0		transfert pour réseau N3
	CO		Silicagel + cart. Int. Horiba					AirProduct	b20	EF47YEX	20,2	0,60		transfert pour réseau N3
	NO2		CA + Purafil					NEANT	NEANT	NEANT	NEANT			
A	NO_NOx	Air Liquide	Bouteille S11	H4DN367	0	0		Air Liquide	S11	H44KUOK	196	3,6	45	3
	O3	Teledyne API	T703	402	0	0		Teledyne API	T703	702	99,0	2,8		3
	SO2	Air Liquide	Bouteille S11	H4DN367	0	0		Air Liquide	S11	H4GM0PL	113	2,9	75	3
	CO	Air Liquide	Bouteille S11	H4DN367	0	0,1		Air Liquide	S11	H1513UD	8,90	0,21	150	3
	NO2	Air Liquide	Bouteille S11	H4DN367	0	0		Air Liquide	S11	H44N4E7	198,0	3,4	75	3
H	NO_NOx	messer	Air scientifique 6.0	5746399	0,0/0,0	<1,0	150	Air liquide	B11	H324MU7	194,6/194,6	1,9	90	2
	O3	messer	Air scientifique 6.0	5746399	0,0	<1,0	150	Thermo	49iPS	1182890030	98,1	2,4	-	2
	SO2	messer	Air scientifique 6.0	5746399	0,0	<1,0	150	Air liquide	B11	H4FRK9K	179,9	1,6	50	2
	CO	messer	Air scientifique 6.0	5746399	0,0	<0,1	150	Air liquide	B11	H4DNXR7	9,020	0,076	110	2
	NO2	messer	Air scientifique 6.0	5746399	0,0	<1,0	150	Air liquide	B11	H3W14NC	201,6	2,0	90	2

6.2 Matériels mis en œuvre pour la CIL

La génération des polluants couverts par la CIL est basée sur le principe de la dilution d'un mélange gazeux à haute concentration (HC) en polluant par un gaz épuré (air ou diazote).

Comme le montre la Figure 2 ci-dessous, le plateau technique CaMEROne du LMPA est divisé en deux parties. La première est appelée « zone de génération » et la seconde « zone de mesures ».

Zone de génération

Zone de mesures

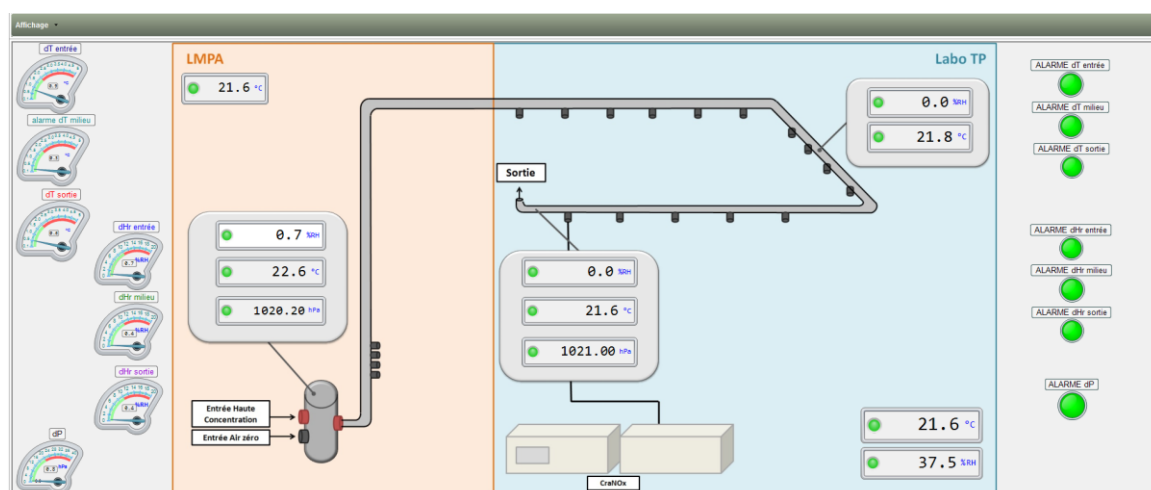


Figure 2 : Zones de génération (à gauche) et de mesures (à droite) du plateau technique CaMEROne (LMPA)

Dans cet exercice, les polluants gazeux à haute concentration soumis à dilution sont NO/NO_x, NO₂, O₃, SO₂ et CO.

Le gaz de dilution est un air épuré chimiquement conformément à la norme NF X 43-055². Dans le cas des oxydes d'azote, le diazote (généralisé à l'aide d'un cylindre) servira également de gaz de dilution en vue de l'étude de l'effet « matrice ».

L'ordre de grandeur des concentrations a été convenu en concertation avec les participants avant l'essai.

² NF X43-055 (Février 2017) « Air ambiant - Métrologie appliquée au mesurage des polluants atmosphériques gazeux - Prélèvement d'air ambiant et mise en œuvre des gaz d'étalonnage »

La Figure 3 donne le principe général de mise en œuvre des polluants gazeux générés :

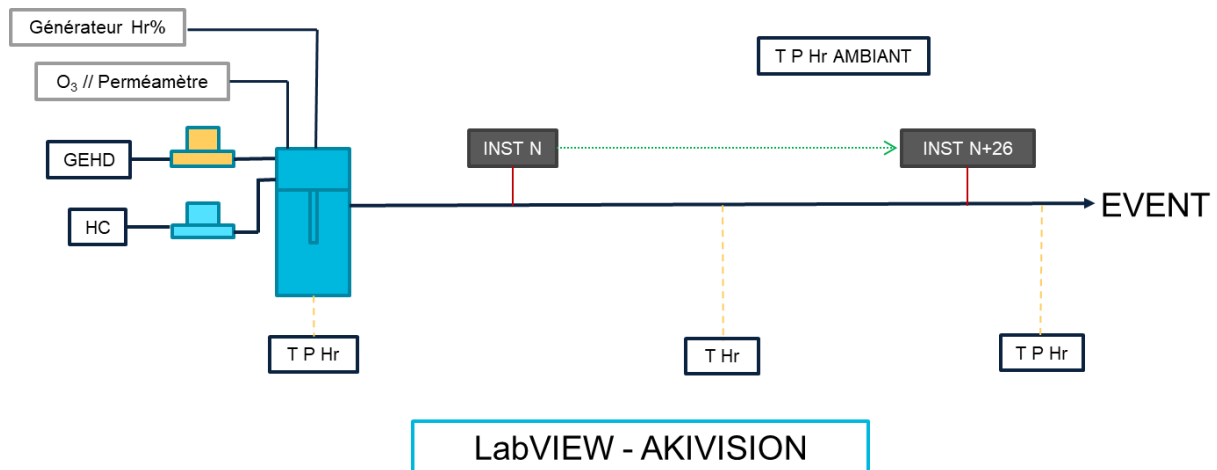


Figure 3 : Principe utilisé pour la mise en œuvre des gaz d'essais sur le plateau technique CaMEROne (LMPA)

Le gaz haute concentration (HC) et le gaz épuré de dilution (air ou diazote) sont connectés à une chambre de dilution spécifique. Leurs débits respectifs sont contrôlés par des régulateurs de débit massique. Pour la génération d'ozone un générateur spécifique est utilisé. Pour la génération de NO₂ un perméamètre a été mis en œuvre.

L'air en sortie de chambre de dilution est diffusé dans une ligne de prélèvement spécifique de 16 m de long (cf. Figure 4) sur lequel chaque participant est connecté à un emplacement dédié pour l'ensemble de l'exercice, à raison d'une connexion par gaz fournie par l'organisateur et constituée par un tube 4/6 mm en PFA renforcé passivé.



Figure 4 : Ligne de prélèvement

Chaque participant mesure par ses propres moyens la concentration générée pour un polluant donné et s'assure de la stabilité propre de son signal lors du relevé de mesure.

Les paramètres physiques tels que la température, l'humidité relative et la pression sont contrôlés, mesurés et enregistrés. Différents points de mesure ont été disposés dans la ligne mais aussi dans l'ambiance du laboratoire.

6.3 Test d'homogénéité de ligne de prélèvement

L'homogénéité et la stabilité de la génération dans la ligne de prélèvement ont été contrôlées par le LCSQA-IMT Nord Europe.

Un contrôle avant le début de la CIL a été effectué. Ainsi, une permutation a été faite entre deux participants (l'un placé en début de ligne, l'autre en fin) pour vérifier et valider ces caractéristiques. Cet échange a été effectué lors de la mesure de NO au niveau de 800 ppb.

Le Tableau 4 ci-dessous reprend les différents emplacements des connexions sur la ligne de prélèvement des participants. En annexe, la Figure A1-1 reprend schématiquement la position des connexions sur la ligne par rapport à l'entrée du gaz d'essai.

Tableau 4 : Emplacement des participants sur la ligne de prélèvement

N° sortie du manifold :	participant NO	participant NO 800	participant NO2	participant O3	participant O3 100	participant SO2	participant CO
injection	injection	injection	injection	injection	injection	injection	injection
0	H	H	H	H	H	H	H
1	B	B	B	B	B	B	B
2	F		F	F	F	F	F
3	A	C	A	A	A	A	A
4	G	G	G	G	G	G	G
5	C	A	C	C	C	C	C
6	E	E	E	E	E	E	E
7	D	D	D	D	D	D	D
8		F					

Le graphique présenté sur la Figure 5 reprend les mesures avant (points bleus) et après (triangles verts) changement de position sur la ligne de prélèvement des participants C et A, dans des conditions inchangées de génération de NO à 800 ppb. Pour le participant F, celui-ci a été connecté, toujours dans ces mêmes conditions, au dernier piquage de ligne.

Ce test permet de montrer l'homogénéité de la ligne de prélèvement puisque aucun écart significatif n'apparaît lors des changements de position des participants. A noter que le participant A n'a pas fourni de valeurs au niveau 800 ppb.

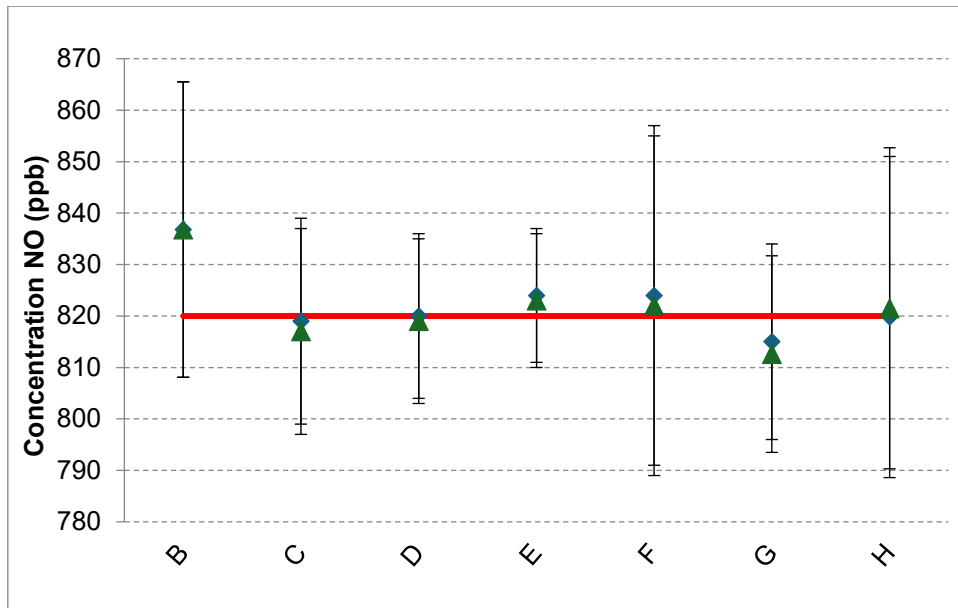


Figure 5 : Vérification de l'homogénéité de la ligne de prélèvement (NO à 800 ppb). Les points bleus (◆) représentent les valeurs de concentration obtenues pour l'ensemble des participants avant permutation des participants C et A et F sur la ligne de prélèvement et les points verts (▲) représentent les valeurs de concentration obtenues après permutation

De plus, la Figure 6 montre les mesures de concentration au niveau 800 ppb en NO dans l'air en fonction de la position des participants par ordre de position de connexion sur la ligne (du participant H en début de ligne au participant D en fin de ligne). La répartition aléatoire, autour de la valeur moyenne, des valeurs de concentration en NO montre que la position du participant sur la ligne de distribution n'a pas d'influence sur son résultat de mesure.

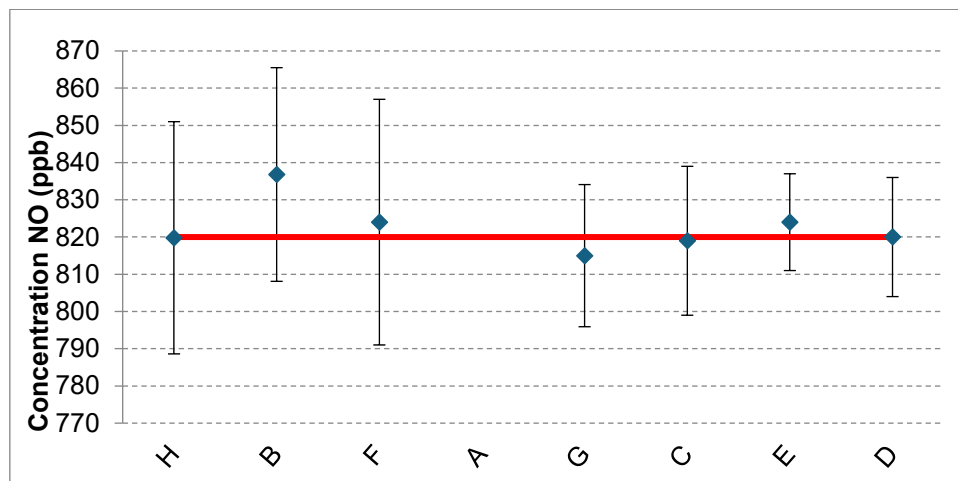


Figure 6 : Vérification de l'homogénéité en fonction de l'emplacement du participant sur la ligne (NO à 800 ppb)

Ces mêmes graphiques pour les autres polluants mesurés (NO₂, ozone, SO₂, CO) sont présentés sur les Figures A1-2 à A1-5 en annexe.

7 Conditions ambiantes

L'exercice a lieu dans un local placé sous air conditionné. La Figure 7 représente le suivi temporel durant la CIL 2025 de la température ambiante et de la température à la sortie de ligne.

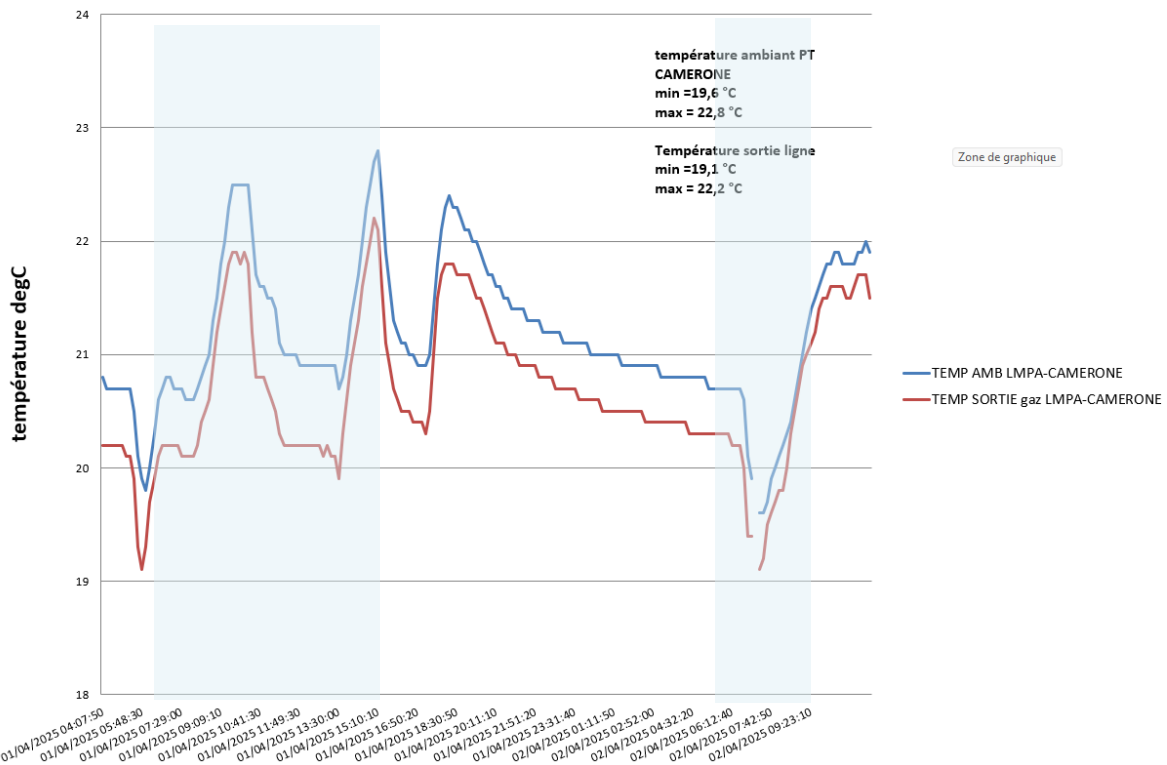


Figure 7 : Suivi des conditions ambiantes du LMPA du 1^{er} avril au 2 avril 2025

Pendant les essais programmés de la CIL (périodes ciblées en couleur bleue sur la Figure 7), la température ambiante est restée dans une plage de variation inférieure à 2,1°C. On remarque des maxima de température à 22,7°C le 1^{er} avril et 22,0°C le 2 avril dû à la présence d'un nombre important de personnes (au moins 10) dans la zone de mesures.

L'humidité relative ambiante est restée dans une plage de variation inférieure à 10%.

Quant à la différence de pression dans la ligne entre l'entrée et la sortie (intégralité de ligne sur 16m), celle-ci a est restée inférieure à 2,0 mbar (valeurs moyennées).

8 Analyse des données et évaluation des résultats

8.1 Analyses statistiques

Pour chacun des polluants et chaque niveau de concentration, le laboratoire donne **la valeur lue sur son analyseur, accompagnée de l'incertitude élargie** associée à ce résultat.

La lecture est effectuée après un temps d'injection donné et l'obtention d'un palier de stabilité (± 1 ppb en SO₂, NO, NO_x, NO₂, O₃ et $\pm 0,1$ ppm en CO, durant a minima 10 minutes).

Le test de Grubbs, appliqué aux valeurs issues du programme d'essais, a pour objet de déterminer des valeurs dites « aberrantes ». Une valeur est déclarée comme étant aberrante lorsque la statistique du test de Grubbs est supérieure à sa valeur critique à 1%.

Dans le cas où le test de Grubbs ne détecte aucune valeur individuelle aberrante, toutes les valeurs sont prises en compte dans la suite du processus. Dans le cas contraire, les valeurs aberrantes sont écartées lors du traitement des données.

Comme précisée dans la norme NF ISO 5725-2³, la statistique du test de Grubbs G_p est obtenue en appliquant la formule ci-après :

Soient les résultats des participants x_i avec $i = 1, 2, 3, \dots, p$,

$$G_p = \frac{(x_p - \bar{x})}{s}$$

Où :

$$\bar{x} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p x_i$$

Et

$$s = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2}$$

La médiane est ensuite calculée (après application du test de Grubbs). **Dans le cadre de cette CIL, cette valeur a été prise comme valeur de référence pour les différentes concentrations mesurées pour chaque polluant.**

8.2 Test de performance

Pour le test de performance, la médiane étant définie comme valeur de référence l'Ecart Normalisé E_n est utilisé conformément à la norme NF ISO 13528⁴, avec :

$$E_n = \frac{(x - X)}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

Où :

x	représente le résultat du participant
X	est la valeur de la médiane prise pour référence
U_{lab}^2	est l'incertitude du participant
U_{ref}^2	est l'incertitude de la valeur de référence X

L'incertitude sur la valeur de référence X est obtenue à partir de l'écart-type sur les résultats fournis par les participants.

Le résultat est considéré comme satisfaisant quand la valeur absolue de E_n est inférieure ou égale à 1.

³ NF ISO 5725-2 (août 2020) « Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure - Partie 2 : méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée »

⁴ NF ISO 13528 (octobre 2022) « Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaison interlaboratoires »

9 Résultats

9.1 Mesures du NO/NO_x en matrice air

Pour le NO en dilution dans l'air, plusieurs niveaux de concentrations ont été mesurés (0, 50, 200 et 800 ppb).

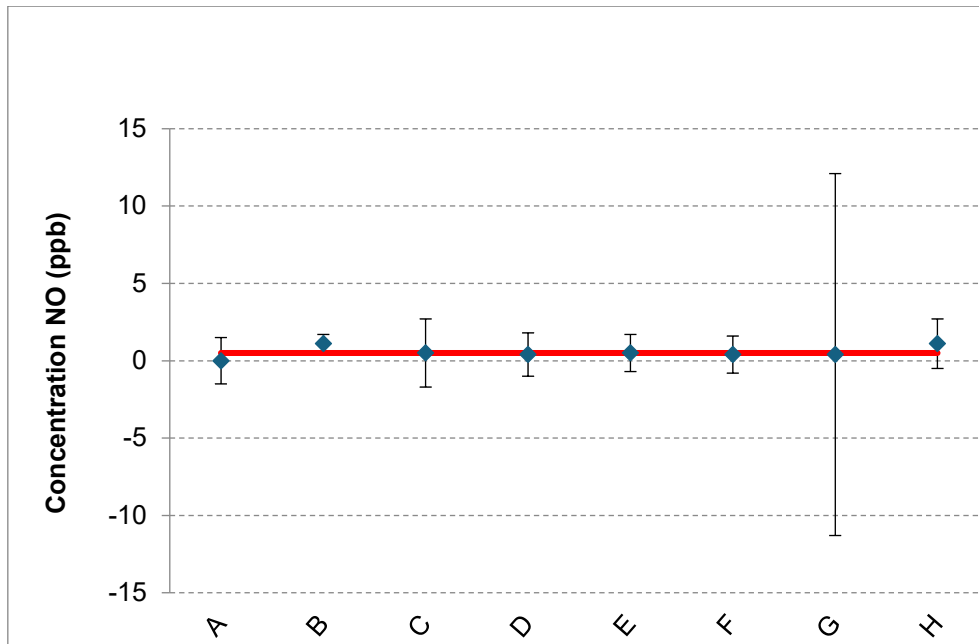
Les relevés des mesures sont placés en annexe dans le Tableau A1-1. Les Figures 8 à 11 qui suivent indiquent les différentes mesures des participants ainsi que leurs incertitudes associées. La médiane des points est indiquée en rouge.

Compte tenu des préconisations en cours de discussion au sein du groupe utilisateurs NO/NO_x bas niveau et de leur intégration dans le guide métrologique pour la mesure NO-NO_x au niveau traces (à paraître), un point supplémentaire à 50 ppb en NO a été réalisé à titre prospectif.

A noter que le participant A n'a pas souhaité fournir ses valeurs mesurées aux niveaux 50 et 800 ppb. De plus le domaine d'incertitude du participant G notamment au niveau du 0 ppb semble surévalué.

Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeurs aberrantes à l'exception du test résiduel normalisé au niveau de concentration « 800 ppb en NO/air ».

(a)



(b)

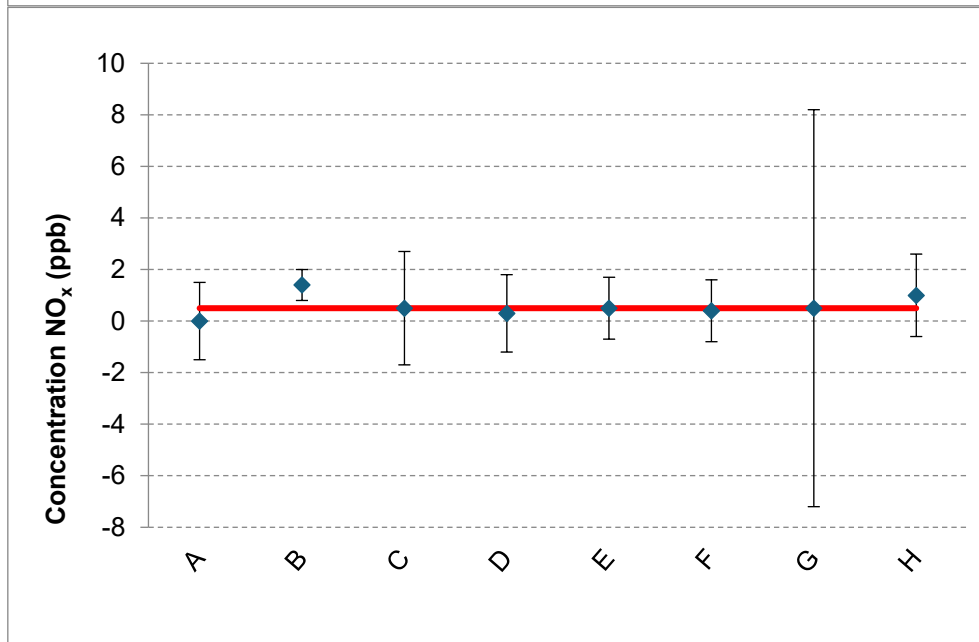
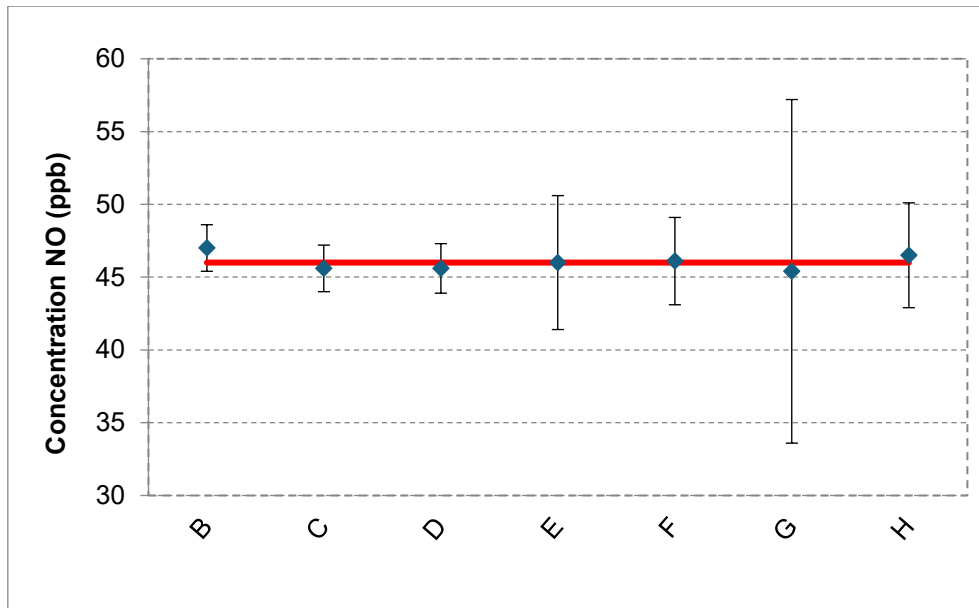


Figure 8 : Mesures aux niveaux « zéro en NO » (a) et « zéro en NO_x » (b) - Matrice air

(a)



(b)

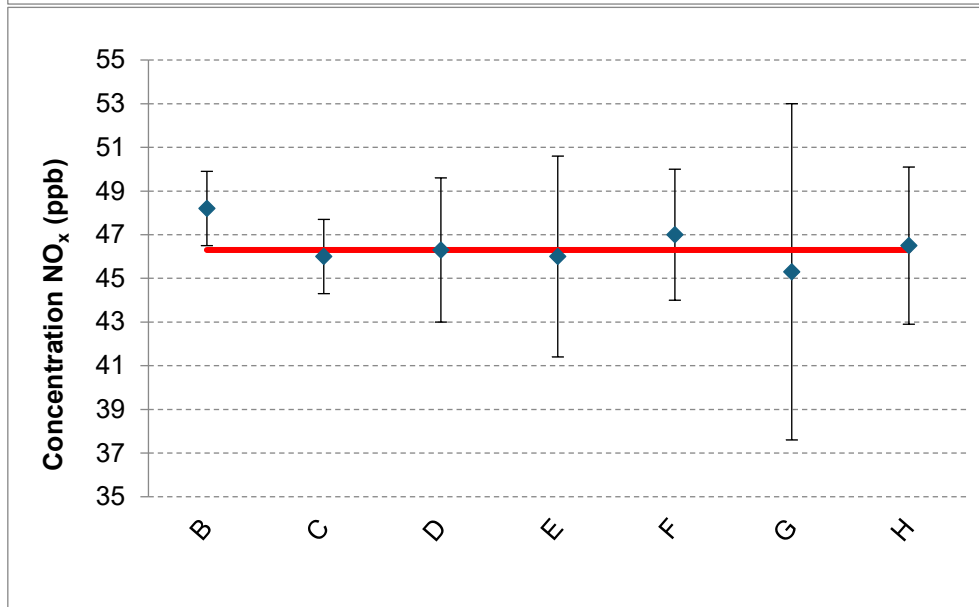


Figure 9 : Mesures aux niveaux « 50 ppb en NO » (a) et « 50 ppb en NO_x » (b) - Matrice air

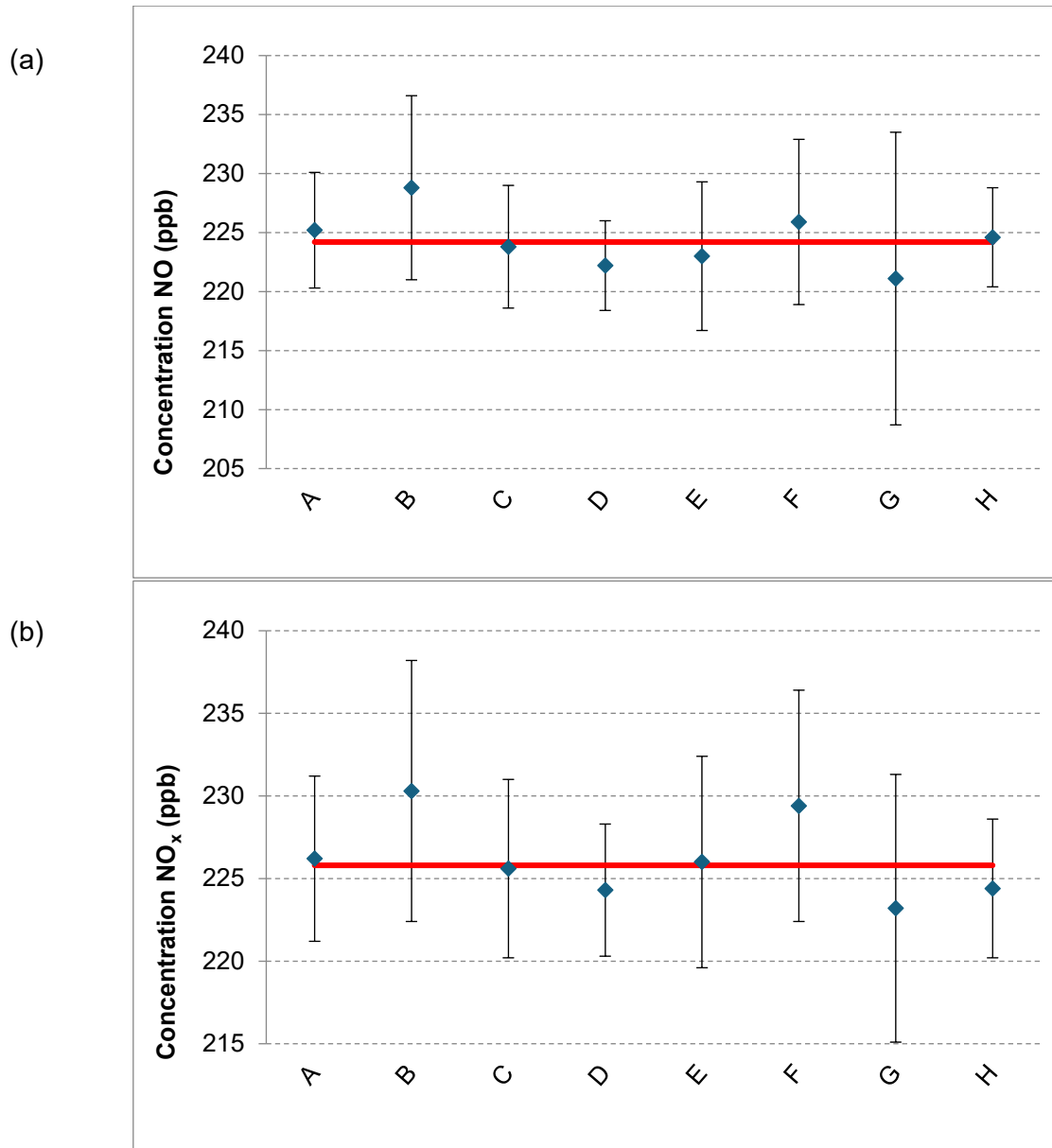
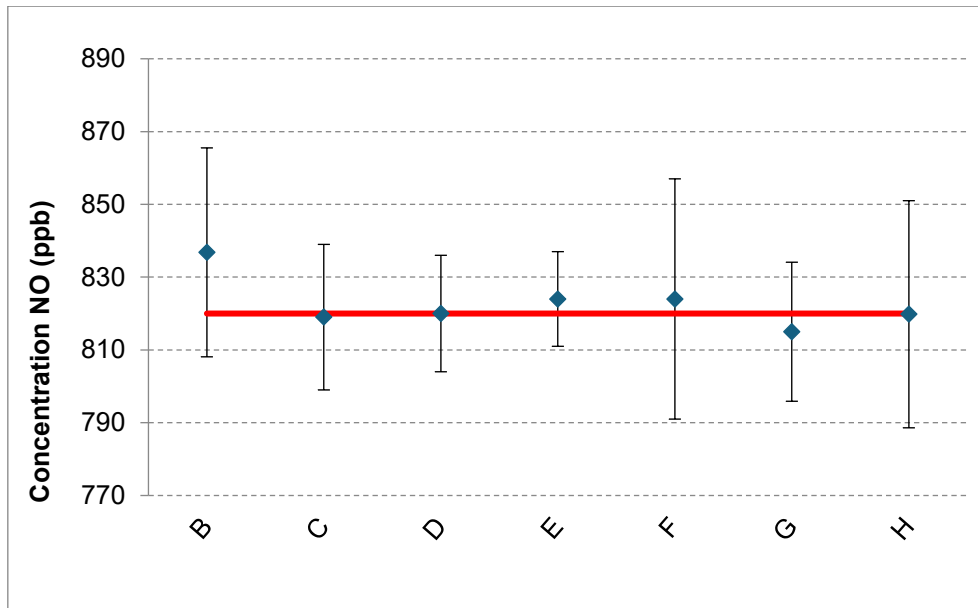


Figure 10 : Mesures aux niveaux « 200 ppb en NO » (a) et « 200 ppb en NO_x » (b) - Matrice air

(a)



(b)

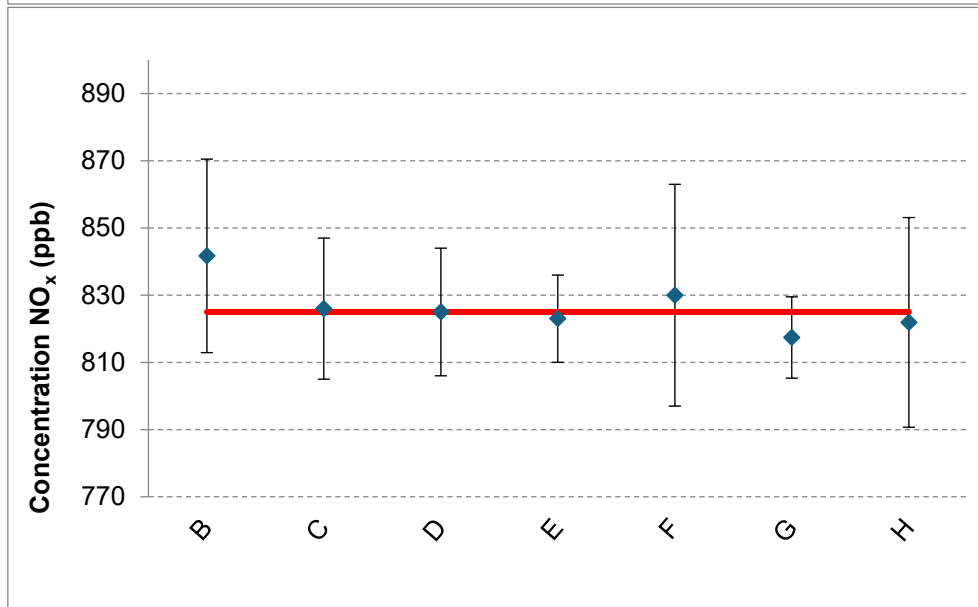


Figure 11 : Mesures aux niveaux « 800 ppb en NO » (a) et « 800 ppb en NO_x » (b) - Matrice air

9.2 Mesures de NO/NO_x en matrice diazote

Pour le NO en dilution dans le diazote, les niveaux de concentration à 0, 200 et 800 ppb ont été mesurés.

Les Figures 12 à 14 qui suivent, reprennent les différentes mesures des participants ainsi que leurs incertitudes associées. La médiane des points est indiquée en rouge.

A noter que le participant A n'a pas souhaité fournir ses valeurs mesurées au niveau 800 ppb.

Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeurs aberrantes à l'exception du test résiduel normalisé aux niveaux de concentration « 0 ppb en NO_x/N₂ et 200 ppb et 800ppb en NO/N₂ ». Cependant, pour le participant B, le test de performance est négatif au niveau « 0 ppb en NO_x ».

Le Tableau A1-2 présenté en annexe récapitule l'ensemble des résultats.

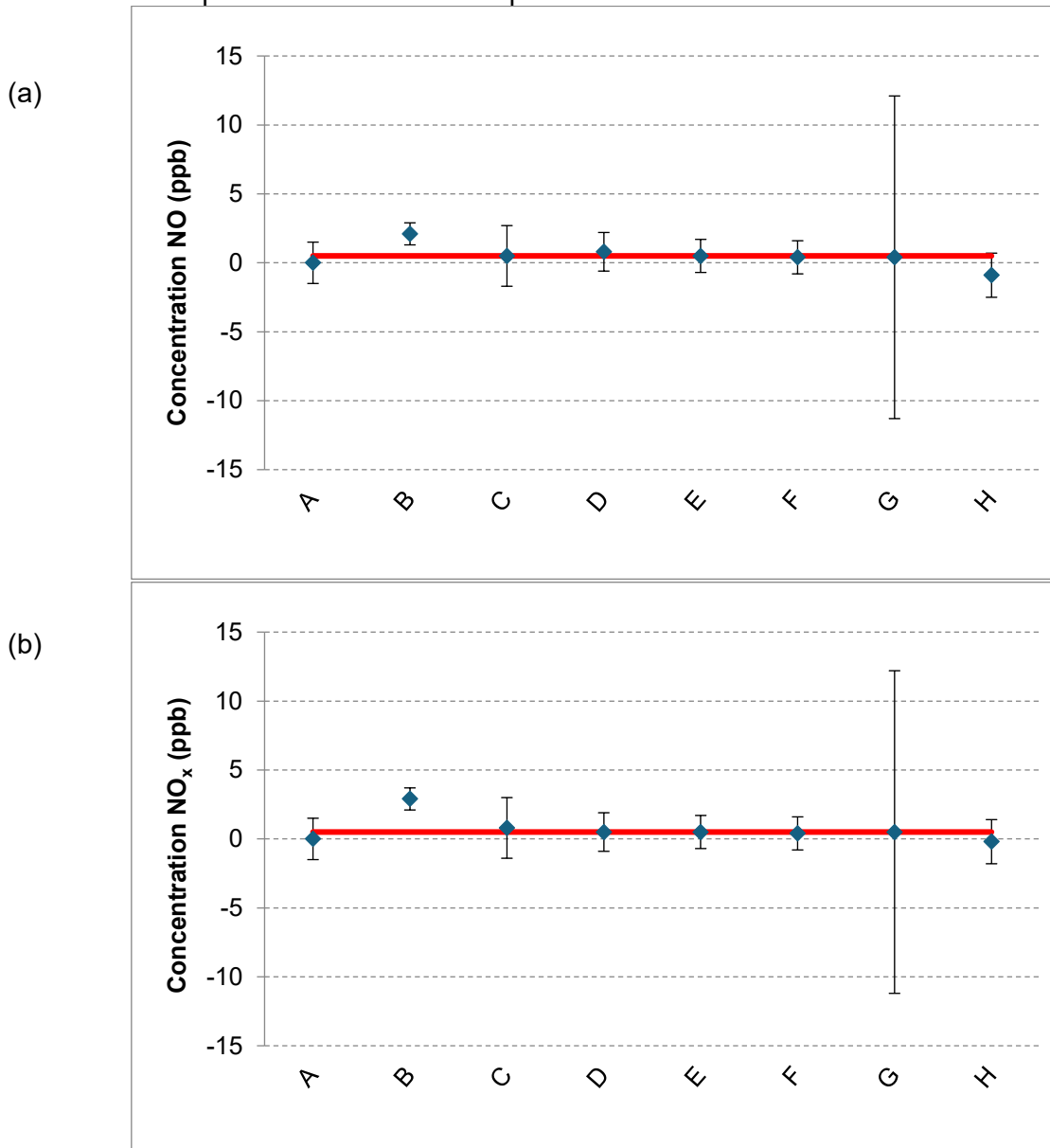
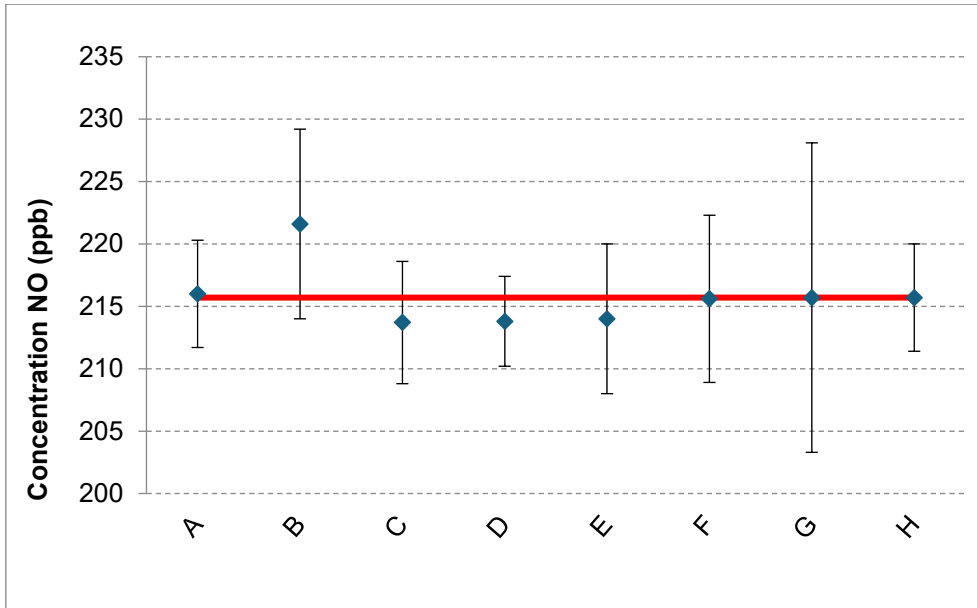


Figure 12 : Mesures aux niveaux « zéro ppb en NO » (a) et « zéro en NO_x » (b) - Matrice N₂

(a)



(b)

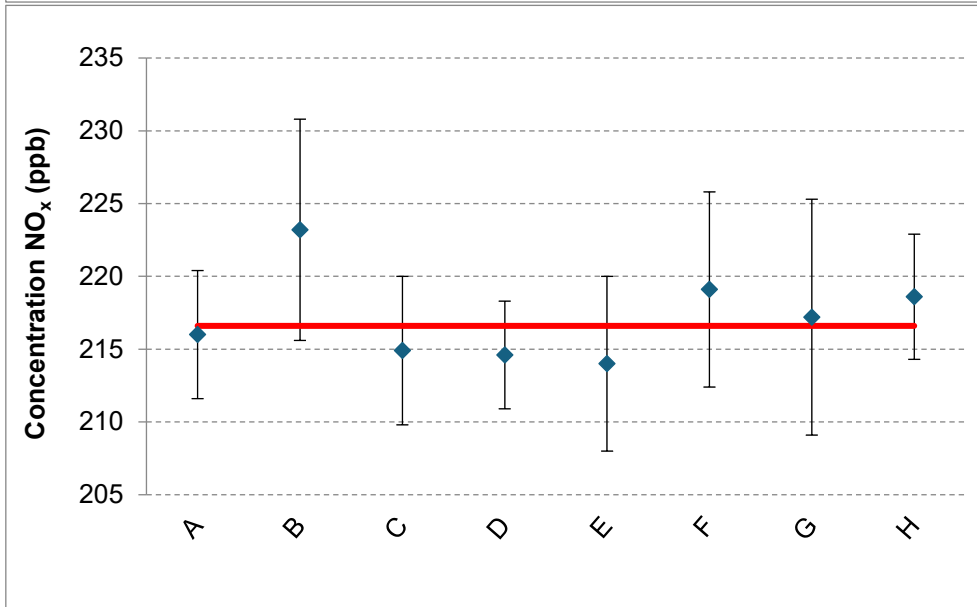


Figure 13 : Mesures aux niveaux « 200 ppb en NO » (a) et « 200 ppb en NO_x » (b) - Matrice N₂

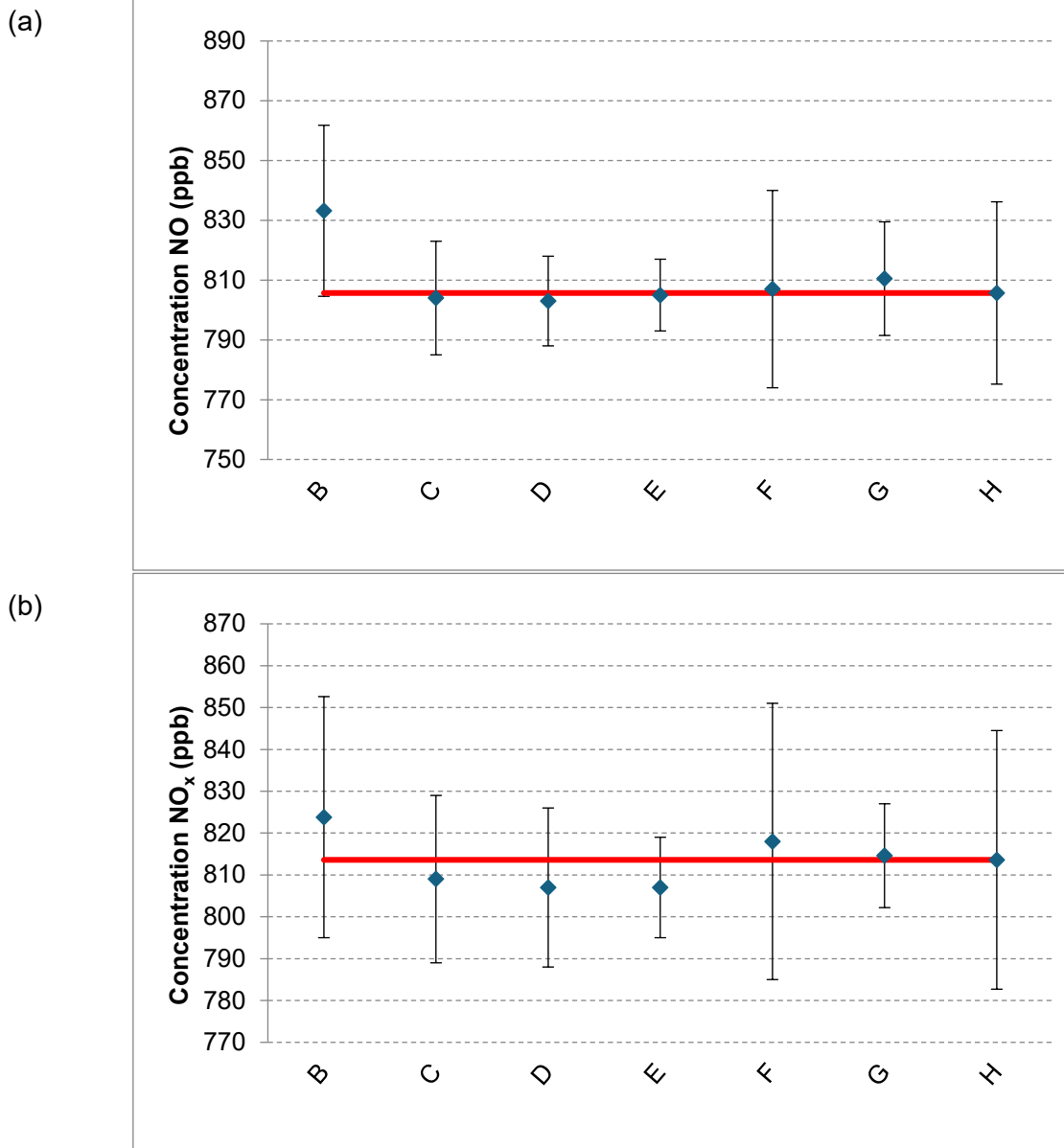


Figure 14 : Mesures aux niveaux « 800 ppb en NO » (a) et « 800 ppb en NO_x » (b) - Matrice N₂

9.3 Mesures de NO₂

Pour le NO₂, deux niveaux de concentrations ont été mesurés en plus du niveau zéro (0, 30, 200 ppb).

Les Figures 15 à 17 ci-dessous reprennent les différentes mesures des participants ainsi que leurs incertitudes associées. La médiane des points est indiquée en rouge.

Le Tableau A1-3 récapitulant l'ensemble des résultats est placé en annexe.

Compte tenu des préconisations en cours de discussion au sein du groupe utilisateurs NO/NO_x bas niveau et de leur intégration dans le guide métrologique pour la mesure NO-NO_x au niveau traces (à paraître), un point supplémentaire à 30 ppb en NO₂ a été réalisé à titre prospectif.

A noter que le participant C n'a pas souhaité fournir de résultats pour le NO₂ ainsi que le participant A pour le niveau 30 ppb.

Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeurs aberrantes.

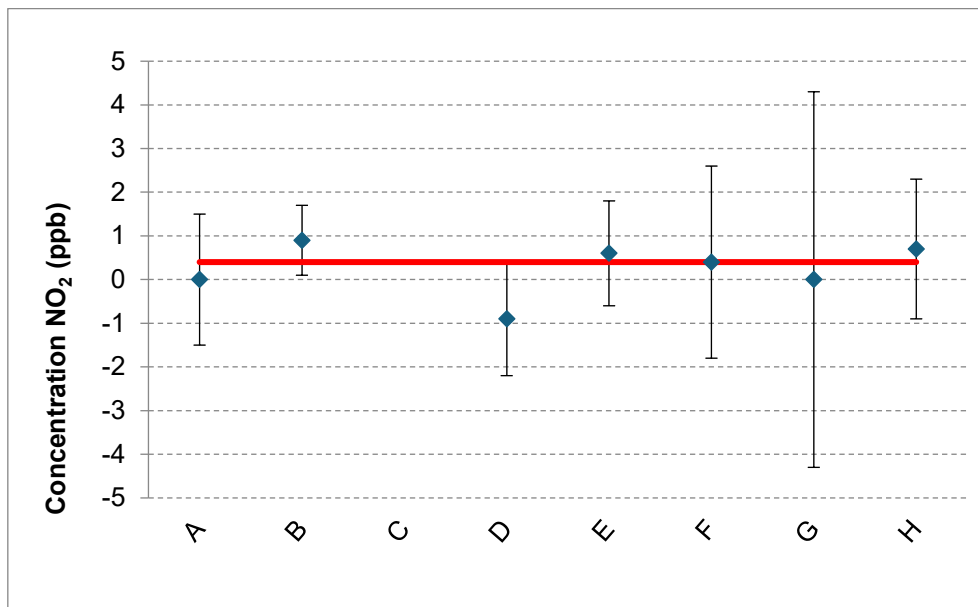


Figure 15 : Mesures au niveau « 0 ppb en NO₂ »

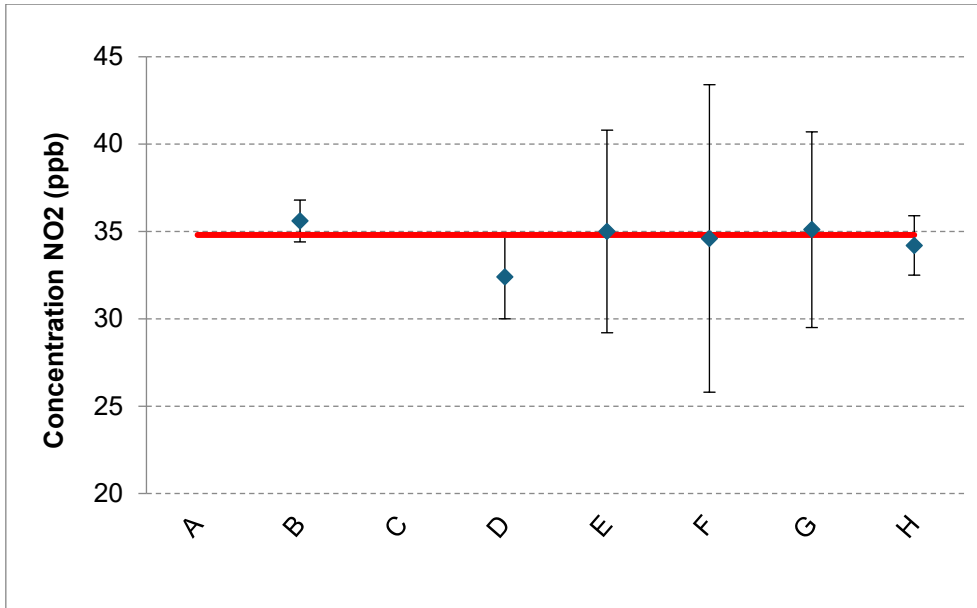


Figure 16 : Mesures au niveau « 30 ppb en NO₂ »

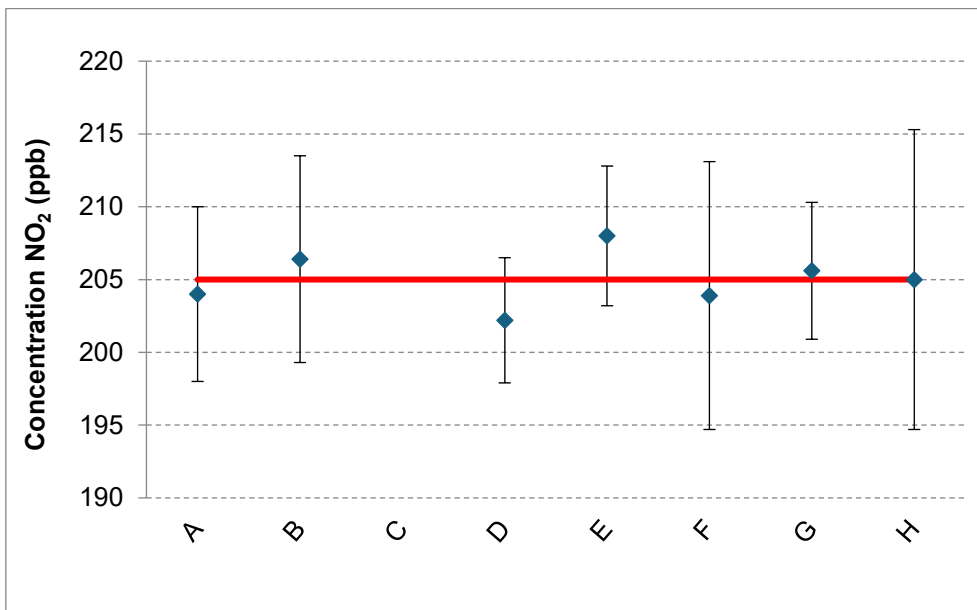


Figure 17 : Mesures au niveau « 200 ppb en NO₂ »

9.4 Mesures d'ozone

Pour l'ozone, 4 niveaux de concentration ont été testés (0, 50, 100 et 200 ppb).

Les Figures 18 à 21 ci-après montrent les différentes mesures des participants ainsi que leurs incertitudes associées. La médiane des points est indiquée en rouge.

Le Tableau A1-4 récapitulant les résultats est placé en annexe.

Concernant la nouvelle valeur consensuelle de la section efficace d'absorption de l'ozone⁵, il est convenu que les résultats O₃ sont restitués avec la prise en compte de cette nouvelle valeur consensuelle. Cependant, le participant B n'est pas raccordé avec cette nouvelle valeur et a donc indiqué ses résultats sans prise en compte de la nouvelle valeur consensuelle⁶.

Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeurs aberrantes.

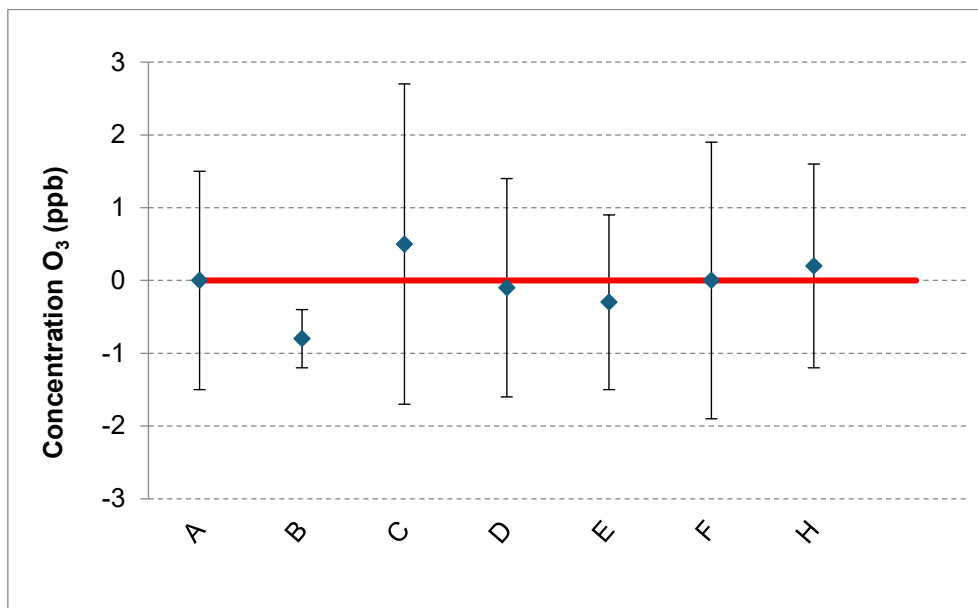


Figure 18 : Mesures au niveau « 0 ppb en ozone »

⁵ Macé T. et C. Mantelle « Mesures règlementaires des concentrations en ozone : processus d'implémentation de la nouvelle valeur de la section efficace d'absorption de l'ozone », Note technique LCSQA, 8 p., 2024.

⁶ L'année 2025 est une année transitoire durant laquelle les analyseurs d'ozone sont progressivement réglés avec cette nouvelle valeur. Cette modification des appareils sera effective pour l'ensemble des États aux niveaux européen et mondial à partir du 1^{er} janvier 2026.

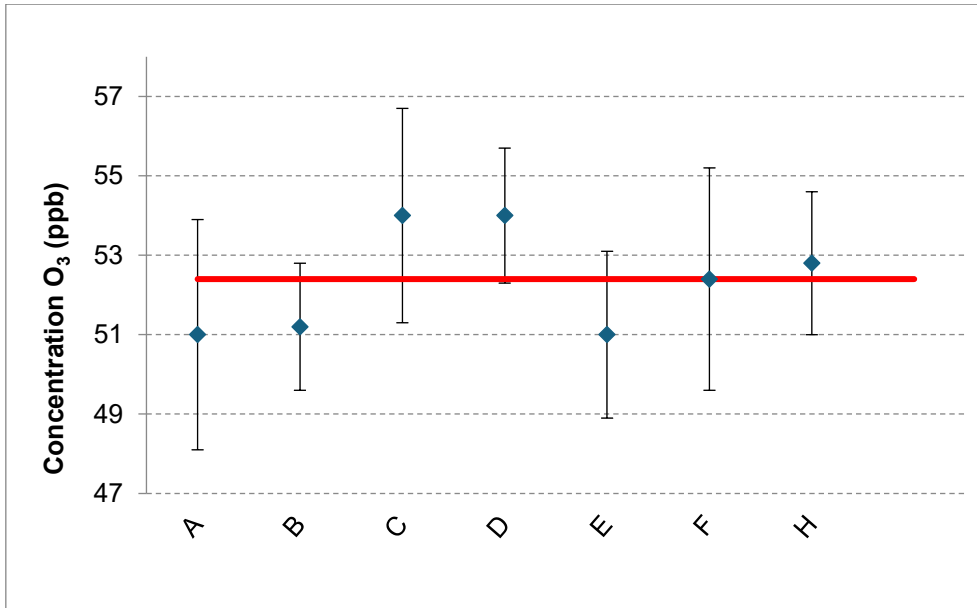


Figure 19 : Mesures au niveau « 50 ppb en ozone »

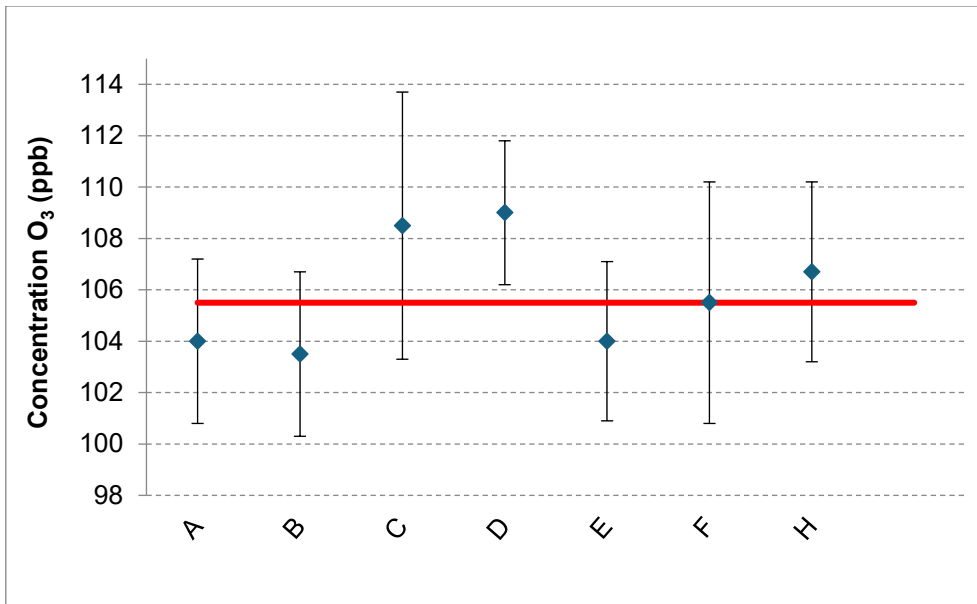


Figure 20 : Mesures au niveau « 100 ppb en ozone »

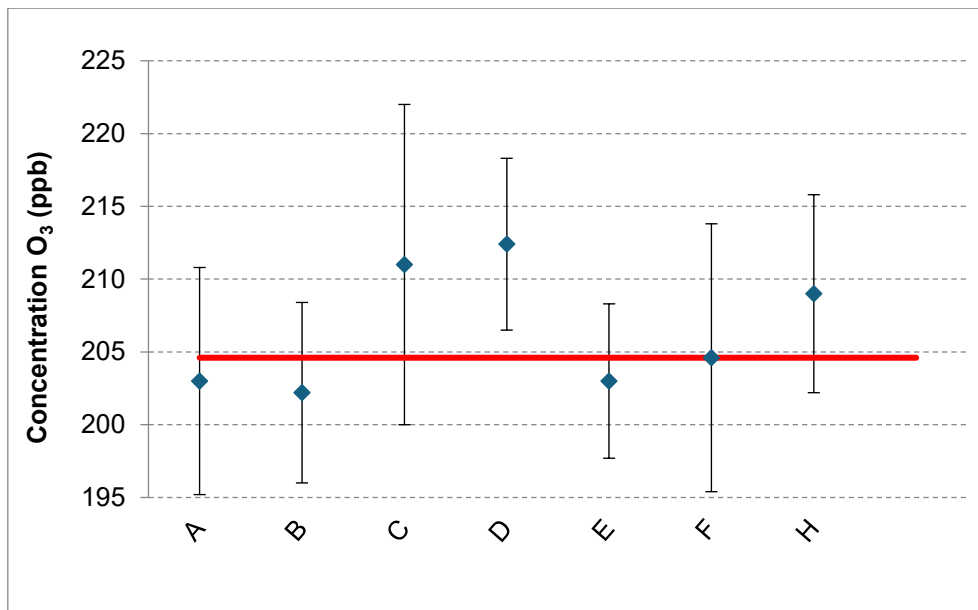


Figure 21 : Mesures au niveau « 200 ppb en ozone »

9.5 Mesure de SO₂

3 niveaux de concentration ont été testés pour SO₂ (0, 100 et 350 ppb).

Les Figures 22 à 24 ci-après montrent les différentes mesures des participants ainsi que leurs incertitudes associées. La médiane des points est indiquée en rouge.

Les résultats des participants sont donnés dans le Tableau A1-5 placé en annexe.

Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeurs aberrantes. Cependant, pour le participant B, le test de performance est négatif aux niveaux « 100 ppb et 350 ppb en SO₂ ».

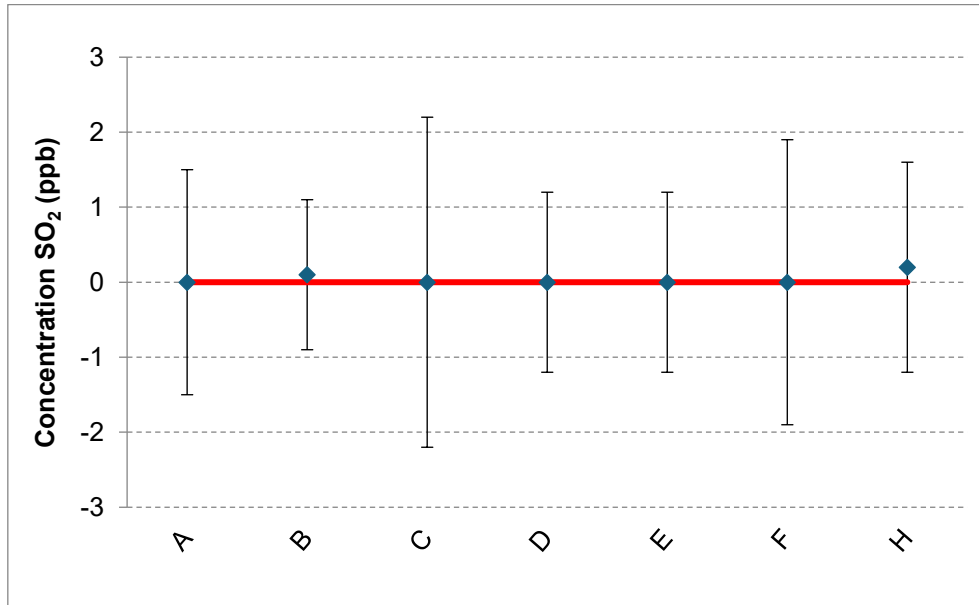


Figure 22 : Mesures au niveau « 0 ppb en SO₂ »

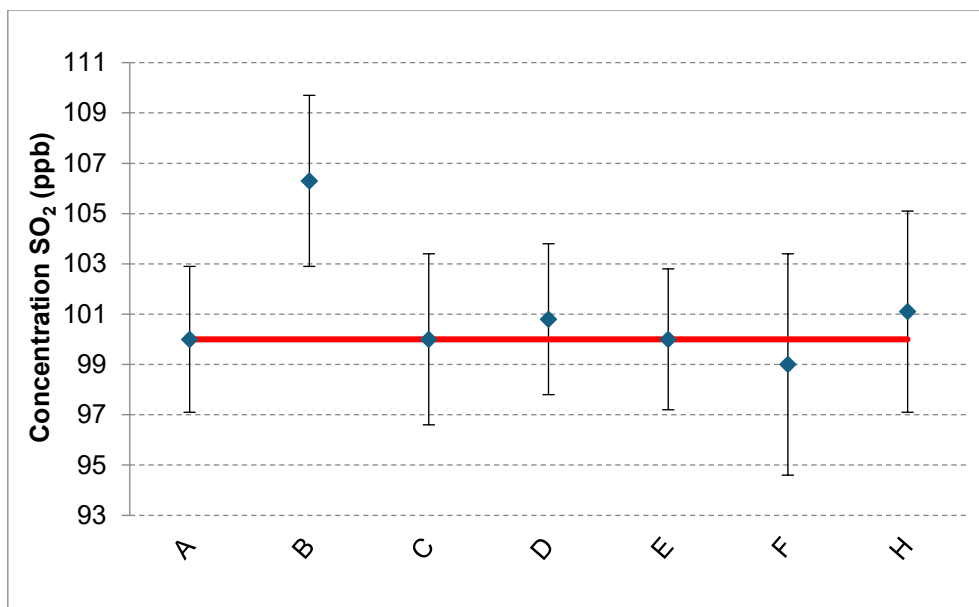


Figure 23 : Mesures au niveau « 100 ppb en SO₂ »

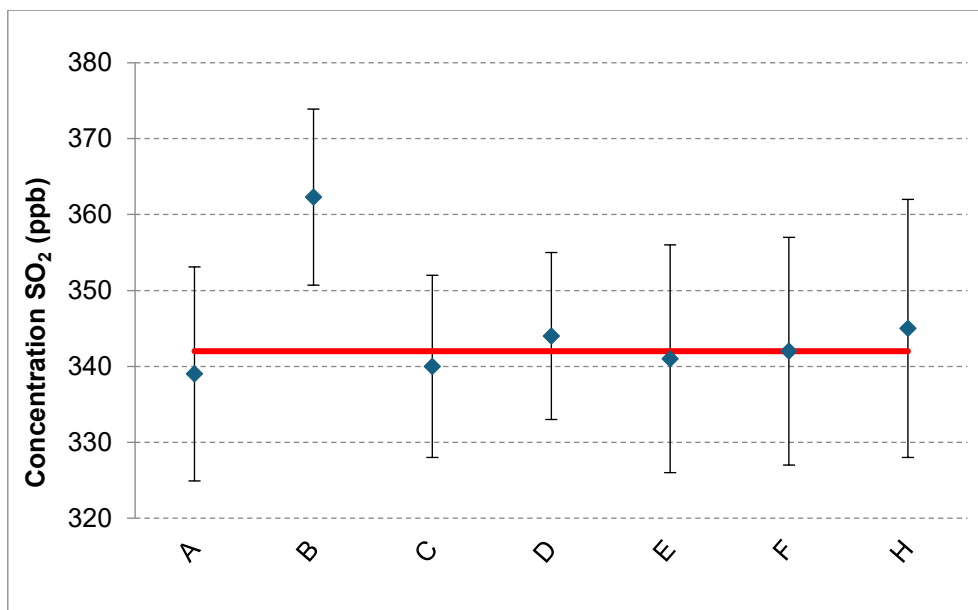


Figure 24 : Mesures au niveau « 350 ppb en SO₂ »

9.6 Mesure de CO

Pour le CO, 2 niveaux de concentration ont été testés (0 et 9 ppm).

Les Figures 25 et 26 ci-après montrent les différentes mesures des participants ainsi que leurs incertitudes associées. La médiane des points est indiquée en rouge.

Le Tableau A1-6 récapitulant les résultats des participants est placé en annexe.

Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeurs aberrantes.

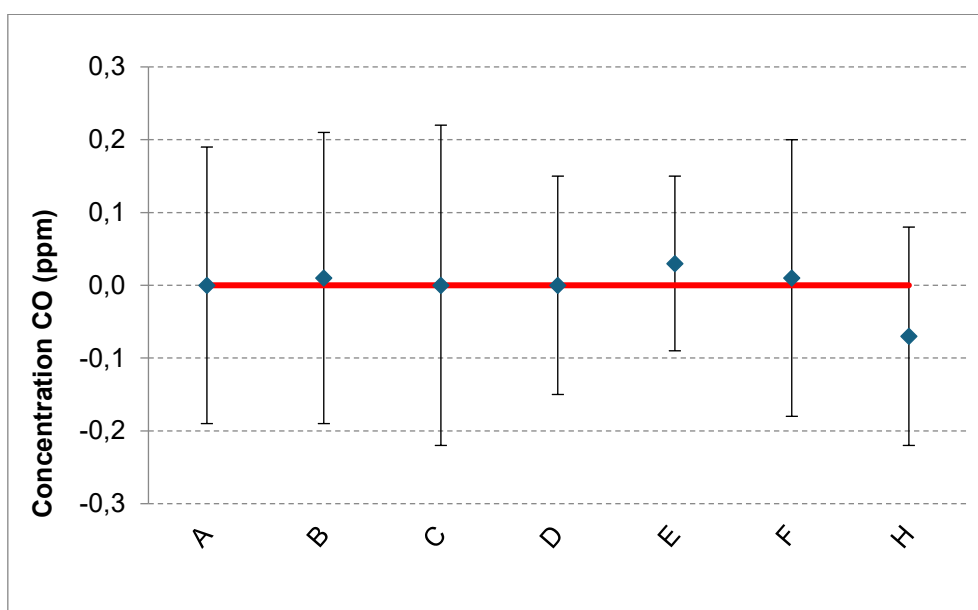


Figure 25 : Mesures au niveau « 0 ppm en CO »

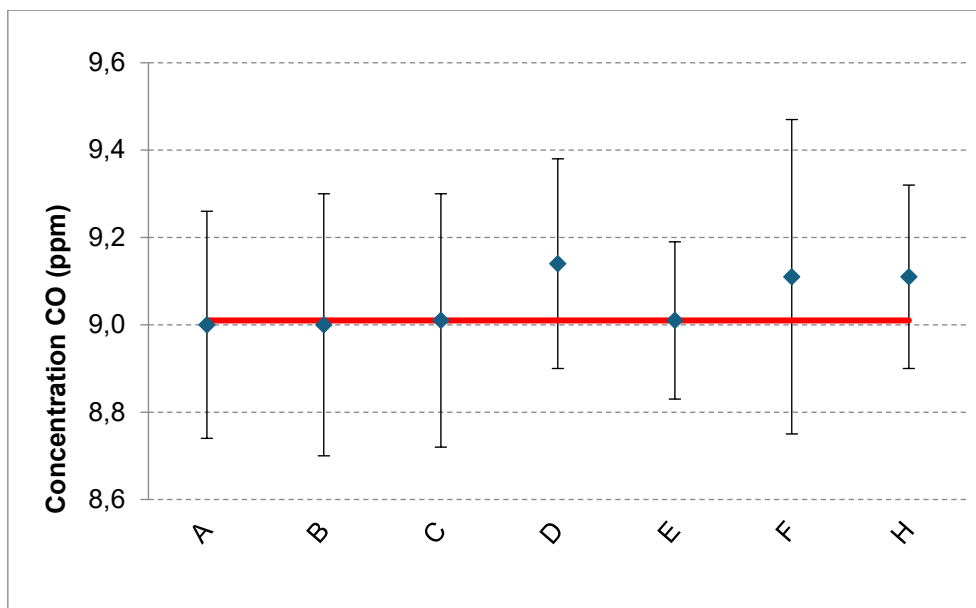


Figure 26 : Mesures au niveau « 9 ppm en CO »

10 Conclusions et perspectives

Le LCSQA-IMT Nord Europe a organisé sur son plateau technique CaMEROne un Exercice de Comparaison Inter Laboratoires du 31 mars au 3 avril 2025. Cinq laboratoires français dits « de Niveau 2 » de la chaîne nationale d'étalonnage d'analyseurs de polluants atmosphériques réglementés (gaz inorganiques), un laboratoire privé national, 1 laboratoire étranger (Belgique) et le LCSQA (représenté par IMT Nord Europe) ont participé à l'exercice de comparaison.

L'objectif pour chaque participant a été de mesurer avec ses propres moyens analytiques différentes concentrations de gaz (air de zéro, NO/NO_x/NO₂, O₃, SO₂ et CO) générées par le LCSQA-IMT Nord Europe à l'aide d'une source spécifique (dispositif de dilution sur gaz sec) et distribuées à l'aide d'une ligne d'échantillonnage adaptée aux CIL et élaborée par le LCSQA-IMT Nord Europe.

Les résultats ont été anonymisés après accord avec l'ensemble des participants.

Concernant les mesures de :

- NO en matrice air :
 - Compte tenu des préconisations en cours de discussion au sein du groupe utilisateurs NO/NO_x bas niveau et de leur intégration dans le guide métrologique pour la mesure NO-NO_x au niveau traces (à paraître), un point supplémentaire à 50 ppb en NO a été réalisé à titre prospectif ;
 - Le participant A n'a pas souhaité fournir ses valeurs mesurées aux niveaux « 50 et 800 ppb de NO-NO_x » ;
 - Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeur aberrante.

- NO en matrice diazote :
 - Le participant A n'a pas souhaité fournir ses valeurs mesurées au niveau « 800 ppb de NO-NO_x » ;
 - Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeur aberrante. Cependant, pour le participant B, le test de performance est négatif au niveau « 0 ppb en NO_x ».

- NO₂ :
 - Compte tenu des préconisations en cours de discussion au sein du groupe utilisateurs NO/NO_x bas niveau et de leur intégration dans le guide métrologique pour la mesure NO-NO_x au niveau traces (à paraître), un point supplémentaire à 30 ppb en NO₂ a été proposé ;
 - Le participant C n'a pas souhaité fournir de résultats ainsi que pour le participant A au niveau « 30 ppb de NO₂ » ;
 - Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeur aberrante.

- Ozone :
 - Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeur aberrante.
 - Concernant la nouvelle valeur consensuelle de la section efficace d'absorption de l'ozone⁷, les résultats O₃ ont été restitués avec la prise en de cette nouvelle valeur consensuelle sauf pour le participant B qui n'est pas raccordé avec cette nouvelle valeur ;

- SO₂ :
 - Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeur aberrante. Cependant, pour le participant B, le test de performance est négatif aux niveaux « 100 ppb et 350 ppb en SO₂ ».

- CO :
 - Les calculs statistiques n'ont pas révélé de valeur aberrante.

Il est noté pour l'organisation des prochains exercices de comparaison, une inversion des séquences de génération sera opérée entre le SO₂ et CO. Ce dernier sera généré et mesuré par les participants avant le SO₂. Ce qui permettra de mieux optimiser les étalonnages plus chronophages en dioxyde de soufre.

11 Références

- [1] NF EN ISO/IEC 17025 « *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais* » (décembre 2017)
- [2] NF X 43-055 « *Air ambiant - Métrologie appliquée au mesurage des polluants atmosphériques gazeux - Prélèvement d'air ambiant et mise en œuvre des gaz d'étalonnage* » (février 2017)
- [3] NF ISO 5725-2 « *Application de la statistique - Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure - Partie 2 : méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée* » (août 2020)
- [4] NF ISO 13528 « *Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaison interlaboratoires* » (octobre 2022)

⁷Macé T. et C. Mantelle « Mesures règlementaires des concentrations en ozone : processus d'implémentation de la nouvelle valeur de la section efficace d'absorption de l'ozone », Note technique LCSQA, 8 p., 2024.

12 Glossaire

Abréviations	Libellés
ECIL	Exercice de Comparaison Inter Laboratoires
PT	Plateau Technique
CaMEROne	Comparison and evaluation of ME thods for measuring Re gulated O r emerging gaseous pollutants

13 Liste des annexes

Annexes	Titres
Tableau A1-1	Résultats en NO-NO _x sur matrice air
Tableau A1-2	Résultats en NO-NO _x sur matrice N ₂
Tableau A1-3	Résultats en NO ₂ sur matrice air
Tableau A1-4	Résultats en O ₃ sur matrice air
Tableau A1-5	Résultats en SO ₂ sur matrice air
Tableau A1-6	Résultats en CO sur matrice air
Figure A1-1	Emplacement des participants sur la ligne
Figure 6-1	Mesures de concentrations en NO ₂ en fonction de la position des participants
Figure 6-2	Mesures de concentration en Ozone en fonction de la position des participants
Figure 6-3	Mesures de concentration en SO ₂ en fonction de la position des participants
Figure 6-4	Mesures de concentration en CO en fonction de la position des participants



Annexes

Tableau A1-1 : Résultats en NO-NO_x en matrice air

	participants	C1 zéro				C2 - 50 ppb				C3 - 200 ppb				C4 - 800 ppb				C4 - 800 ppb changement emplacement ligne			
		R_NO (ppb)	U_NO (ppb)	R_NOx (ppb)	U_NOx (ppb)	R_NO (ppb)	U_NO (ppb)	R_NOx (ppb)	U_NOx (ppb)	R_NO (ppb)	U_NO (ppb)	R_NOx (ppb)	U_NOx (ppb)	R_NO (ppb)	U_NO (ppb)	R_NOx (ppb)	U_NOx (ppb)	R_NO (ppb)	U_NO (ppb)	R_NOx (ppb)	U_NOx (ppb)
A	A	0,0	1,5	0,0	1,5					225,2	4,9	226,2	5,0								
B	B	1,1	0,6	1,4	0,6	47,0	1,6	48,2	1,7	228,8	7,8	230,3	7,9	836,8	28,7	841,7	28,8	836,8	28,7	841,7	28,8
C	C	0,5	2,2	0,5	2,2	45,6	1,6	46,0	1,7	223,8	5,2	225,6	5,4	819	20	826	21	817	20	824	20
D	D	0,4	1,4	0,3	1,5	45,6	1,7	46,3	3,3	222,2	3,8	224,3	4,0	820	16	825	19	819	16	823	19
E	E	0,5	1,2	0,5	1,2	46,0	4,6	46,0	4,6	223,0	6,3	226,0	6,4	824	13	823	13	823	13	823	13
F	F	0,4	1,2	0,4	1,2	46,1	3,0	47,0	3,0	225,9	7	229,4	7,0	824	33	830	33	822	33	830	33
G	G	0,4	11,7	0,5	7,7	45,4	11,8	45,3	7,7	221,1	12,4	223,2	8,1	815,0	19,1	817,4	12,1	812,6	19	818,3	12,5
H	H	1,1	1,6	1,0	1,6	46,5	3,6	46,5	3,6	224,6	4,2	224,4	4,2	820	31,2	822	31,2	822	31,2	823	31,2
	moyenne	0,6		0,6		46,0		46,5		224,3		226,2		822,7		826,4		821,7		826,1	
	ecart type	0,4		0,4		0,6		0,9		2,4		2,5		7,0		7,8		7,6		7,7	
	mediane	0,5		0,5		46,0		46,3		224,2		225,8		820,0		825,0		821,5		823,0	
grubbs test	MAX Xi	1,1		1,4		47,0		48,2		228,8		230,3		836,8		841,7		836,8		841,7	
	MNI Xi	0,0		0,0		45,4		45,3		221,1		223,2		815,0		817,4		812,6		818,3	
	GP max	1,5		1,9		1,7		1,9		1,9		1,7		2,0		2,0		2,0		2,0	
	GP min	1,5		1,3		1,11		1,3		1,3		1,2		1,1		1,2		1,2		1,0	
	valeur critique sup à 5%	2,130		2,130		2,020		2,020		2,130		2,130		2,020		2,020		2,020		2,020	
	test sur GP max	ok		ok		ok		ok		ok		ok		pas ok		ok		ok		pas ok	
test sur GP min	ok		ok		ok		ok		ok		ok		ok		ok		ok		ok		
En	A	0,268		0,289						0,146		0,057									
	B	0,678		0,854		0,510		0,757		0,502		0,482		0,527		0,510		0,472		0,573	
	C	0,022		0,000		0,204		0,120		0,057		0,027		0,041		0,038		0,180		0,040	
	D	0,031		0,115		0,196		0,000		0,327		0,235		0,000		0,000		0,114		0,000	
	E	0,035		0,000		0,000		0,061		0,152		0,025		0,210		0,099		0,075		0,000	
	F	0,035		0,068		0,031		0,199		0,200		0,419		0,112		0,137		0,014		0,192	
	G	0,004		0,000		0,051		0,126		0,233		0,274		0,212		0,386		0,367		0,237	
	H	0,368		0,275		0,132		0,049		0,063		0,215		0,006		0,089		0,000		0,009	
Z-score	A	1,20	OK	1,15	OK					0,42	OK	0,16	OK								
	B	1,74	OK	2,08	avertis	1,76	OK	2,06	avertis	1,92	OK	1,81	OK	2,41	avertis	2,15	avertis	2,03	avertis	2,43	avertis
	C	0,13	OK	0,00	OK	0,70	OK	0,32	OK	0,17	OK	0,08	OK	0,14	OK	0,13	OK	0,60	OK	0,13	OK
	D	0,13	OK	0,46	OK	0,70	OK	0,00	OK	0,83	OK	0,60	OK	0,00	OK	0,00	OK	0,33	OK	0,00	OK
	E	0,13	OK	0,00	OK	0,00	OK	0,32	OK	0,50	OK	0,08	OK	0,57	OK	0,26	OK	0,20	OK	0,00	OK
	F	0,13	OK	0,23	OK	0,18	OK	0,76	OK	0,71	OK	1,45	OK	0,57	OK	0,64	OK	0,07	OK	0,91	OK
	G	0,13	OK	0,00	OK	1,06	OK	1,08	OK	1,29	OK	1,05	OK	0,72	OK	0,98	OK	1,18	OK	0,61	OK
	H	1,74	OK	1,15	OK	0,88	OK	0,22	OK	0,17	OK	0,56	OK	0,03	OK	0,40	OK	0,00	OK	0,04	OK

Tableau A1-2 : Résultats en NO-NO_x en matrice N₂

	participants	DILUTION AZOTE				DILUTION AZOTE				DILUTION AZOTE			
		C1 - 0 ppb				C1 - 200 ppb				C1 - 800 ppb			
		R NO (ppb)	U NO (ppb)	R NOx (ppb)	U NOx (ppb)	R NO (ppb)	U NO (ppb)	R NOx (ppb)	U NOx (ppb)	R NO (ppb)	U NO (ppb)	R NOx (ppb)	U NOx (ppb)
	A	0,0	1,5	0,0	1,5	216,0	4,3	216,0	4,4				
	B	2,1	0,8	2,9	0,6	221,6	7,6	223,2	7,6	833,2	28,6	823,8	28,8
	C	0,5	2,2	0,8	2,2	213,7	4,9	214,9	5,1	804	19	809	20
	D	0,8	1,4	0,5	1,5	213,8	3,6	214,6	3,7	803	15	807	19
	E	0,5	1,2	0,5	1,2	214	6,0	214	6,0	805	12	807	12
	F	0,4	1,2	0,4	1,2	215,6	6,7	219,1	6,7	807	33	818	33
	G	0,4	11,7	0,5	7,7	215,7	12,4	217,2	8,1	810,5	19	814,6	12,4
	H	-0,9	1,6	-0,2	1,6	215,7	4,3	218,6	4,3	805,7	30,5	813,6	30,9
	moyenne	0,5		0,7		215,8		217,2		809,8		813,3	
	ecart type	0,8		1,0		2,5		3,1		10,6		6,2	
	mediane	0,5		0,5		215,7		216,6		805,7		813,6	
grubbs test	MAX Xi	2,1		2,9		221,6		223,2		833,2		823,8	
	MNI Xi	-0,9		-0,2		213,7		214,0		803,0		807,0	
	GP max	1,9		2,3		2,3		2,0		2,2		1,7	
	GP min	1,6		0,9		0,8		1,0		0,6		1,0	
	valeur critique sup à 5%	2,130		2,130		2,130		2,130		2,020		2,020	
	test sur GP max	ok		pas ok		pas ok		ok		pas ok		ok	
	test sur GP min	ok		ok		ok		ok		ok		ok	
En	A	0,201		0,206		0,053		0,080					
	B	0,891		1,201		0,650		0,677		0,772		0,325	
	C	0,018		0,103		0,276		0,214		0,060		0,195	
	D	0,161		0,000		0,297		0,280		0,104		0,291	
	E	0,024		0,000		0,210		0,304		0,029		0,382	
	F	0,024		0,044		0,006		0,276		0,033		0,125	
	G	0,004		0,000		0,004		0,059		0,169		0,057	
	H	0,584		0,281		0,008		0,268		0,000		0,000	
Z-score	A	0,54	OK	0,52	OK	0,14	OK	0,20	OK				
	B	1,98	OK	2,52	avertis	2,34	avertis	2,16	avertis	2,59	avertis	1,64	OK
	C	0,06	OK	0,31	OK	0,77	OK	0,56	OK	0,16	OK	0,74	OK
	D	0,42	OK	0,00	OK	0,73	OK	0,65	OK	0,25	OK	1,06	OK
	E	0,06	OK	0,00	OK	0,65	OK	0,85	OK	0,07	OK	1,06	OK
	F	0,06	OK	0,10	OK	0,02	OK	0,82	OK	0,12	OK	0,71	OK
	G	0,06	OK	0,00	OK	0,02	OK	0,20	OK	0,45	OK	0,16	OK
	H	1,62	OK	0,73	OK	0,02	OK	0,65	OK	0,00	OK	0,00	OK

Tableau A1-3 : Résultats en NO₂ en matrice air

	participants	C1 - zéro ppb				C2 - 30 ppb				C2 - 200 ppb			
		R NO2 (ppb)	U NO2 (ppb)	R NOx (ppb)	U NOx (ppb)	R NO2 (ppb)	U NO2 (ppb)	R NOx (ppb)	U NOx (ppb)	R NO2 (ppb)	U NO2 (ppb)	R NOx (ppb)	U NOx (ppb)
	A	0,0	1,5							204,0	6,0		
	B	0,9	0,8	1,5	1	35,6	1,2	36,4	1,3	206,4	7,1	208,3	7,1
	C												
	D	-0,9	1,3			32,4	2,4			202,2	4,3		
	E	0,6	1,2			35	5,8			208	4,8		
	F	0,4	2,2			34,6	8,8			203,9	9,2		
	G	0	4,3	0	7,7	35,1	5,6	35,4	7,7	205,6	4,7	206,8	8,1
	H	0,7	1,6	0,8	1,6	34,2	1,7	35,1	1,8	205	10,3	207	10,4
	moyenne	0,2				34,5				205,0			
	ecart type	0,6				1,1				1,9			
	mediane	0,4				34,8				205,0			
grubbs test	MAX Xi	0,9				35,6				208,0			
	MNI Xi	-0,9				32,4				202,2			
	GP max	1,1				1,0				1,6			
	GP min	1,9				1,9				1,5			
	valeur critique sup à 5%	2,020				1,890				2,020			
	test sur GP max	ok				ok				ok			
	test sur GP min	ok				ok				ok			
En	A	0,207								0,141			
	B	0,344				0,314				0,174			
	C												
	D	0,730				0,730				0,489			
	E	0,117				0,032				0,491			
	F	0,000				0,022				0,111			
	G	0,090				0,050				0,100			
	H	0,149				0,213				0,000			
Z-score	A	0,66	OK							0,53	OK		
	B	0,82	OK			0,71	OK			0,74	OK		
	C												
	D	2,14	avertis			2,13	avertis			1,48	OK		
	E	0,33	OK			0,18	OK			1,59	OK		
	F	0,00	OK			0,18	OK			0,58	OK		
	G	0,66	OK			0,27	OK			0,32	OK		
	H	0,49	OK			0,53	OK			0,00	OK		

Tableau A1-4 : Résultats en O₃ en matrice air

	participants	C1 - zéro		C2 - 50		C3 - 100		C4 - 200	
		R_O3 (ppb)	U_O3 (ppb)	R_O3 (ppb)	U_O3 (ppb)	R_O3 (ppb)	U_O3 (ppb)	R_O3 (ppb)	U_O3 (ppb)
	A	0,0	1,5	51,0	2,9	104,0	3,2	203,0	7,8
	B	-0,8	0,4	51,2	1,6	103,5	3,2	202,2	6,2
	C	0,5	2,2	54,0	2,7	108,5	5,2	211,0	11,0
	D	-0,1	1,5	54,0	1,7	109,0	2,8	212,4	5,9
	E	-0,3	1,2	51	2,1	104,0	3,1	203,0	5,3
	F	0,0	1,9	52,4	2,8	105,5	4,7	204,6	9,2
	H	0,2	1,4	52,8	1,8	106,7	3,5	209,0	6,8
	moyenne	-0,1		52,3		105,9		206,5	
	ecart type	0,4		1,3		2,2		4,2	
	mediane	0,0		52,4		105,5		204,6	
grubbs test	MAX Xi	0,5		54,0		109,0		212,4	
	MNI Xi	-0,8		51,0		103,5		202,2	
	GP max	1,4		1,2		1,4		1,4	
	GP min	1,8		1,0		1,1		1,0	
	valeur critique sup à 5%	2,020		2,020		2,020		2,020	
	test sur GP max	ok		ok		ok		ok	
	test sur GP min	ok		ok		ok		ok	
En	A	0,000		0,356		0,272		0,139	
	B	0,882		0,387		0,363		0,228	
	C	0,213		0,422		0,437		0,461	
	D	0,059		0,507		0,662		0,755	
	E	0,207		0,413		0,275		0,160	
	F	0,000		0,000		0,000		0,000	
	H	0,123		0,125		0,211		0,405	
Z-score	A	0,00	OK	1,05	OK	0,67	OK	0,38	OK
	B	1,97	OK	0,90	OK	0,89	OK	0,57	OK
	C	1,23	OK	1,20	OK	1,34	OK	1,51	OK
	D	0,25	OK	1,20	OK	1,56	OK	1,84	OK
	E	0,74	OK	1,05	OK	0,67	OK	0,38	OK
	F	0,00	OK	0,00	OK	0,00	OK	0,00	OK
	H	0,49	OK	0,30	OK	0,54	OK	1,04	OK

Tableau A1-5 : Résultats en SO₂ en matrice air

	participants	C1 - zéro		C2 - 100		C3 - 350	
		R SO ₂ (ppb)	U SO ₂ (ppb)	R SO ₂ (ppb)	U SO ₂ (ppb)	R SO ₂ (ppb)	U SO ₂ (ppb)
	A	0,0	1,5	100,0	2,9	339,0	14,1
	B	0,1	1	106,3	3,4	362,3	11,6
	C	0,0	2,2	100,0	3,4	340	12
	D	0,0	1,2	100,8	3,0	344	11
	E	0	1,2	100,0	2,8	341	15
	F	0	1,9	99,0	4,4	342	15
	H	0,2	1,4	101,1	4,0	345	17
	moyenne	0,0		101,0		344,8	
	ecart type	0,1		2,4		8,0	
	mediane	0,0		100,0		342,0	
grubbs test	MAX Xi	0,2		106,3		362,3	
	MNI Xi	0,0		99,0		339,0	
	GP max	2,0		2,2		2,2	
	GP min	0,5		0,8		0,7	
	valeur critique sup à 5%	2,020		2,020		2,020	
	test sur GP max	ok		pas ok		pas ok	
test sur GP min	ok		ok		ok		
En	A	0,000		0,000		0,140	
	B	0,099		1,065		1,026	
	C	0,000		0,000		0,100	
	D	0,000		0,140		0,103	
	E	0,000		0,000		0,046	
	F	0,000		0,153		0,000	
	H	0,142		0,175		0,128	
Z-score	A	0,00	OK	0,00	OK	0,37	OK
	B	1,27	OK	2,60	avertis	2,53	avertis
	C	0,00	OK	0,00	OK	0,25	OK
	D	0,00	OK	0,33	OK	0,25	OK
	E	0,00	OK	0,00	OK	0,12	OK
	F	0,00	OK	0,41	OK	0,00	OK
	H	2,54	avertis	0,45	OK	0,37	OK

Tableau A1-6 : Résultats en CO en matrice air

		C1 - zéro		C2 - 9 ppm	
	participants	R CO (ppm)	U CO (ppm)	R CO (ppm)	U CO (ppm)
	A	0,00	0,19	9,00	0,26
	B	0,01	0,20	9,0	0,3
	C	0,00	0,22	9,01	0,29
	D	0,00	0,15	9,14	0,24
	E	0,03	0,12	9,01	0,18
	F	0,01	0,19	9,11	0,36
	H	-0,07	0,15	9,11	0,21
	moyenne	0,0		9,1	
	ecart type	0,0		0,1	
	mediane	0,00		9,01	
grubbs test	MAX Xi	0,0		9,1	
	MNI Xi	-0,1		9,0	
	GP max	1,0		1,4	
	GP min	2,1		0,9	
	valeur critique sup à 5%	2,020		2,020	
	test sur GP max	ok		ok	
	test sur GP min	pas ok		ok	
En	A	0,000		0,035	
	B	0,048		0,031	
	C	0,000		0,000	
	D	0,000		0,481	
	E	0,221		0,000	
	F	0,050		0,262	
	H	0,430		0,409	
Z-score	A	0,00	OK	0,16	OK
	B	0,32	OK	0,16	OK
	C	0,00	OK	0,00	OK
	D	0,00	OK	2,08	avertis
	E	0,95	OK	0,00	OK
	F	0,32	OK	1,60	OK
	H	2,22	avertis	1,60	OK

Figure A1-1 : Emplacements des points de connexion des différents participants sur la ligne par rapport à l'entrée du gaz d'essai

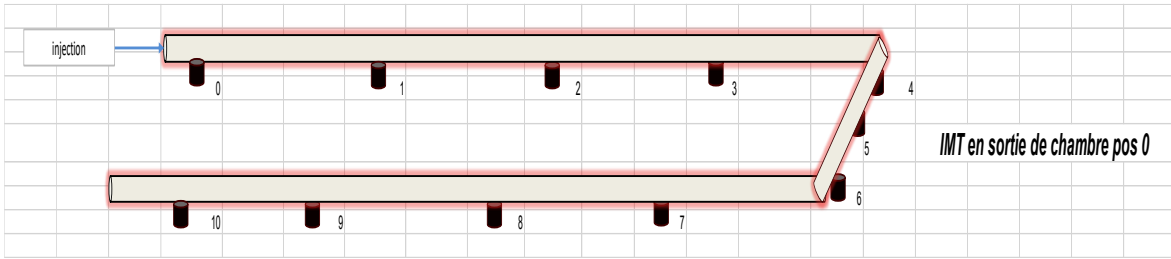


Figure A1-2 : Mesures de concentration en NO₂ en fonction de la position des participants

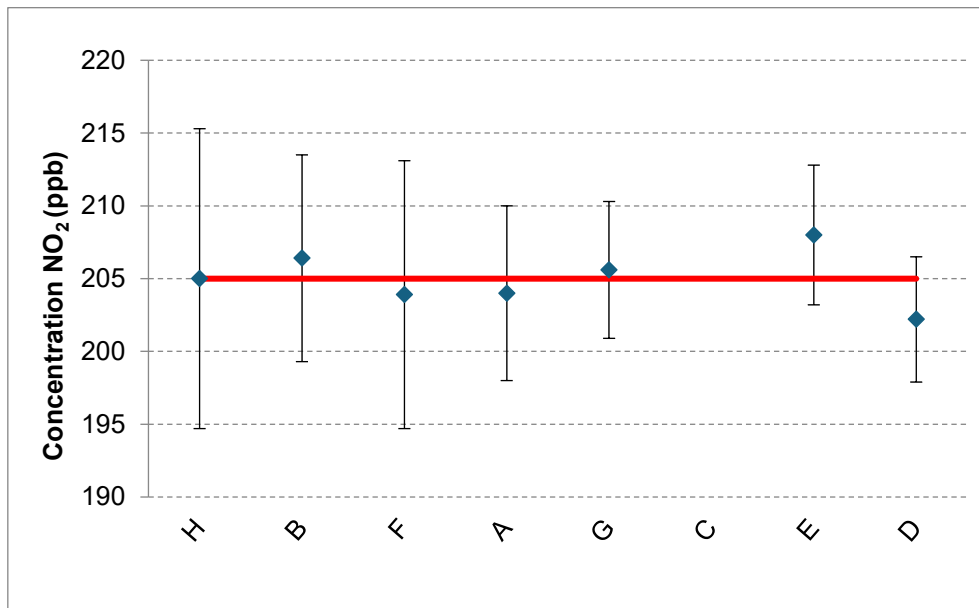


Figure A1-3 : Mesures de concentrations en ozone en fonction de la position des participants

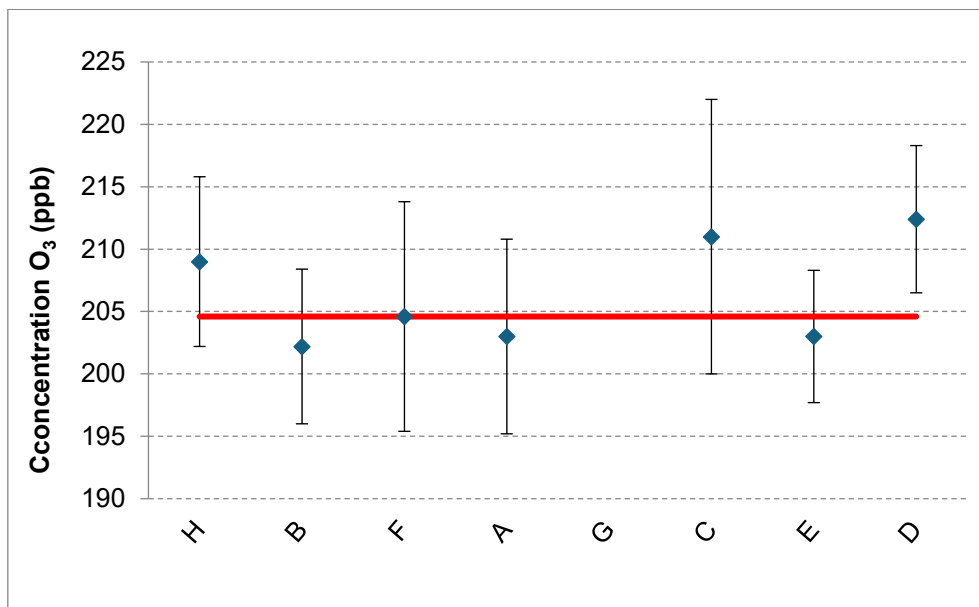


Figure A1-4 : Mesures de concentrations en SO₂ en fonction de la position des participants

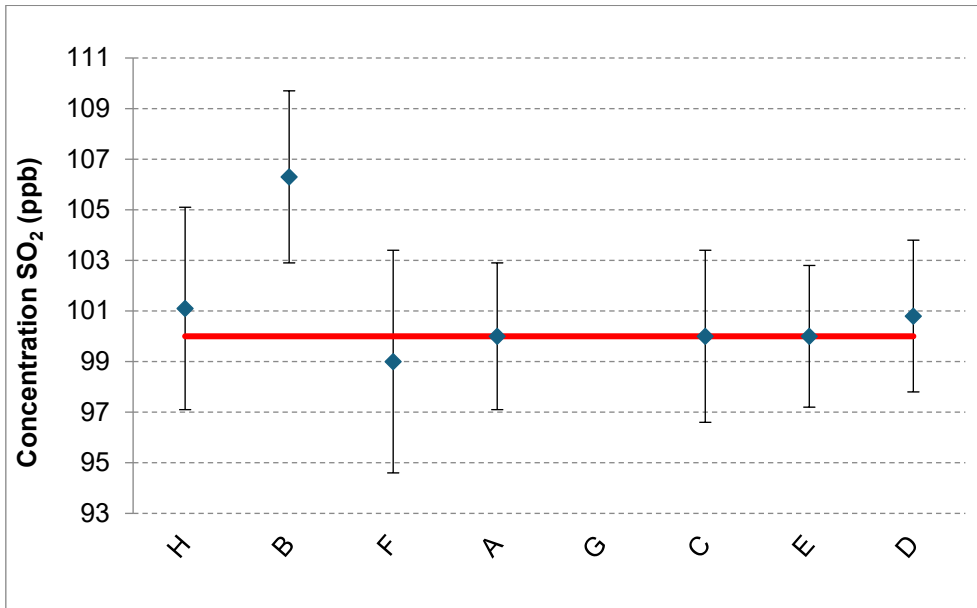
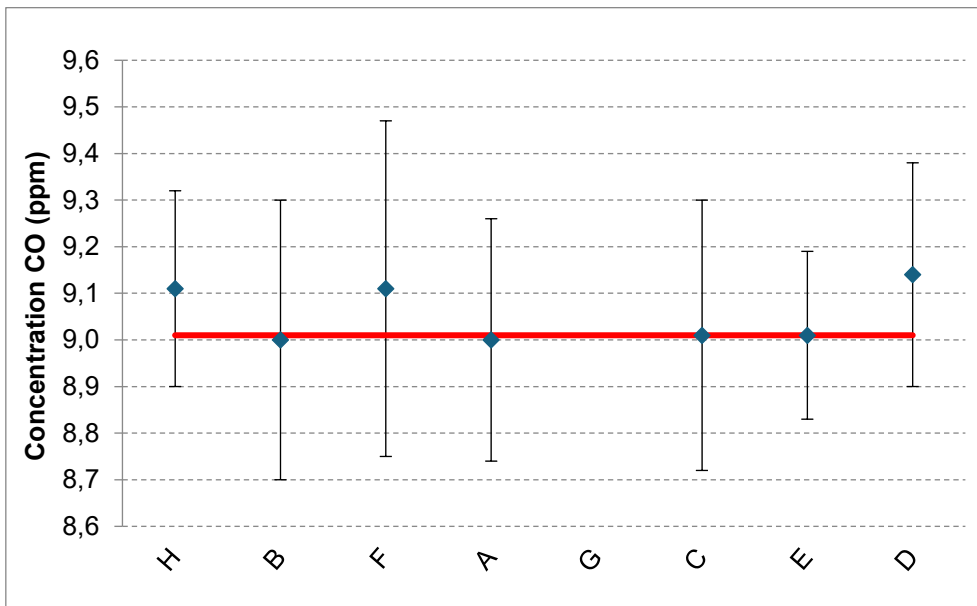


Figure A1-5 : Mesures de concentrations en CO en fonction de la position des participants



Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est un groupement d'intérêt scientifique créé en 2005 et constitué des laboratoires de l'IMT Nord Europe, de l'Ineris et du LNE. Depuis 1991, ses équipes d'experts mènent des études et des recherches sur la qualité de l'air, en appui au ministère chargé de l'environnement, et en étroite collaboration avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Le LCSQA est désigné par le ministère pour assurer la coordination technique nationale du dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France. Il est également l'organisme de référence requis par les directives européennes et ses missions sont définies par l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

L'objectif principal du LCSQA est ainsi de contribuer à l'amélioration continue du dispositif de surveillance en apportant un appui scientifique et technique au ministère et aux AASQA.

Ses travaux portent, d'une part, sur l'ensemble de la chaîne de surveillance : la qualité des mesures en air ambiant (du prélèvement à l'analyse), les inventaires d'émissions, la modélisation des concentrations et leur cartographie, la centralisation ainsi que le traitement et la mise à disposition des données, et d'autre part, sur les méthodes d'évaluation des plans d'actions. Cette action s'inscrit à la fois dans le cadre des réglementations nationales et européennes, et dans une démarche prospective visant à anticiper les besoins de la surveillance de demain.

Direction du LCSQA

Ineris - Parc technologique Alata 2 -
BP2 - F60550 Verneuil-en-Halatte
Tél : 03 44 55 69 16

ww.lcsqa.org