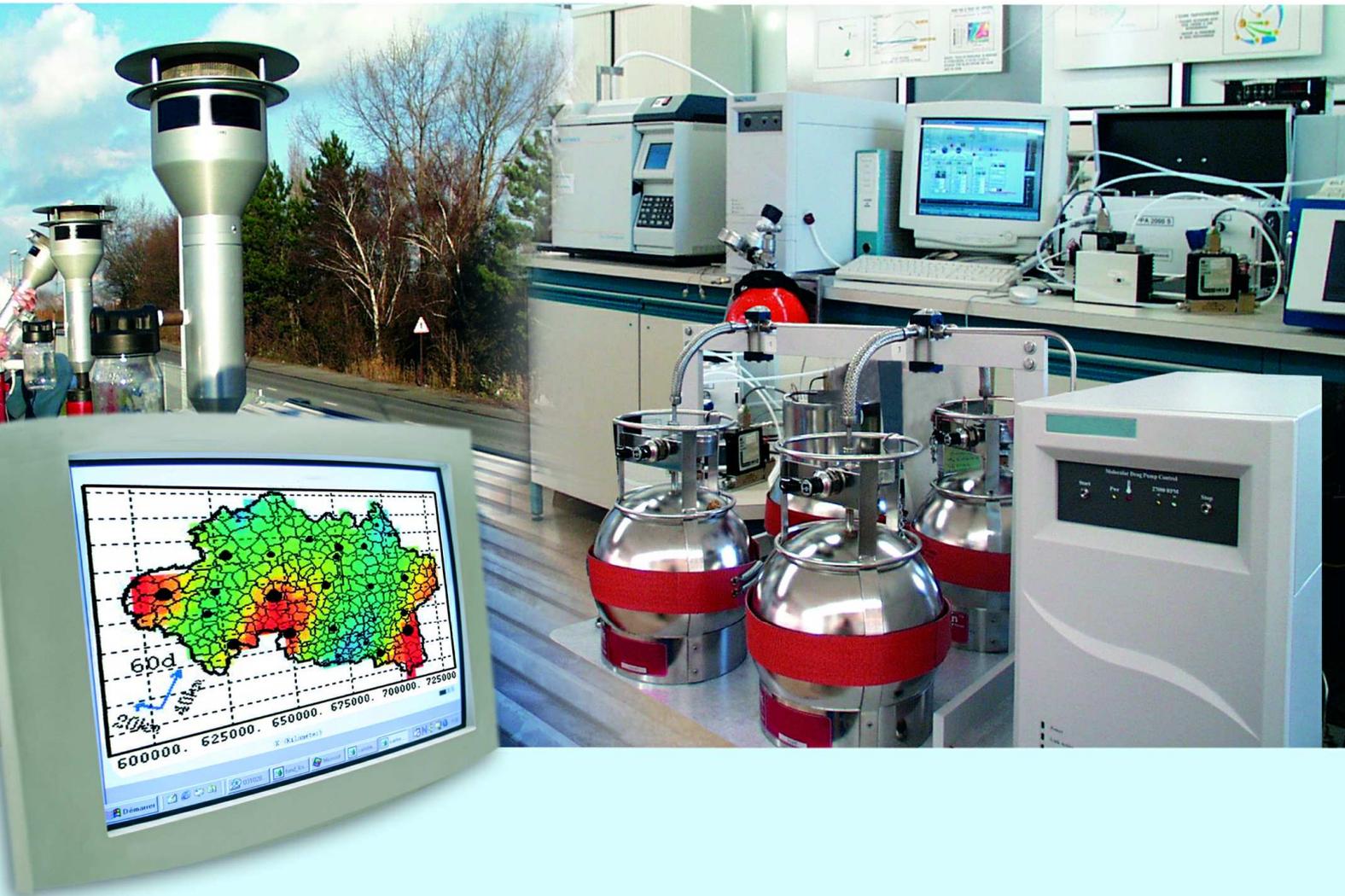




Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Etudes métrologiques sur les appareils de mesure automatiques Rapport 4/4
Version finale 2005

**Contrôles métrologiques périodiques et à réception des
analyseurs par les AASQA, conformément aux exigences
normatives européennes - Révision 2005**

Novembre 2005
Convention: 05000051

Y. GODET





Ministère de l'Écologie
et du Développement Durable

PREAMBULE

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

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

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



Ministère de l'Écologie
et du Développement Durable

Contrôles métrologiques périodiques et à réception des analyseurs par les AASQA, conformément aux exigences normatives européennes – Révision 2005

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

Mesure des polluants réglementés Appareils automatiques

Convention 05000051

Financée par la Direction des Préventions des Pollutions et des Risques
(DPPR)

Novembre 2005

Y. GODET - C. RAVENTOS

Ce document comporte 24 pages (hors couverture et annexes).

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Y. GODET / C. RAVENTOS	J. POULLEAU	M.RAMEL
Qualité	Unité Qualité de l'Air Direction des Risques Chroniques	Unité Qualité de l'Air Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIERES

1. RESUMÉ.....	3
2. INTRODUCTION	4
3. DEFINITIONS	5
4. CONTRÔLES MÉTROLOGIQUES DES ANALYSEURS.....	7
4.1 Prescriptions normatives en terme de contrôles metrologiques des analyseurs.....	7
4.2 Autres contrôles non imposés par les normes, pouvant être mis en œuvre..	8
4.2.1 Lors de l'installation initiale d'un analyseur neuf ou en retour de réparation	8
4.2.1.1 Vérifications générales.....	8
4.2.1.2 Configuration d'utilisation	9
4.2.1.3 Contrôle métrologiques supplémentaires	10
4.2.2 Lors de l'installation initiale d'un analyseur neuf, en retour de réparation, en contrôle périodique	10
5. PROTOCOLES DES CONTRÔLES METROLOGIQUES	11
5.1 Contrôles métrologiques imposés par les normes	11
5.1.1 écart de linéarité	11
5.1.1.1 Protocole à mettre en œuvre lors du contrôle de l'écart de linéarité sur un analyseur neuf.....	11
5.1.1.2 Protocole à mettre en œuvre lors du contrôle periodique de l'écart de linéarité.....	13
5.1.2 Rendement du four de conversion des analyseurs de NOx.....	14
5.2 Contrôles métrologiques non imposés par les normes	15
5.2.1 Temps de réponse.....	15
5.2.2 écart-type de répétabilité	17
5.2.3 Dérive à court terme	19
5.2.3.1 Pour les analyseurs de NO/NO ₂ , SO ₂ , O ₃ et CO : dérive sur 12 h	19
5.2.3.2 Pour les analyseurs de C ₆ H ₆ : dérive sur 24 h.....	20
5.2.3.3 Spécifications de dérive	20
6. RÉFÉRENCES	20
7. LISTE DES ANNEXES	22

ANNEXE 1 VALEURS LIMITES	23
ANNEXE 2 FACTEURS DE CONVERSIONS CONCENTRATIONS MASSIQUES / CONCENTRATIONS VOLUMIQUES	24

1. RESUME

Suite à la parution au second semestre 2005 des normes NF EN 14211¹, NF EN 14212², NF EN 14625³, NF EN 14626⁴ et NF EN 14662-4⁵, relatives respectivement aux mesures de NO-NO₂, SO₂, O₃, CO et benzène, le guide de réception des analyseurs, c'est à dire de contrôle des appareils neufs et en retour de réparation, qui avait été rédigé par le LCSQA-INERIS en 1999 en s'appuyant sur la norme X 20-300⁶, puis révisé en 2003 alors que les normes européennes étaient à l'état de projet, a été révisé fin 2005.

La présente révision du guide a pour objectif de présenter les exigences en matière de contrôles métrologiques des analyseurs, à réception d'analyseurs neufs et périodiquement en routine, telles que fixées dans les versions définitives des normes. Ces exigences couvrent à la fois les procédures à appliquer pour la réalisation des contrôles, la périodicité des contrôles et les critères de performances à respecter.

Par rapport à la version précédente du guide, les éléments nouveaux, outre la mise à jour des exigences requises, sont les suivants :

- La version précédente du guide ne concernait que les analyseurs neufs et en retour de réparation ; dans la version 2005, il est également spécifié les contrôles métrologiques à effectuer périodiquement ;
- La version précédente du guide concernaient les contrôles métrologiques des analyseurs d' NO-NO₂, SO₂, O₃ et CO ; la version révisée concerne aussi les analyseurs de benzène ;
- Il est fait la distinction entre les contrôles métrologiques imposés par les normes et ceux qui ne sont pas imposés à l'utilisateur de l'analyseur mais qui sont toutefois réalisés par certaines AASQA notamment parce que ce sont de bons indicateurs de dysfonctionnement de l'appareil.

¹ NF EN 14211 - Juillet 2005 : « Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en dioxyde d'azote et monoxyde d'azote par chimiluminescence »

² NF EN 14212 - Juillet 2005 : « Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en dioxyde de soufre par fluorescence UV »

³ NF EN 14625 - Juillet 2005 : « Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée de mesurage de la concentration d'ozone par photométrie UV »

⁴ NF EN 14626 - Juillet 2005 : « Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée de mesurage de la concentration en monoxyde de carbone par la méthode à rayonnement infrarouge non dispersif »

⁵ NF EN 14662-3 - Décembre 2005 : « Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en benzène - Partie 3 : prélèvement par pompage automatique avec analyse chromatographique en phase gazeuse sur site »

⁶ NF X 20-300 – Mai 1994 « Qualité de l'air - Évaluation des caractéristiques des analyseurs de gaz sur banc d'essai »

Il est à noter qu'en ce qui concerne les contrôles métrologiques à effectuer à réception d'un analyseur neuf, ceux effectués par le constructeur avant envoi de l'analyseur ou, le cas échéant, lors d'essais d'approbation de type du modèle, peuvent être pris en compte par l'utilisateur qui peut alors s'affranchir de les refaire.

Ceci implique toutefois que les essais soient effectués conformément aux procédures décrites dans les normes et que le système qualité interne de l'utilisateur permette l'utilisation de tels résultats (par exemple dans le cas d'une AASQA accréditée selon la norme NF/ISO/CEI 17025⁷, l'étalonnage d'un matériel doit être réalisé en interne ou ne peut être confié en externe qu'à un prestataire lui-même accrédité pour l'étalonnage en question, ce qui n'est pas le cas des fabricants d'appareils).

2. INTRODUCTION

En 1999, un guide de réception des analyseurs, c'est à dire de contrôle des appareils neufs et en retour de réparation, avait été rédigé par le LCSQA-INERIS en s'appuyant sur la norme X 20-300. Ce guide a été mis à jour en juin 2003 alors que les normes NF EN 14211, NF EN 14212, NF EN 14625 et NF EN 14626, relatives respectivement aux mesures de NO-NO₂, SO₂, O₃ et CO étaient à l'état de projet. L'objectif était de présenter, dans cette mise à jour, les pratiques de certaines AASQA en matière de contrôles métrologiques réalisés sur les analyseurs neufs, et de réviser les protocoles de test à appliquer, de façon à ce qu'ils soient conformes aux prescriptions des normes européennes ; en effet, outre la description de la méthode de mesure, les quatre normes décrivent les tests à mettre en œuvre lors des essais d'approbation de type (ou évaluation) d'un analyseur, ainsi que les contrôles métrologiques que doit effectuer l'utilisateur lors de l'installation initiale d'un analyseur, puis périodiquement. Il est à noter que les guides versions 1999 puis 2003, ne concernaient que les analyseurs neufs et en retour de réparation.

Avant la publication des quatre normes sus-citées et depuis la mise à jour de 2003 du guide LCSQA-INERIS, certains points des normes ont été modifiés. Le présent rapport a donc pour objectif de réviser le guide pour qu'il soit en conformité avec les exigences normatives désormais applicables et de le compléter en présentant également les contrôles périodiques qui doivent être mis en œuvre. Le guide s'applique également à la mesure de benzène réalisée au moyen d'un analyseur automatique selon la norme NF EN 14662-3.

Les contrôles métrologiques réalisés lors de l'installation initiale d'un analyseur doivent permettre de s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil, avant sa mise en service. Les tests effectués ensuite périodiquement ont pour objectif de vérifier que les caractéristiques de performance de l'appareil restent conformes à des critères de performance fixés dans les normes ou par l'utilisateur, garantissant la fiabilité et la qualité de la mesure, en terme de justesse et d'incertitude associée aux résultats de mesurage.

⁷ NF EN ISO/CEI 17025 – Septembre 2005 Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais

L'étude « Harmonisation des contrôles métrologiques » (Etude LCSQA/INERIS 2004-2005) a en outre montré que certains contrôles métrologiques peuvent être des indicateurs de dysfonctionnements ou de dérive des appareils, problèmes qui ne sont pas toujours détectés lors des mesures.

Le présent rapport présente les tests à mettre en œuvre à minima pour respecter les exigences normatives : écart de linéarité, rendement du convertisseur des analyseurs d'oxydes d'azote, ainsi que ceux qui ne sont pas imposés mais peuvent être utiles pour mettre en évidence un dysfonctionnement de l'appareil ; la répétabilité est un de ces tests de détection utilisés. Ces derniers sont ceux qui ont été cités comme tels par les AASQA lors de l'enquête qui a leur été envoyée dans le cadre de l'étude relative à l'harmonisation des contrôles métrologiques. Il convient de noter que leur mise en œuvre ne relevant pas d'une exigence normative, leur réalisation ne peut être effectuée qu'en tenant compte des contraintes tant sur le plan des moyens matériels que sur le plan des unités d'œuvre nécessaires pour les mettre en œuvre.

3. DEFINITIONS

Il a semblé nécessaire de préciser la définition d'un certain nombre de termes utilisés dans le présent rapport, en vue également d'une harmonisation de ces termes au sein des AASQA, du LCSQA ou encore de l'ADEME.

Ainsi les termes les plus couramment utilisés par les AASQA, l'ADEME, le LCSQA sont ci-après « confrontés » à ceux utilisés dans les normes, lesquels devraient être privilégiés. Ils sont notés dans les « autres termes utilisés ».

- **Test de bon fonctionnement à l'installation initiale** (§9.3 des normes NF EN 14211, 14212, 14625 et 14626) : tests que doit effectuer l'utilisateur lors de l'installation initiale de l'analyseur et du système de prélèvement dans la station.

Autres termes utilisés :

- réception de l'analyseur
 - qualification de l'appareil neuf
 - recette primitive
 - contrôle de conformité initiale
- **Contrôles qualité en routine** (§9.4 des normes NF EN 14211, 14212, 14625 et 14626) : dans les normes citées en référence, ces contrôles désignent :
 - l'étalonnage de l'analyseur (§9.5 des normes NF EN 14211, 14212, 14625 et 14626) : correspond à l'injection de gaz pour étalonnage, suivie au besoin de l'ajustage de l'analyseur
 - les contrôles (§9.6 des normes NF EN 14211, 14212, 14625 et 14626), comprenant notamment :
 - ↳ les contrôles métrologiques suivants : écart de linéarité (§9.6.3) et rendement de conversion (pour les analyseurs de NO/NO₂ par chimiluminescence : §9.6.4) :

Autres termes utilisés :

- contrôle métrologique périodique

- qualification périodique
- contrôle de conformité périodique
- recette périodique
- ↔ les contrôles au zéro et au point d'échelle (§9.6.2 des normes NF EN 14211, 14212, 14625 et 14626)

Autres termes utilisés :

- étalonnage
- maintenance conditionnelle
- ↔ la maintenance (§9.7 des normes NF EN 14211, 14212, 14625 et 14626)

Autre terme utilisé : maintenance préventive.

- **Approbation de type** : décision prise par un organisme désigné selon laquelle le modèle d'un analyseur est conforme aux exigences d'un référentiel
Autre terme utilisé : certification ; terme plus large : elle requiert outre les essais d'approbation de type, le contrôle, par des audits, du suivi de l'assurance qualité et de la conformité des produits par le constructeur
- **Essai d'approbation de type** : examen de deux ou plusieurs analyseurs de même modèle qui sont confiés par un fabricant à un organisme désigné ; cet examen inclut les essais nécessaires à l'approbation de type.
Autre terme utilisé : évaluation
- **Etendue de mesure certifiée** : plage de concentration pour laquelle l'analyseur est approuvé
- **Etalonnage** : comparaison de la réponse de l'analyseur à une concentration en gaz connue avec une incertitude connue
- **Linéarité** : écart maximal de la moyenne d'une série de mesurages effectués à la même concentration par rapport à la droite de régression linéaire
- **Mesurage indépendant** : mesurage élémentaire qui n'est pas influencé par un mesurage précédent et qui s'obtient en séparant deux mesurages élémentaires par au moins quatre temps de réponse
- **Mesurage individuel** : mesurage intégré sur une période de temps égale au temps de réponse de l'analyseur.
- **Rendement de conversion** : efficacité de la conversion du NO₂ en NO du four convertisseur.
- **Répétabilité (des résultats de mesurage)** : étroitesse de l'accord entre les résultats de mesurages élémentaires successifs de monoxyde d'azote et de dioxyde d'azote, etc... effectués dans les mêmes conditions de mesurage

NOTE : Ces conditions sont appelées conditions de répétabilité en laboratoire et incluent :

- la même méthode de mesure ;
- le même observateur ;
- le même analyseur, utilisé dans les mêmes conditions ;
- le même lieu ;
- la répétition au cours d'une courte période de temps.

- **Temps mort** : intervalle de temps entre l'instant où l'on applique un échelon de la concentration, mesurée à l'entrée de l'analyseur, et l'instant où le signal de sortie atteint un niveau correspondant à 10 % du signal de sortie stabilisé
- **Temps de réponse** : Intervalle de temps entre l'instant où l'on applique un échelon de la concentration, mesurée à l'entrée de l'analyseur, et l'instant où le signal de sortie atteint un niveau correspondant à 90 % du signal de sortie stabilisé.
- **Temps de réponse à la descente** : temps de réponse pour un échelon décroissant de concentration ; somme du temps mort (descente) et du temps de descente.
- **Temps de réponse à la montée** : temps de réponse pour un échelon croissant de concentration ; somme du temps mort (montée) et du temps de montée.
- **Valeur limite** : valeur limite (par exemple horaire, annuelle) telle que définie dans la réglementation européenne

4. CONTROLES METROLOGIQUES DES ANALYSEURS

4.1 PRESCRIPTIONS NORMATIVES EN TERME DE CONTROLES METROLOGIQUES DES ANALYSEURS

NOTE : le présent paragraphe ne concerne que les contrôles métrologiques des appareils ; ils ne concernent pas les autres contrôles de routine et de maintenance.

Les contrôles métrologiques prévus par les normes NF EN 14211, NF EN 14212, NF EN 14625 et NF EN 14626, NF EN 14662-3 en ce qui concerne les analyseurs sont les suivants :

- **Lors de l'installation initiale, c'est à dire sur analyseur neuf** : l'analyseur doit être testé pour vérifier son bon fonctionnement.

Pour les mesures de NO₂/NO, SO₂, O₃ et CO, le test de bon fonctionnement est décrit au chapitre 9.3 des normes NF EN 14211, NF EN 14212, NF EN 14625 et NF EN 14626 (« Installation initiale »). Il comprend les contrôles métrologiques suivants :

- Un contrôle d'écart de linéarité en laboratoire avant l'installation ou sur site lors de l'installation, réalisé conformément aux mode opératoire défini dans le cas des essais d'approbation de type, et repris au paragraphe 5.1.1.1 du présent rapport ;
- Pour les analyseurs d'oxydes d'azote : le test de rendement du convertisseur ; le test doit également être effectué selon le protocole défini pour les essais d'approbation de type et décrit au paragraphe 5.1.2 du présent rapport.

Pour les mesures de benzène, le test de bon fonctionnement à l'installation initiale, est décrit aux chapitres 9.3.4 et 9.4 de la norme NF EN 14662-3. Le calcul de la concentration massique en benzène implique de déterminer la fonction d'étalonnage de l'analyseur.

Cette fonction d'étalonnage est établie à partir des réponses de l'analyseur au test d'écart de linéarité. Cette fonction d'étalonnage est déterminée en laboratoire. Une fois l'analyseur installé sur site, ses réponses à un gaz de zéro et à un point d'échelle doivent être vérifiées et comparées aux données de la fonction d'étalonnage ; un contrôle de linéarité est recommandé.

- En routine (c'est à dire périodiquement) :

Pour les mesures de NO₂/NO, SO₂, O₃ et CO, les normes imposent :

- Un contrôle d'écart de linéarité : le contrôle sur site peut être simplifié par rapport à celui mis en œuvre à l'installation initiale de l'appareil comme précisé au paragraphe 5.1.1.2 du présent rapport.

La fréquence est fixée à un contrôle dans l'année qui suit la mise en place de l'analyseur, puis une vérification tous les 3 ans si l'écart de linéarité est inférieur ou égal à 2% ou tous les ans si l'écart est compris entre 2 et 6% (6% étant le seuil à ne pas dépasser) ;

- Pour les analyseurs d'oxydes d'azote : le contrôle du rendement de conversion qui doit être testé au moins une fois par an pour vérifier qu'il est supérieur à 95% ; le test est effectué selon le même protocole que lors des essais d'approbation de type.

Dans le cas du benzène, le contrôle de linéarité est imposé après chaque réparation de l'appareil.

4.2 AUTRES CONTROLES NON IMPOSES PAR LES NORMES, POUVANT ETRE MIS EN ŒUVRE

L'objectif de ces contrôles et vérifications non imposés par les normes est de s'assurer du bon fonctionnement de l'analyseur, de détecter un dysfonctionnement éventuel, de vérifier la stabilité du signal, ou encore de comparer ses performances à celles annoncées par le constructeur.

4.2.1 LORS DE L'INSTALLATION INITIALE D'UN ANALYSEUR NEUF OU EN RETOUR DE REPARATION

4.2.1.1 VERIFICATIONS GENERALES

Vérification de l'instrument

Il s'agit de vérifier quelques paramètres de fonctionnement, selon les possibilités de l'appareil, tels que :

- les paramètres accessibles par le multiplexeur,
- le débit d'échantillonnage,
- éventuellement, et selon le système informatique en station, les tests de défauts, de télécommande et de fuite.

Ces différents paramètres sont à comparer aux tolérances ou aux plages de variation données par le constructeur, lorsqu'elles existent.

Vérification des signaux émis par l'analyseur

Les vérifications sont effectuées :

- soit sur l'affichage digital en façade de l'analyseur,
- soit sur la sortie analogique,
- soit sur la sortie numérique.

La cohérence entre l'affichage digital et la sortie analogique ou numérique doit également être vérifiée.

4.2.1.2 CONFIGURATION D'UTILISATION

Gammes

Les méthodes de mesure du NO-NO₂, du SO₂, de l'O₃, du CO et du C₆H₆ décrites dans les normes européennes s'appliquent aux déterminations des concentrations en mesurandes présents dans l'air ambiant dans les plages suivantes :

NO	0-1200 µg/m ³ soit 0-962 ppb
NO ₂	0-500 µg/m ³ soit 0-262 ppb
SO ₂ *	0-1000 µg/m ³ soit 0-376 ppb
O ₃	0-500 µg/m ³ soit 0-250 ppb
CO	0-100 mg/m ³ soit 0-86 ppm
C ₆ H ₆	0,5-50 µg/m ³

Ces plages de concentrations représentent les étendues de mesure certifiées pour les essais d'approbation de type. Dans la mesure du possible, ce sont les gammes qui seront utilisées sur site, ou les gammes immédiatement au-dessus : 0-1000 ppb pour NO, 0-500 ppb pour SO₂, 0-100 ppm pour CO, 0-500 ppb pour O₃ si l'analyseur ne permet pas de se placer sur une plage 0-250 ppb.

Toutefois, d'autres plages peuvent être utilisées par exemple une plage plus faible pour des mesures de NO₂ en zone rurale, ou une plage plus élevée par exemple pour des mesures de SO₂ sur site industriel.

Ces plages de concentrations ont été fixées en tenant compte des valeurs limites, qui sont rappelés en annexe 1.

Configuration du temps d'intégration

La plupart des analyseurs sont capables de fournir un signal de sortie sous forme de moyenne mobile sur une période de temps ajustable. Certains modèles d'analyseurs modifient automatiquement le temps sur lequel est effectué le calcul de la concentration moyenne, appelé « temps d'intégration », en fonction de la fréquence et de l'amplitude des fluctuations de la concentration du polluant mesuré. Le calcul d'une moyenne sur un temps d'intégration est généralement utilisé pour lisser les données de sortie lorsque celles-ci sont stables ; un « filtre actif » c'est à dire la modification automatique de la constante d'intégration lors d'une variation de concentration importante permet de mesurer des pics de concentration. Les performances d'un analyseur, notamment son temps de réponse et son aptitude à mesurer des variations rapides de concentration,

dépendent donc de la constante d'intégration retenue. Il est nécessaire que la valeur choisie pour le temps d'intégration ou que l'usage d'un filtre actif permettent d'obtenir des caractéristiques de performance conformes aux prescriptions normatives et en adéquation avec les caractéristiques du site (amplitude et fréquence des variations de concentration) sur lequel est implanté l'analyseur.

4.2.1.3 CONTROLE METROLOGIQUES SUPPLEMENTAIRES

Temps de réponse :

Le temps de réponse permet de qualifier un appareil neuf, de s'assurer de la conformité au critère normatif et à la valeur maximale annoncée dans la notice du constructeur.

Par ailleurs, dans les normes européennes relatives aux mesures de NO/NO₂, SO₂, O₃, et CO, lors de la mise en œuvre des essais d'approbation de type et des contrôles métrologiques, les mesurages sont pris égaux à une intégration de la réponse de l'analyseur sur un temps équivalent au temps de réponse (mesurage élémentaire). Lorsque des analyseurs sont contrôlés en AASQA, les données peuvent être traitées de trois façons : en utilisant le temps de réponse propre à l'appareil, en utilisant celui donné dans le rapport d'évaluation du modèle s'il a fait l'objet d'essais d'approbation de type, ou en appliquant par défaut le critère de spécification à respecter. Si la procédure d'essai de l'AASQA prévoit d'utiliser le temps de réponse propre à l'appareil, il convient alors de le déterminer à réception de l'analyseur neuf.

Le protocole de mise en œuvre est décrit au paragraphe 5.2.1.

Dérive à court terme sur 12 h

Certaines AASQA contrôlent la dérive de l'analyseur sur 12h à réception de l'appareil neuf. L'objectif est alors de vérifier que la valeur est conforme à celle donnée par le constructeur et au critère de performance normatif. Ce test n'apparaît cependant pas comme déterminant pour la détection de défaut de l'appareil et comme indispensable. Toutefois le protocole de mise en œuvre est donné au paragraphe 5.2.3.

4.2.2 LORS DE L'INSTALLATION INITIALE D'UN ANALYSEUR NEUF, EN RETOUR DE REPARATION, EN CONTROLE PERIODIQUE

Répétabilité

Lors de l'enquête auprès des AASQA dans le cadre de l'étude relative à l'harmonisation des contrôles métrologiques, il est apparu que le contrôle de répétabilité de l'analyseur, permettait :

- De vérifier la conformité aux critères normatifs et aux performances annoncées par le constructeur,
- De vérifier la stabilité du signal,
- De détecter des dysfonctionnements.

Il paraît donc utile au maintien de la qualité des mesures et du bon fonctionnement des appareils.

Le protocole de mise en œuvre est décrit au paragraphe 5.2.2.

5. PROTOCOLES DES CONTROLES METROLOGIQUES

5.1 CONTROLES METROLOGIQUES IMPOSES PAR LES NORMES

5.1.1 ECART DE LINEARITE

5.1.1.1 PROTOCOLE A METTRE EN ŒUVRE LORS DU CONTROLE DE L'ECART DE LINEARITE SUR UN ANALYSEUR NEUF

La linéarité de l'analyseur est étudiée dans la plage comprise entre 0 % et 95 % de la valeur maximale de l'étendue de mesure certifiée en utilisant au moins six concentrations (dont le point zéro). Les concentrations sont appliquées dans l'ordre suivant : 80 %, 40 %, 0 %, 60 %, 20 % et 95 %.

Pour chaque concentration (notamment zéro), au moins cinq lectures indépendantes sont effectuées.

Le calcul de la fonction de régression linéaire et des résidus est réalisé comme décrit ci-après.

L'analyseur doit être réglé à une concentration d'environ 90 % de la valeur maximale de la gamme de mesure. La linéarité de l'analyseur est étudiée dans la plage comprise entre 0 % et 95 % de la valeur maximale de l'étendue de mesure en utilisant au moins six concentrations (dont le point zéro). Pour chaque concentration (notamment zéro), au moins cinq mesurages individuels doivent être effectués.

Dans le cas des analyseurs de NO/NO₂, SO₂, O₃ et CO :

- Les concentrations et dans l'ordre dans lequel elles doivent être appliquées sont les suivants : 80 %, 40 %, 0 %, 60 %, 20 % et 95 % de la gamme mesure ;
- Pour chaque concentration, au moins 5 mesurages indépendants doivent être effectués.
- Pour ce test de linéarité, les concentrations appliquées sont obtenues en général à partir d'une bouteille unique à haute concentration suivie d'un système de dilution à taux variables entre le constituant et le gaz de complément.
- Pour les analyseurs d'oxyde d'azote, le test est réalisé sur la voie NO.

Dans le cas des analyseurs de benzène :

- Le contrôle doit être effectué aux concentrations suivantes : 0 ou une valeur inférieure à la limite de détection, 5 µg/m³ ± 10% (soit 5% de la valeur maximale de l'étendue de mesure si celle-ci est égale à 50 µg/m³), 15 µg/m³ ± 10% (soit 30% de 50 µg/m³), 25 µg/m³ ± 10% (soit 50% de 50 µg/m³), 35 µg/m³ ± 10% (soit 70% de 50 µg/m³), et 45 µg/m³ ± 10% (soit 90% de 50 µg/m³) ;

- Pour chaque concentration, au moins 6 mesurages indépendants doivent être effectués, le premier mesurage étant exclu de l'analyse des données.

Etablissement de la droite de régression linéaire

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

Le calcul de la régression est effectué avec les résultats des six niveaux de concentration. Le nombre total de points de mesure n est égal au nombre de niveaux de concentration p (au moins 6) multiplié par le nombre de répétitions m à chaque niveau de concentration (au moins 5).

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

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

n : nombre total de mesures ; $n = m \times p$

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 : $\bar{c} = \sum_{i=1}^n c_i$

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

- Au niveau zéro : le résidu correspond à la différence entre la valeur moyenne mesurée \bar{Y}_0 et la concentration générée ($c_j = c_0$), c'est à dire est égal à \bar{Y}_0 .
- Aux autres niveaux de concentration : le résidu de moyenne de chaque concentration d'essai est calculé comme suit :

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

$$\bar{Y}_j = \sum_{k=1}^m (Y_k)_{c_j} / m \quad \text{en ppb}$$

où $(Y_k)_{c_j}$: $k^{\text{ième}}$ 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 (y compris le point zéro) :

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

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

$$(dr)_{cj} = \frac{dc_j}{Y_j} \times 100 \quad \text{en \% du niveau de concentration}$$

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.

Spécifications d'écart de linéarité :

Les spécifications que doivent respecter les analyseurs neufs sont données dans le tableau qui suit :

	NO-NO ₂	SO ₂	O ₃	CO	C ₆ H ₆
Au zéro $\overline{Y}_0 \leq \text{à} :$	5 ppb (en NO)	5 ppb	5 ppb	0,2 ppm	-
En concentration $(dr)_{cj} \leq \text{à}$	4%	4%	4%	4%	5%

NOTE : certains fabricants réalisent le contrôle de linéarité de l'analyseur avant sa livraison. Il peut être envisagé d'exploiter ce contrôle sans refaire le test à réception d'analyseur neuf, sous réserve que :

- le protocole appliqué par le constructeur soit conforme à celui des normes ;
- le système qualité de l'AASQA le permette, en l'occurrence si l'AASQA n'est pas accréditée selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 ; en effet si l'AASQA est accréditée elle doit assurer ses opérations d'étalonnages en interne ou en les sous-traitant à un organisme lui-même accrédité pour la réalisation du test, ce qui n'est en général pas le cas des constructeurs d'analyseurs.

5.1.1.2 PROTOCOLE A METTRE EN ŒUVRE LORS DU CONTROLE PERIODIQUE DE L'ECART DE LINEARITE

Dans le cas des analyseurs de NO/NO₂, SO₂, O₃ et CO, le protocole de contrôle de linéarité périodique sur site peut être « allégé » :

- En effectuant le test à 4 niveaux de concentration au lieu de 6 : 0%, 20%, 60% et 95% de la gamme,
- En réalisant au moins 2 mesurages indépendants au lieu de 5.

La fréquence du contrôle de linéarité périodique dépend notamment des résultats obtenus. Le test doit être mis en œuvre :

- dans l'année qui suit l'installation sur site et après une réparation,
- puis tous les 3 ans si le résidu maximum est inférieur à 2%, ou tous les ans si le résidu maximum est compris entre 2 et 6% (au-delà de 6%, l'analyseur doit être retiré du site pour en rechercher la cause et mettre en œuvre une action curative).

Pour les analyseurs de C₆H₆, il n'est pas proposé d'allègement de la procédure, mais la norme n'impose de mettre en œuvre le contrôle qu'après réparation.

5.1.2 RENDEMENT DU FOUR DE CONVERSION DES ANALYSEURS DE NOX

Ce test est effectué pour les analyseurs d'oxydes d'azote NO/NO₂. Le même protocole est à appliquer lors du contrôle sur analyseur neuf et lors du contrôle périodique.

Le rendement de conversion est déterminé par des mesurages effectués avec des teneurs calculées de NO₂.

Une méthode qui peut être appliquée est le titrage en phase gazeuse de concentrations connues de NO, ce dernier étant oxydé en NO₂ en présence d'ozone.

L'essai doit être réalisé à deux niveaux de concentration : environ 50 % et 95 % de la valeur maximale de l'étendue de mesure certifiée de NO₂.

Le rendement est calculé selon cette méthode différentielle entre les variations du NO et celles du NO₂, ce qui permet d'éliminer les erreurs systématiques.

L'essai est effectué selon les étapes suivantes :

- Une concentration connue en NO d'environ 50% de l'étendue de mesure certifiée de NO (soit environ 500 ppb de NO) doit alimenter l'analyseur jusqu'à l'obtention d'un signal de sortie stabilisé. Après une période d'attente égale à quatre fois le temps de réponse de l'analyseur, quatre mesurages élémentaires sont effectués sur les canaux NO et NO_x.
- Le NO est ensuite mis en réaction avec l'O₃ pour produire la concentration en NO₂ requise, soit environ 50% de l'étendue de mesure certifiée de NO₂, c'est à dire environ 130 ppb. Ce mélange, dont la concentration en NO_x est constante, doit alimenter l'analyseur jusqu'à l'obtention d'un signal de sortie stabilisé. Après une période d'attente égale à quatre fois le temps de réponse de l'analyseur; quatre mesurages élémentaires en NO et en NO_x sont effectués.
- Au cours de l'essai suivant, la concentration en ozone appliquée doit permettre de produire une concentration de NO₂ d'environ 95% de l'étendue de mesure certifiée de NO₂, c'est à dire environ 250 ppb. Quatre mesurages en NO et NO_x sont effectués après stabilisation de la concentration puis un temps d'attente équivalent à quatre temps de réponse.
- Puis l'alimentation en ozone est arrêtée et la concentration initiale en NO injectée afin de s'assurer que les concentrations mesurées sur les voies NO et NO_x n'ont pas varié de plus de 1% des valeurs initiales.

Le calcul du rendement de conversion est effectué comme suit, pour chacun des deux niveaux de concentration en NO₂ testés :

$$E_{conv} = \left(1 - \frac{(NO_x)_i - (NO_x)_f}{(NO)_i - (NO)_f} \right) \times 100 \%$$

où :

E_{conv} est le rendement de conversion en % ;

$(NO_x)_i$ est la moyenne des quatre mesurages élémentaires sur le canal NO_x à la concentration initiale en NO_x ;

$(NO_x)_f$ est la moyenne des quatre mesurages élémentaires sur le canal NO_x à la concentration résultante en NO_x après application de l' O_3 ;

$(NO)_i$ est la moyenne des quatre mesurages élémentaires sur le canal NO à la concentration initiale en NO ;

$(NO)_f$ est la moyenne des quatre mesurages élémentaires sur le canal NO à la concentration résultante en NO après application de l' O_3 .

La plus faible des deux valeurs de rendement de conversion doit être consignée dans le rapport.

Spécifications :

Le rendement du four de conversion doit être :

- supérieur ou égal à 98% lorsque l'analyseur est neuf,
- supérieur à 95 % lors du contrôle périodique, qui doit être effectué au moins une fois par an, conformément à la prescription du §9.6.4 de la norme NF EN 13211.

Connaissant le rendement du four de conversion, les mesures de NO_2 obtenues, pourront être corrigées.

NOTE : comme pour l'écart de linéarité, si le fabricant a réalisé le contrôle du rendement de conversion spécifiquement sur l'appareil livré, en suivant le protocole de la norme, il peut être envisagé d'exploiter ce contrôle sans refaire le test à réception d'analyseur neuf. Toutefois si l'utilisateur de l'appareil est accrédité pour la mesure de NO- NO_x - NO_2 , il devra refaire lui-même ce test ou le confier à un prestataire accrédité, car en général les fabricants d'analyseurs ne sont pas accrédités pour ce contrôle.

5.2 CONTROLES METROLOGIQUES NON IMPOSES PAR LES NORMES

5.2.1 TEMPS DE REPONSE

La détermination du temps de réponse doit être effectuée au débit nominal de prélèvement spécifié par le fabricant, en appliquant à l'analyseur une fonction échelon de la concentration, entre moins de 20 % (en général un gaz de zéro est utilisé) et jusqu'à environ 80 % de la valeur maximale de l'étendue de mesure certifiée pour le temps de réponse à la montée et vice versa pour le temps de réponse à la descente.

Il est nécessaire que la commutation entre les deux concentrations soit effectuée presque instantanément au moyen d'une vanne appropriée. La sortie de la vanne doit être montée directement sur l'entrée de l'analyseur, et les débits d'alimentation pour les deux concentrations doivent présenter approximativement le même débit d'excès assuré par une pièce en T.

Les débits d'alimentation doivent être choisis de manière à ce que le temps mort dans la vanne et la pièce en T soit négligeable par rapport au temps mort de l'analyseur.

L'échelon de concentration est réalisé en commutant la vanne permettant de passer de l'injection du gaz de concentration inférieure à 20% de l'étendue de mesure, au gaz de concentration supérieure. Cet événement doit être chronométré et marque le début ($t = 0$) du temps mort à la montée. Lorsque la lecture n'a pas varié de plus de $\pm 2\%$ de la concentration appliquée, la commutation peut être effectuée en sens inverse, et cet événement marque le début ($t = 0$) du temps mort à la descente. Lorsque la lecture n'a pas varié de plus de $\pm 2\%$ de la concentration appliquée, le cycle complet est accompli.

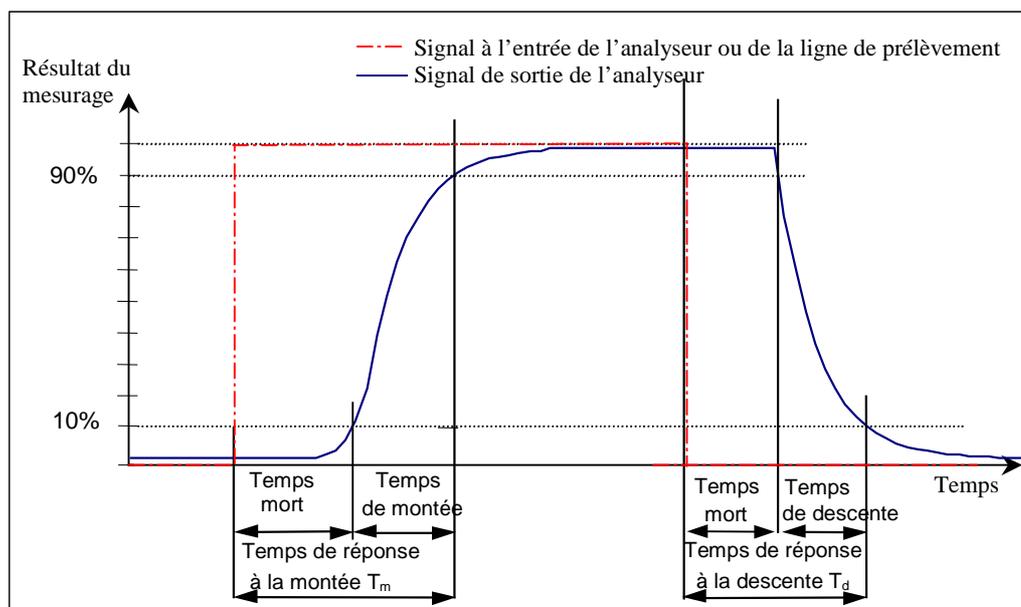


Figure 1 — Graphique illustrant le temps de réponse

Le temps de réponse est le temps écoulé entre le début de la variation en échelon et le moment où 90% de la lecture finale stabilisée de la concentration appliquée est atteinte. Le temps mort correspond au temps écoulé entre le début de la variation en échelon et le moment où 10% de la lecture finale stabilisée est atteinte.

Le cycle complet doit être répété quatre fois. La moyenne des 4 temps de réponse à la montée et celle des 4 temps de réponse à la descente doivent être calculées.

La différence relative entre le temps de réponse à la montée et le temps de réponse à la descente est calculée comme suit :

$$T_{diff} = \left| \frac{\overline{T_m} - \overline{T_d}}{\overline{T_m}} \right| \times 100\%$$

où

T_{diff} est la différence relative entre le temps de réponse à la montée et le temps de réponse à la descente ;

$\overline{T_m}$ est le temps de réponse à la montée ;

$\overline{T_d}$ est le temps de réponse à la descente.

NOTE : pour les analyseurs d'oxydes d'azote, le temps de réponse est déterminé sur la voie NO et sur la voie NO₂.

Spécifications :

Le temps de réponse doit être inférieur ou égal à 180 secondes pour les analyseurs de NO/NO₂, SO₂, O₃ et CO. Pour les appareils séquentiels tels que ceux utilisés pour la mesure de C₆H₆, le test n'est pas réalisé.

La différence entre le temps de réponse à la montée et le temps de réponse à la descente doit être inférieur à 10 % en valeur relative ou inférieur à 10 secondes en valeur absolue.

Périodicité :

Si l'essai est réalisé par l'utilisateur de l'analyseur lors de la réception de ce dernier, il permet alors de le qualifier, de s'assurer de la conformité au critère normatif et à la valeur annoncée par le constructeur. Par ailleurs, il peut être alors utilisé pour les autres contrôles métrologiques, qui sont basés sur la répétition de mesurages individuels, c'est à dire de mesurages intégrés sur une période de temps égale au temps de réponse de l'analyseur. Si le test n'est pas mis en œuvre par l'utilisateur; le temps d'intégration peut être pris égal par défaut au critère de performance à respecter (ce qui présente l'inconvénient d'allonger les contrôles), ou pris égal au temps de réponse déterminé lors des essais d'approbation de type du modèle.

Un contrôle périodique de routine du temps de réponse présente peu d'intérêt car ce n'est pas un indicateur de dysfonctionnement particulier. Il permettrait de s'assurer que le temps de réponse reste conforme au critère de performance normatif, mais une dérive importante du temps de réponse se verra lors de la réalisation des autres tests (lors de la répétition de mesurages individuels on constatera une augmentation progressive des concentrations mesurées) ; cette dérive peut également être détectée pour les analyseurs placés sur un site où les concentrations évoluent rapidement.

5.2.2 ECART-TYPE DE REPETABILITE

Ce test est réalisé :

- pour un gaz de zéro et pour une concentration proche de la valeur limite horaire pour le NO/NO₂, le SO₂, l'O₃ et le CO,
- et à 1/10^{ième} de la valeur limite annuelle et à la valeur limite annuelle pour C₆H₆.

Pour chacune de ces concentrations, une mesure indépendante suivie de 19 mesures individuelles sont réalisées, sauf dans le cas du benzène où le nombre de mesurages peut être limité à 10.

NOTE : lors de la réalisation du contrôle d'écart de linéarité, 5 mesurages indépendants doivent être effectués, ce qui est équivalent, en nombre de mesurages élémentaires, à 1 mesurage indépendant + 20 mesurages élémentaires. Donc l'écart-type de répétabilité peut être calculé sur la base des mesurages effectués lors du contrôle de linéarité, si les niveaux de concentrations testés correspondent ou sont proches de ceux prescrits pour le test de répétabilité.

A partir de ces mesurages, l'écart-type de répétabilité $s_{r,j}$ pour chaque concentration c_j est calculé de la manière suivante :

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

où

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

Y_k est la $k^{\text{ième}}$ mesure au niveau de concentration c_j (ppb) ;

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

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

Spécifications :

Les spécifications que doivent respecter les analyseurs lors de l'essai d'approbation de type sont données dans le tableau qui suit

	NO/NO ₂	SO ₂	O ₃ **	CO *	C ₆ H ₆
Au zéro ≤	1 ppb (en NO)	1 ppb	1 ppb	1 ppm *	0,3 µg/m ³
Au niveau de la valeur limite horaire (VL) ≤	3 ppb	3 ppb	3 ppb	3 ppm *	5% de la VL

* = valeurs de la norme, mais il conviendrait de respecter 0.2 ppm au zéro et 0.3 ppm à la V.L.H (qui est de 8.6 ppm pour le CO).

** prendre la VLH à 120 ppb pour les essais de répétabilité.

Périodicité :

Puisque l'écart-type de répétabilité peut être déterminé sur la base des mesurages effectués lors du test de linéarité, il peut être contrôlé à minima avec la même périodicité que la linéarité, à savoir lors de la réception de l'analyseur neuf si la linéarité est effectuée par l'utilisateur, puis lors des contrôles périodiques de routine tous les ans ou tous les trois ans selon le résultat du test de linéarité. L'adoption de la même périodicité que les contrôles de linéarité permet de ne pas mettre en œuvre de test complémentaire et donc ne pas immobiliser plus de temps l'appareil.

Toutefois, ce test ayant été identifié, lors de l'enquête menée auprès des AASQA dans le cadre de l'étude relative à l'harmonisation des contrôles métrologiques (rapport LCSQA de référence INERIS-DRC/AIRE-05-64990-CRa-n°972), comme un bon indicateur de dysfonctionnement et de vérification de la stabilité du signal, des contrôles complémentaires de ce paramètre en cas de problème sur l'appareil peuvent être envisagés.

5.2.3 DERIVE A COURT TERME

Le protocole d'essai à suivre, lorsqu'un test de dérive à court terme est effectué à réception de l'analyseur, varie selon le type d'analyseur.

5.2.3.1 POUR LES ANALYSEURS DE NO/NO₂, SO₂, O₃ ET CO : DERIVE SUR 12 H

L'analyseur doit être réglé au zéro et à une concentration d'environ 70 % à 80 % de la valeur maximale de l'étendue de mesure certifiée du gaz.

Ensuite, un mesurage indépendant suivi de 19 mesurages élémentaires doivent être effectués, d'abord au zéro puis au point d'échelle. La moyenne des 20 mesurages est calculée au zéro et au point d'échelle.

L'analyseur doit ensuite fonctionner dans les conditions du laboratoire en analysant l'air ambiant.

Au bout de 12 heures, les gaz de zéro puis le gaz d'échelle sont à nouveau introduits dans l'analyseur, et un mesurage indépendant suivi de 19 mesurages élémentaires sont effectués à chaque niveau de concentration. Les moyennes au zéro et au point d'échelle doivent être calculées.

La dérive à court terme au zéro est calculée comme suit :

$$D_{s,z} = (\overline{C_{z,f}} - \overline{C_{z,i}})$$

où

$D_{s,z}$ est la dérive au zéro sur 12 heures, exprimée en ppb pour NO (l'essai est réalisé sur la voie NO), SO₂ et O₃, et en ppm pour CO;

$\overline{C_{z,i}}$ est la moyenne des mesures avec le gaz de zéro au début de la période de dérive, en ppb pour NO, SO₂ et O₃, et en ppm pour CO;

$\overline{C_{z,f}}$ est la moyenne des mesures avec le gaz de zéro à la fin de la période de dérive, en ppb pour NO (l'essai est réalisé sur la voie NO), SO₂ et O₃, et en ppm pour CO.

La dérive à court terme en concentration est calculée comme suit :

$$D_{s,s} = (\overline{C_{s,f}} - \overline{C_{s,i}}) - D_{s,z}$$

où

$D_{s,s}$ est la dérive en concentration sur 12 heures, exprimée en ppb pour NO, SO₂ et O₃, et en ppm pour CO ;

$\overline{C_{s,i}}$ est la moyenne des mesurages en concentration au début de la période de dérive, en ppb pour NO, SO₂ et O₃, et en ppm pour CO ;

$\overline{C_{s,f}}$ est la moyenne des mesurages en concentration à la fin de la période de dérive, en ppb pour NO, SO₂ et O₃, et en ppm pour CO.

5.2.3.2 POUR LES ANALYSEURS DE C₆H₆ : DERIVE SUR 24 H

Dans le cas des analyseurs de benzène, l'essai de dérive sur 24 heures est effectué en un point d'échelle. La norme ne spécifie pas le niveau de concentration à appliquer ; une concentration d'environ 70-80% de la gamme ou proche des concentrations « habituellement » mesurées pourra convenir.

Avant la période de dérive et en fin de période de dérive, 4 mesurages doivent être effectués. Pendant la période de dérive, l'analyseur doit fonctionner dans les conditions du laboratoire en analysant l'air ambiant.

La dérive à court terme, exprimée en pourcentage de la concentration injectée est calculée comme suit :

$$D_{24h} = \frac{|\overline{C_i} - \overline{C_f}|}{\overline{C_i}} \times 100$$

où :

D_{24h} est la dérive au point d'échelle sur 24 heures, exprimée % de la concentration ;

$\overline{C_i}$ est la moyenne des mesurages en concentration au début de la période de dérive, en µg/m³ ;

$\overline{C_f}$ est la moyenne des mesurages en concentration à la fin de la période de dérive, en µg/m³.

5.2.3.3 SPECIFICATIONS DE DERIVE

	NO/NO ₂	SO ₂	O ₃	CO	C ₆ H ₆
Au zéro	2 ppb (en NO)	2 ppb	2 ppb	0,1 ppm	-
Au point d'échelle	6 ppb	6 ppb	6 ppb	0,6 ppm	5% de la concentration

6. REFERENCES

- Directive 2002/3/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 février 2002 relative à l'ozone dans l'air ambiant.
- Directive 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant.
- Directive 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 relative à la fixation des valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote dans l'air ambiant.

- Normes européennes du CEN TC 264 GT12 publiées en juillet 2005 : NF EN 14211, NF EN 14212, NF EN 14625, NF EN 14626.
- Norme européenne du CEN TC 264 GT13 : prNF EN 14162-3 (décembre 2005).

7. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb pages
1	Valeurs limites	1
2	Facteurs de conversions concentrations massiques / concentrations volumiques	1

Annexe 1 Valeurs limites

Polluant	Période de moyennage	Valeur limite ⁽¹⁾
SO ₂ ⁽²⁾	1 h	350 µg.m ⁻³ soit 132 ppb à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile
	24 h	125 µg.m ⁻³ soit 47 ppb à ne pas dépasser plus de 3 fois par année civile
	Année civile & hiver	20 µg.m ⁻³ soit 7,5 ppb
NO ₂ ⁽²⁾	1 h	200 µg.m ⁻³ soit 105 ppb à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile
	Année civile	40 µg.m ⁻³ soit 21 ppb
NO _x	Année civile	30 ⁽³⁾ µg.m ⁻³ soit 16 ppb équivalent NO ₂
CO	8 h glissant	10 mg.m ⁻³ soit 8,6 ppm
O ₃	1 h (seuil d'information)	180 µg.m ⁻³ soit 90 ppb
	1 h (seuil d'alerte)	240 µg.m ⁻³ soit 120 ppb
	8 h glissant (Protection de la santé)	120 µg.m ⁻³ soit 60 ppb
C ₆ H ₆	Année civile	5 µg.m ⁻³ soit 1,54 ppb

(1) : le volume est ramené à une température de 293 K et à une pression de 101,3 kPa

(2) : pour SO₂ et NO₂, il est à noter l'existence d'un seuil d'alerte à ne pas excéder sur 3 heures consécutives, respectivement de 500 µg.m⁻³ et 400 µg.m⁻³

(3) : expression en équivalent de NO₂

Annexe 2

Facteurs de conversions concentrations massiques / concentrations volumiques

Les facteurs de conversion à 293K et 101,3 kPa sont les suivants :

Pour le **monoxyde d'azote (NO)** :

$$1 \mu\text{g NO/m}^3 = 0,802 \text{ ppb (nmol/mol) NO}$$

$$1 \text{ ppb (nmol/mol) NO} = 1,25 \mu\text{g NO/m}^3$$

Pour le **dioxyde d'azote (NO₂)** :

$$1 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3 = 0,523 \text{ ppb NO}_2$$

$$1 \text{ ppb NO}_2 = 1,9123 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$$

Pour le **dioxyde de soufre (SO₂)** :

$$1 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3 = 0,376 \text{ ppb SO}_2$$

$$1 \text{ ppb SO}_2 = 2,66 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$$

Pour l'**ozone (O₃)** :

$$1 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3 = 0,50 \text{ ppb O}_3$$

$$1 \text{ ppb O}_3 = 2,00 \mu\text{g O}_3/\text{m}^3$$

Pour le **monoxyde de carbone (CO)** :

$$1 \text{ mg CO/m}^3 = 0,86 \text{ ppm } (\mu\text{mol/mol}) \text{ CO}$$

$$1 \text{ ppm CO} = 1,16 \text{ mg CO/m}^3$$

Pour le **benzène (C₆H₆)** :

$$1 \mu\text{g C}_6\text{H}_6/\text{m}^3 = 0,308 \text{ ppb C}_6\text{H}_6$$

$$1 \text{ nmol/mol C}_6\text{H}_6 = 3,25 \mu\text{g C}_6\text{H}_6/\text{m}^3$$