

NORME
INTERNATIONALE

ISO
9169

Première édition
1994-11-15

**Qualité de l'air — Détermination des
caractéristiques de performance des
méthodes de mesurage**

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)
*Air quality — Determination of performance characteristics of
measurement methods*

ISO 9169:1994

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/41f3269f-dea6-4c9d-bdb4-
ba99c8c27495/iso-9169-1994](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/41f3269f-dea6-4c9d-bdb4-ba99c8c27495/iso-9169-1994)



Numéro de référence
ISO 9169:1994(F)

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 9169 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 146, *Qualité de l'air*, sous-comité SC 4, *Aspects généraux*.

Les annexes A, B et C font partie intégrante de la présente Norme internationale. L'annexe D est donnée uniquement à titre d'information.

© ISO 1994

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case Postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

Qualité de l'air — Détermination des caractéristiques de performance des méthodes de mesurage

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale prescrit des modes opératoires permettant de quantifier les caractéristiques de performance suivantes de méthodes de mesurage de la qualité de l'air définies dans l'ISO 6879¹⁾: erreur systématique (en partie seulement), fonction d'étalonnage et linéarité, instabilité, limite inférieure de détection, période de fonctionnement sans intervention, sélectivité, sensibilité, limite supérieure de mesurage.

Les modes opératoires décrits sont applicables aux méthodes de mesurage de la qualité de l'air avec des fonctions d'étalonnage linéaires²⁾ dont la variable de sortie est une moyenne définie dans le temps. En outre, des valeurs de répétition appartenant au même état d'entrée sont supposées être distribuées normalement. Des éléments requis pour convertir la sortie de la méthode de mesurage primaire en des moyennes dans le temps souhaitées sont considérées comme étant une partie intrinsèque de cette méthode de mesurage.

Pour la surveillance de la stabilité de la méthode de mesurage dans des conditions de mesurage de routine, il peut suffire de vérifier, à l'aide d'essais simplifiés, les caractéristiques de performance essentielles, le degré de simplification acceptable étant fonction des connaissances des propriétés d'invariance des caractéristiques de performance obtenues préalablement à l'aide des modes opératoires décrits ici.

Il n'existe aucune différence fondamentale entre les modes opératoires dits instrumentaux (automatiques) et les modes opératoires dits manuels (par exemple chimique par voie humide), du moment que la valeur mesurée est une moyenne représentative de l'intervalle prédéfini. Par conséquent, les modes opératoires décrits s'appliquent aux deux. Par ailleurs, ils sont applicables aux méthodes de mesurage pour l'air ambiant, l'air des lieux de travail, ainsi que pour les émissions.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 3534-1:1993, *Statistique — Vocabulaire et symboles — Partie 1: Probabilité et termes statistiques généraux.*

ISO 5725:1986, *Fidélité des méthodes d'essai — Détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode d'essai normalisée par essais interlaboratoires.*

1) La définition de méthode dans l'ISO 6879:1983, paragraphe 4.2.1.9, implique une organisation instrumentale spécifique.

2) Cette linéarité peut être obtenue par un certain traitement ultérieur de la variable de sortie primaire.

ISO 6879:—³⁾, *Qualité de l'air — Caractéristiques de fonctionnement et concepts connexes pour les méthodes de mesurage de la qualité de l'air.*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent:

NOTE 1 Le terme *système de mesurage* employé dans le contexte de la présente Norme internationale ne constitue pas une nouvelle définition, par comparaison avec les termes de base qui figurent dans l'ISO 6879; il indique simplement la réalisation tangible d'un mode opératoire de mesurage.

3.1 temps moyen, $\Delta\theta$: Intervalle de temps prédéfini pour lequel la qualité de l'air est représentative.

NOTE 2 Chaque valeur mesurée obtenue est représentative d'un intervalle de temps défini, τ , dont la valeur se situe toujours au-dessus d'une certaine valeur minimale en raison des propriétés intrinsèques du mode opératoire respectif utilisé. Afin d'atteindre une comparabilité mutuelle des données se rapportant à des objets comparables, il est nécessaire de procéder à une normalisation à un intervalle de temps commun prédéfini. Par convention, cette normalisation est obtenue par la transformation d'un procédé moyen simple linéaire et non pondéré.

Moyenne d'une série d'échantillons discrets:

$$\hat{c}(\theta|\Delta\theta) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \hat{c}[\theta_0 + (k-1)\tau|\tau] \quad \dots (1)$$

où

$$\theta_0 = \theta - \Delta\theta$$

$$K\tau = \Delta\theta, \quad \tau \ll \Delta\theta$$

Moyenne d'une série temporelle continue:

$$\hat{c}(\theta|\Delta\theta) = \frac{1}{\Delta\theta} \int_{\theta_0}^{\theta} d\theta \hat{c}(\theta|\tau) \quad \dots (2)$$

Dans les deux cas, l'échantillon d'origine, décrit par $\hat{c}(\tau)$ est lié à un intervalle de temps représentatif de durée τ , tandis que $\hat{c}(\Delta\theta)$, le résultat après application du procédé de moyennage, est rendu représentatif de l'intervalle de temps $\Delta\theta$ (précédant juste θ), le temps moyen.

Le temps moyen, $\Delta\theta$, est donc la durée prédéfinie et, par convention, commune de l'intervalle de temps pour laquelle la variable mesurée \hat{c} est rendue repré-

sentative, de sorte que la déviation carrée des valeurs d'origine, attribuée à des durées d'intervalle de temps $\tau \ll \Delta\theta$, par rapport à \hat{c} sur $\Delta\theta$ soit une valeur minimale.

NOTE 3 Le procédé de moyennage peut en variante être effectué au moyen d'une technique particulière d'échantillonnage (moyennage par échantillonnage).

3.2 système de mesurage continu: Système qui renvoie un signal de sortie continu suite à une intervention continue avec la caractéristique de la qualité de l'air.

3.3 système de mesurage discontinu: Système qui renvoie une série de signaux de sortie discrets.

NOTE 4 Le caractère discret de la variable de sortie peut être dû à l'échantillonnage dans les zones discrètes ou à des caractéristiques internes de fonctionnement des composants du système.

3.4 variable d'influence: Variable ayant une incidence sur le rapport entre les valeurs (vraies) de la caractéristique de la qualité de l'air observées et les valeurs mesurées correspondantes, par exemple, une variable ayant une incidence sur la pente ou sur l'ordonnée à l'origine de la fonction d'étalonnage.

3.5 conditions de référence: Ensemble prescrit de valeurs de variables d'influence fournissant des valeurs représentatives de caractéristiques de performance.

3.6 période de fonctionnement sans intervention: Période maximale admissible pendant laquelle les caractéristiques de performance resteront dans les limites d'une plage prédéfinie sans entretien extérieur, par exemple, remplissage, étalonnage, réglage.

3.7 randomisation: Tirage de nombres dans une population composée des nombres naturels 1 à n , successivement un par un au hasard sans remise jusqu'à épuisement.

Si ces nombres ont été associés à l'avance à n objets distincts ou n opérations distinctes, qui sont alors mis dans l'ordre dans lequel les nombres sont tirés, on dit que l'ordre des objets ou des opérations a été randomisé. (Voir ISO 3534-1.)

3.8 variable aléatoire: Variable pouvant prendre n'importe quelle valeur d'un ensemble déterminé de valeurs, et à laquelle est associée une loi de probabilité. [ISO 3534-1]

3) À publier. (Révision de l'ISO 6879:1983)

3.9 fonction de variance: Variance de la variable de sortie en fonction de la caractéristique de la qualité de l'air observée.

3.10 temps de mise en fonctionnement: Temps d'attente minimal nécessaire pour qu'un instrument satisfasse à des valeurs prédéfinies de ses caractéristiques de performance après la mise en marche de l'instrument, celui-ci ayant été stabilisé dans un état de non-fonctionnement.

NOTES

5 Dans la pratique, le temps de mise en fonctionnement peut être déterminé en utilisant la caractéristique de performance qui est censée nécessiter l'intervalle de temps le plus long.

6 Dans le cas de modes opératoires manuels, le temps de mise en route est utilisé de la même manière.

4 Symboles

a_0, a_1, a_2	Coefficients du modèle de la fonction de variance	L	Total des essais de mesurage d'instabilité
b_0, b_1	Paramètres de la fonction estimée pour la fonction d'étalonnage	LID	Limite inférieure de détection
C	Caractéristique de la qualité de l'air	M	Total des échantillons générés par le matériel de référence dans un même essai d'étalonnage
c	Valeur de C	N_i	Nombre de valeurs de la variable de sortie à c_i
\hat{c}	Valeur mesurée à c	P_r, P_u	Estimation de la pente de la fonction de régression de la variable de sortie dans le temps à $c = c_r, c = c_u$ respectivement
c_i	Valeur de C dans le $i^{\text{ème}}$ échantillon; cet échantillon peut être généré à partir de matériaux de référence	RES $_c$	Résolution à $C = c$
c_0	Facteur de normalisation pour les caractéristiques de la qualité de l'air; dans ce cas, $ c_0 = 1$	R, r	Reproductibilité et répétabilité, respectivement
Δc_i	Inexactitude de C à c_i	\hat{s}	Estimation de l'écart-type lissé de X à c
\bar{c}_ω	Moyenne pondérée, avec ensemble de poids ω_k	\hat{s}^2	Estimation lissée de la variance de X (mesurages répétés) à c
DEP(\hat{c}) $_{IV_i}$	Mesure de premier ordre de la dépendance de la valeur mesurée par rapport à la $i^{\text{ème}}$ variable d'influence à c	s_0	Facteur de normalisation pour l'écart-type; dans la présente Norme internationale, la valeur de s_0 est 1
DEP(b_0) $_{IV_i}$	Mesure de premier ordre de la dépendance de l'ordonnée à l'origine par rapport à la $i^{\text{ème}}$ variable d'influence	s_{b_0}, s_{b_1}	Estimation de l'écart-type de l'instabilité (voir ISO 6879) de l'ordonnée à l'origine et de la perte de la fonction d'étalonnage linéaire, respectivement
DEP(b_1) $_{IV_i}$	Mesure de premier ordre de la dépendance de la pente par rapport à la $i^{\text{ème}}$ variable d'influence		
		DEP(x) $_{IV_i}$	Mesure de premier ordre de la dépendance du signal de sortie par rapport à la $i^{\text{ème}}$ variable d'influence
		$D(b_0)$	Dérive (voir ISO 6879, <i>instabilité</i>) de l'ordonnée à l'origine de la fonction d'étalonnage linéaire
		$D(b_1)$	Dérive de la pente de la fonction d'étalonnage linéaire
		$D(\hat{c})$	Dérive de la valeur mesurée \hat{c} à c
		F	Statistique (voir test F)
		F_x	Quantile d'ordre x de la loi de F
		I_{IV_i}	Sélectivité en ce qui concerne la $i^{\text{ème}}$ variable d'influence
		IV_i	$i^{\text{ème}}$ variable d'influence
		iv_i	Valeur de IV_i
		Δiv_i	Écart entre les valeurs de IV_i

s_c	Estimation de l'écart-type de l'instabilité à c
$\hat{s}_{\hat{c}x}$	Estimation de l'écart-type de la fonction d'étalonnage déterminé expérimentalement (dans les unités de la caractéristique de la qualité de l'air)
$\hat{s}_{\hat{c}c}$	Estimation de l'écart-type de la fonction d'étalonnage déterminé expérimentalement (dans les unités de la variable de sortie)
s_i	Estimation de l'écart-type de x_{ij} répété à c_i ; indice de répétition j
\hat{s}_i	Estimation lissée de l'écart-type de x_{ij} répété à c_i ; indice de répétition j
s_r	Estimation de l'écart-type de répétabilité
$t_{v,q}$	Quantile d'ordre q de la loi de t avec v degrés de liberté
TC	Caractéristique d'essai de l'essai pour les aberrants de Grubb
X	Variable de sortie
x	Valeur de X
\hat{x}	Estimation de x
\hat{x}_i	Estimation du signal de sortie c_i
\bar{x}_i	Moyenne de la série de signaux de sortie à c_i
$x_{i,extr}$	Signal de sortie à c_i à la distance absolue maximale de \bar{x}_i
x_{ij}	Signal de sortie d'ordre j à c_i
$x_{l,i}, x_{u,i}$	Signal de sortie après i intervalles de temps à la valeur inférieure et à la valeur supérieure de la caractéristique de la qualité de l'air du matériau de référence, respectivement
\bar{x}_ω	Moyenne pondérée de l'ensemble total des signaux de sortie dans un même essai d'étalonnage
β_0, β_1	Ordonnée à l'origine et pente de la fonction d'étalonnage linéaire, respectivement
Θ	Temps

v	Nombre de degrés de liberté dans l'essai d'étalonnage
v_1, v_2	Nombre de degrés de liberté pour le numérateur et le dénominateur de la loi de F , respectivement
$\omega = \omega(c)$	Facteur de pondération continue obtenu par la modélisation de s_i
ω_i	Facteur de pondération à c_i

5 Exigences

5.1 Description du mode opératoire

Toutes les étapes de la méthode de mesurage telles que l'échantillonnage, l'analyse, le traitement ultérieur et l'étalonnage doivent être décrites. La figure 1 représente schématiquement les étapes à suivre lorsqu'on procède à des mesurages ou lorsqu'on effectue une série d'essais d'étalonnage pour déterminer les caractéristiques de performance.

NOTE 7 Dans certaines conditions, il peut s'avérer plus approprié de ne tester qu'une seule étape ou un ensemble présélectionné d'étapes de la méthode de mesurage. Dans d'autres conditions, il peut être possible d'inclure d'autres étapes dans la méthode de mesurage. Il est recommandé d'inclure autant d'étapes que possible.

5.2 Spécification des caractéristiques de performance à soumettre à l'essai

Les caractéristiques de performance de la méthode de mesurage doivent être prescrites par ordre d'importance dans l'évaluation définitive de la précision. Les descripteurs de la fonction d'étalonnage, à savoir l'ordonnée à l'origine β_0 et la pente β_1 , ainsi que leurs caractéristiques de performance qualificatives sont d'une importance capitale. Les caractéristiques de performance pour lesquelles des connaissances préalables sont disponibles et celles se rapportant à des variables d'influence caractérisées par la randomisation sont de moindre importance et n'ont pas besoin d'être déterminées.

5.3 Conditions d'essai

Faire les essais dans des conditions explicites qui doivent être représentatives des mesurages de fonctionnement. Lors du contrôle des caractéristiques de performance statistiques, toutes les variables d'influence prescrites doivent être maintenues constantes. Lors du contrôle des caractéristiques de performance décrivant l'interdépendance des fonctions, toutes les

variables d'influence doivent être maintenues constantes, sauf celle étudiée.

Par convention, les caractéristiques de performance statistiques utilisées dans la présente Norme internationale sont estimées tout au long au niveau de confiance $1 - \alpha = 0,95$.

6 Modes opératoires d'essai

6.1 Temps moyen (voir 3.1)

La plage de temps moyen admissible est limitée par le fait que les variations des signaux de sortie ulté-

rieurs doivent être mutuellement indépendantes d'un point de vue statistique. La valeur minimale correspondante du temps moyen est déterminée à l'aide d'une caractéristique de performance (temps) spécifique, à savoir:

- a) pour des systèmes de mesure continue: le temps de réponse;
- b) pour des systèmes de mesure discontinu: la durée d'échantillonnage (temps de remplissage, temps d'accumulation, etc.).

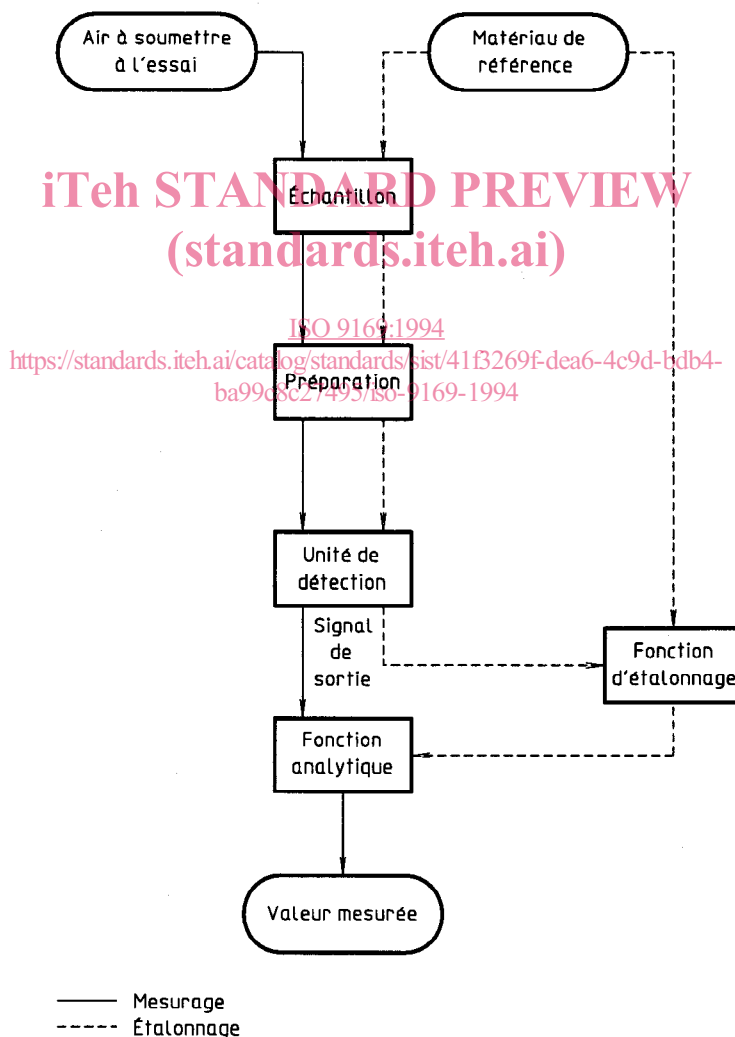


Figure 1 — Schéma des modes opératoires de mesure et d'évaluation des caractéristiques de performance

6.1.1 Systèmes de mesure continu

Pour établir le temps de réponse, le temps mort, le temps de montée et le temps de descente, une fonction étape de la caractéristique de la qualité de l'air est l'entrée au système de mesure continu. Ceci peut être réalisé en modifiant brusquement la valeur de la caractéristique de la qualité de l'air, par exemple de 20 % à 80 % de la limite supérieure de mesure (voir figure 2). Il convient de confirmer ces caractéristiques de performance en procédant à un nombre approprié de répétitions. Si le temps de montée diffère du temps de descente, c'est le plus long des deux qui doit être pris en compte pour le calcul du temps de réponse. Par convention, le temps minimal du moyennage est égal à quatre fois le temps de réponse.

6.1.2 Systèmes de mesure discontinu

En fonction de la méthode de mesure, le temps minimal moyen est déterminé par la valeur maximale

du temps d'échantillonnage, du temps de remplissage ou du temps d'accumulation.

6.2 Caractéristiques de performance fonctionnelles et statistiques⁴⁾

Les caractéristiques de performance à déterminer sont

- celles ayant rapport à la fonction d'étalonnage et sa stabilité dans des conditions de référence;
- celles ayant rapport à la relation entre la fonction d'étalonnage et les variables d'influence.

Une fonction d'étalonnage linéaire est déterminée par sa pente (sensibilité) et son ordonnée à l'origine. L'instabilité et les effets de variables d'influence se mesurent par leur incidence sur la pente (sensibilité) et sur l'ordonnée à l'origine.

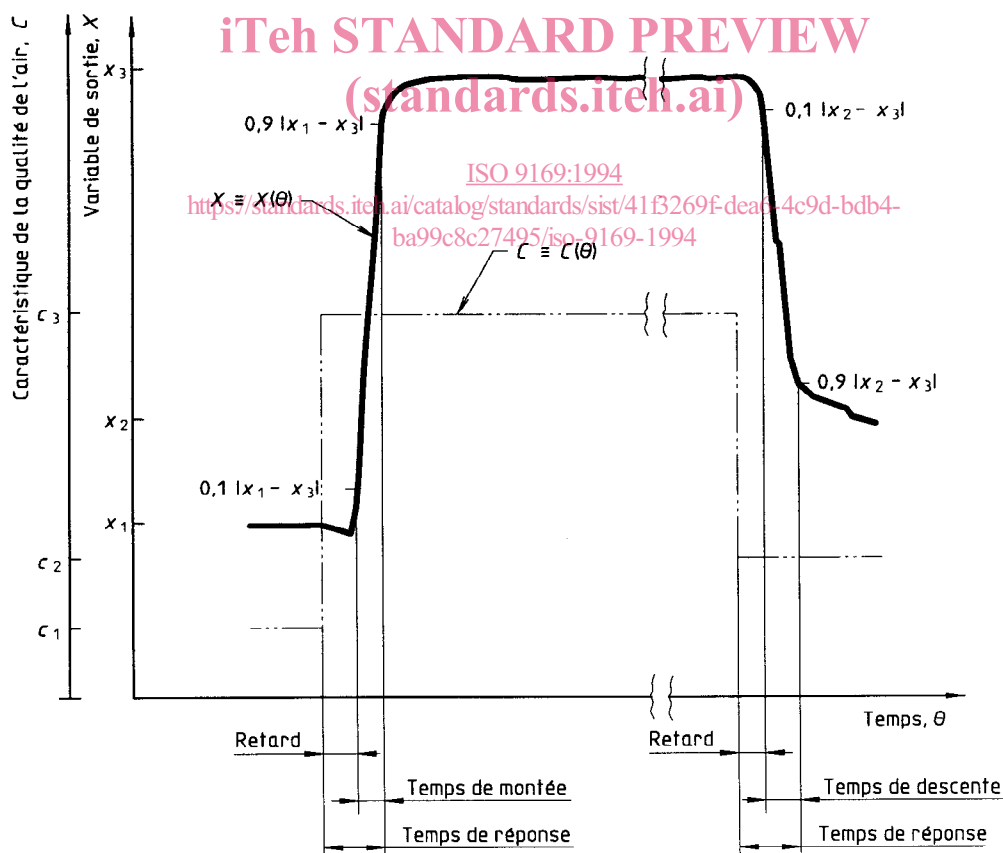


Figure 2 — Diagramme illustrant les caractéristiques de performance (temps) d'un système de mesure continu

4) Le calcul des caractéristiques de performance fonctionnelles et statistiques peut être effectué sur un ordinateur utilisant le programme en langage TurboPascal joint à la norme ASTM D 5280, disponible à l'ASTM, 1916 Race St., Philadelphie PA 19103-1187, USA.

Tous les signaux de sortie évalués au cours de ces essais doivent avoir été obtenus après stabilisation du système de mesurage.

6.2.1 Étalonnage

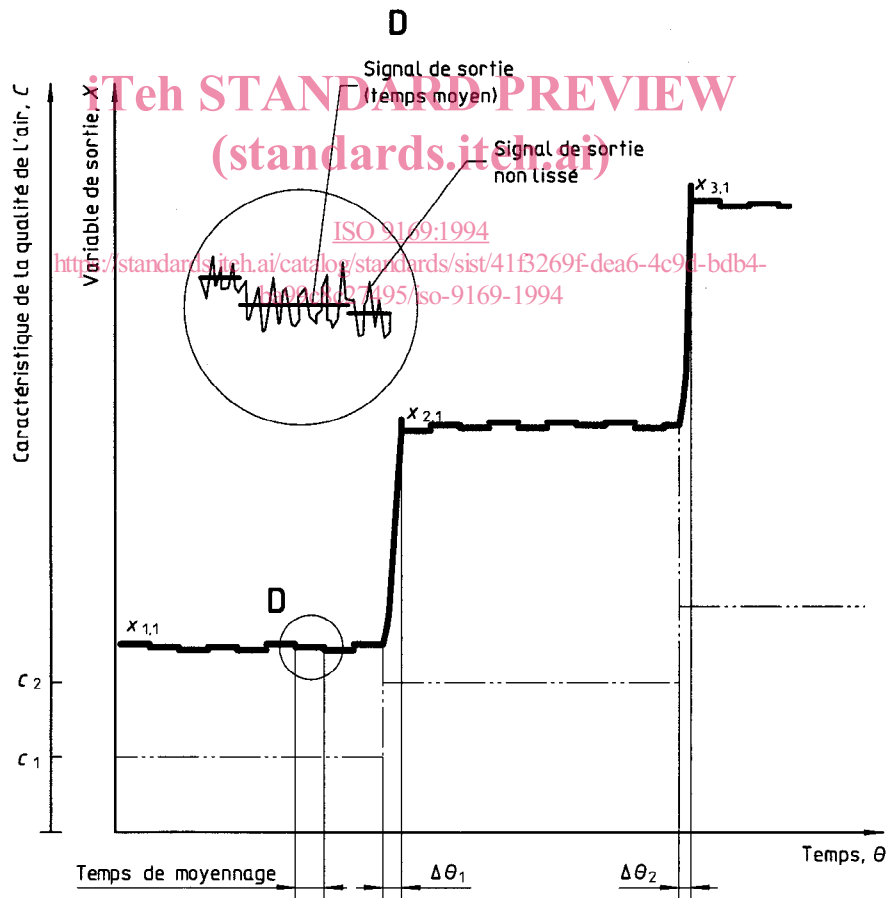
Un essai d'étalonnage pour l'évaluation des caractéristiques de performance comporte un minimum de 10 mesurages répétés à au moins cinq valeurs différentes de la caractéristique de la qualité de l'air.

En cas de dérive, la durée de l'essai d'étalonnage doit être maintenue aussi courte que possible. Cela peut être accompli en procédant à des relevés consécutifs à une valeur donnée de la caractéristique de la qualité de l'air et après un changement de cette valeur et stabilisation, à nouveau, des lectures consécutives à cette nouvelle valeur, etc. (voir figure 3). Cela n'est valable qu'en l'absence d'hystérésis ou si l'hystérésis est négligeable.

NOTE 8 Des répétitions effectuées dans des conditions de reproductibilité (voir ISO 5725) nécessitent l'examen d'un échantillon au hasard de la population des variables d'influence (randomisation).

6.2.1.1 Élimination des valeurs aberrantes

L'expérience aide en général à identifier des valeurs aberrantes potentielles. Un moyen de détection moins arbitraire de telles valeurs aberrantes potentielles est offert par l'association de cette même expérience, par exemple, au test de Grubb [1]. Cependant, il convient de préciser qu'un tel essai identifie des valeurs aberrantes *potentielles*. Les raisons sous-jacentes peuvent être d'ordre statistique ou dues à des interférences inhérentes au fonctionnement du système. Normalement, ces dernières suffisent pour éliminer le signal de sortie (confirmation de valeur aberrantes).



x_{ij} $j^{i\text{ème}}$ moyenne du temps sur l'intervalle de temps $\Delta\theta$ à la $i^{i\text{ème}}$ valeur de la caractéristique de la qualité de l'air généré par le matériau de référence

$\Delta\theta_i$ Intervalles de temps pendant lesquels des signaux de sortie non lissés ne doivent pas être soumis au procédé de moyennage, et, par conséquent, ne doivent pas être évalués

Figure 3 — Exemple d'un essai d'étalonnage

Estimer l'écart-type s_i à c_i à l'aide de l'équation

$$s_i = \sqrt{\left[\sum_j x_{ij}^2 - \left(\sum_j x_{ij} \right)^2 / N_i \right] / (N_i - 1)} \quad \dots (3)$$

À c_i , prendre le signal de sortie $x_{i,\text{extr}}$ à la distance absolue maximale à partir du signal de sortie moyen \bar{x}_i . En déduire la caractéristique d'essai:

$$\text{TC} = |x_{i,\text{extr}} - \bar{x}_i| / s_i \quad \dots (4)$$

où

$$\bar{x}_i = \left(\sum_j x_{ij} \right) / N_i \quad \dots (5)$$

et la comparer, dans le tableau A.1, avec la valeur obtenue lors du test bilatéral de Grubb pour les aberrants, à prendre comme valeur critique.

Si TC est supérieur à la valeur critique, vérifier si la raison est d'ordre opérationnel, et, si oui, l'éliminer. Ce mode opératoire peut être répété; cependant, si plus de 5 % du nombre de signaux de sortie sont rejetés de cette manière, cet étalonnage n'est pas valable.

Si la raison n'est pas d'ordre opérationnel, la valeur aberrante éventuelle ne peut pas être éliminée. Dans ce cas, il est recommandé de vérifier s'il est possible de valider une hypothèse d'essai fondamentale ou une condition préalable.

6.2.1.2 Calcul de la fonction de variance

L'outil principal pour l'estimation des caractéristiques de performance correspondantes est la fonction dite de variance. Par conséquent, quelques lignes directrices sont données ci-après pour procéder à son calcul, ainsi qu'au calcul des paramètres connexes.

Calculer, pour chacune des valeurs c_i ($i = 1$ à M) de la caractéristique de la qualité de l'air, la variance s_i^2 des signaux de sortie x_{ij} ($j = 1$ à N_i):

$$s_i^2 = \left[\sum_j x_{ij}^2 - \left(\sum_j x_{ij} \right)^2 / N_i \right] / (N_i - 1) \quad \dots (6)$$

De plus, modéliser la relation entre s_i^2 et c [2] à l'aide de l'équation

$$\log \frac{\hat{s}^2}{s_0^2} \approx a_0 + a_1 \sqrt{\frac{c}{c_0}} + a_2 \left(\sqrt{\frac{c}{c_0}} \right)^2 \quad \dots (7)$$

ainsi les coefficients de ce polynôme non pondéré de second ordre en $\sqrt{\frac{c}{c_0}}$ peuvent être calculés sous la forme suivante:

$$a_2 = \frac{[Q_{(z^2, y)} Q_{(z, z)} - Q_{(z, y)} Q_{(z, z^2)}]}{[Q_{(z, z)} Q_{(z^2, z^2)} - (Q_{(z, z^2)})^2]}$$

$$a_1 = \frac{[Q_{(z, y)} Q_{(z^2, z^2)} - Q_{(z^2, y)} Q_{(z, z^2)}]}{[Q_{(z, z)} Q_{(z^2, z^2)} - (Q_{(z, z^2)})^2]} \quad \dots (8)$$

$$a_0 = \frac{\left(\sum_i y_i - a_1 \sum_i z_i - a_2 \sum_i z_i^2 \right)}{M}$$

avec

$$Q_{(\zeta^m, \eta^n)} = \frac{\sum_i (\zeta_i^m \eta_i^n) - \left(\sum_i \zeta_i^m \right) \left(\sum_i \eta_i^n \right)}{M} \quad \dots (9)$$

L'élément $Q_{(\zeta^m, \eta^n)}$ est obtenu en remplaçant ζ par z et η par y ou z :

$$y_i = \log \frac{s_i^2}{s_0^2}; z_i = \sqrt{\frac{c_i}{c_0}} \quad \dots (10)$$

Un exemple d'une fonction de variance obtenue de cette façon est représenté à la figure 4.

Par conséquent, la fonction de variance lissée \hat{s}^2 s'obtient sous la forme suivante:

$$\hat{s}^2 = \hat{s}^2(c) = s_0^2 \exp \left(a_0 + a_1 \sqrt{\frac{c}{c_0}} + a_2 \frac{c}{c_0} \right) \quad \dots (11)$$

Le facteur de pondération ω_i à c_i ($i = 1$ à M), à utiliser ultérieurement pour le calcul de la fonction d'étalonnage [1, 2, 3] est inversement proportionnel à la variance citée ci-dessus;

$$\omega = \omega(c) = \frac{s_0^2}{\hat{s}^2} \quad \dots (12)$$

6.2.1.3 Calcul de la fonction d'étalonnage

Une fonction d'étalonnage linéaire [5]

$$x = \beta_0 + \beta_1 c \quad \dots (13)$$

peut être estimée par

$$\hat{x} = b_0 + b_1 c \quad \dots (14)$$

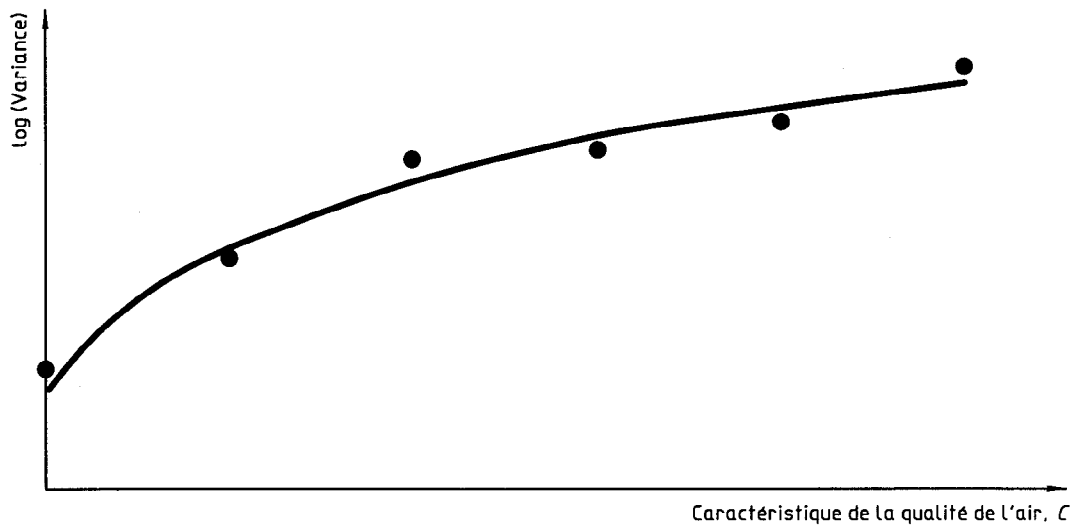


Figure 4 — Ajustement du logarithme de la fonction de variance

où

$$b_1 = \frac{\sum_i \sum_j \omega_i x_{ij} (c_i - \bar{c}_\omega)}{\sum_i N_i \omega_i (c_i - \bar{c}_\omega)^2}$$

$$b_0 = \bar{x}_\omega - b_1 \bar{c}_\omega$$

et

$$\bar{c}_\omega = \frac{\sum_i N_i \omega_i c_i}{\sum_k N_k \omega_k}$$

$$\bar{x}_\omega = \frac{\sum_i \sum_j \omega_i x_{ij}}{\sum_k N_k \omega_k} \quad \dots (16)$$

En plus des divers écarts-types servant de descripteurs pour la diffusion réciproque de valeurs vraies, valeurs mesurées et signaux de sortie, il se produit une diffusion particulière à attribuer au processus global d'estimation.

Cette diffusion peut être décrite par l'écart-type suivant [2]:

$$s_{\hat{c}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \omega_i \sum_{k=1}^{N_i} (x_{ik} - \hat{x}_i)^2}{\left(\sum_{i=1}^M N_i\right) - 2}} \quad \dots (17)$$

Quelquefois le signal de sortie est obtenu après correction pour le blanc. La fonction d'étalonnage corrigée doit passer par l'origine si les blancs correspondent à de véritables échantillons zéro. Dans ce cas, le coefficient b_1 se réduit à

$$b_{1, \text{trf}} = \frac{\sum_i \sum_j \omega_i x_{ij} c_i}{\sum_k N_k \omega_k c_k^2} \quad \dots (18)$$

L'écart-type $s_{\hat{c}}$ est invariant à la transformation, mais seul le nombre de degrés de liberté se modifie en

$$v_{\text{trf}} = \left(\sum_{i=1}^M N_i\right) - 1 \quad \dots (19)$$

6.2.1.4 Calcul de la fonction analytique

Calculer la fonction analytique en inversant la fonction d'étalonnage:

$$\hat{c} = \frac{x - b_0}{b_1} \quad \dots (20)$$