

# NORME INTERNATIONALE

**ISO**  
**3497**

Deuxième édition  
1990-11-01

---

---

## Revêtements métalliques — Mesurage de l'épaisseur — Méthodes par spectrométrie de rayons X

**iTeh STANDARD PREVIEW**

*(standards.iteh.ai)*  
*Metallic coatings — Measurement of coating thickness — X-ray  
spectrometric methods*

ISO 3497:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c1b1bab6-db5a-4719-a399-6a86c23607dd/iso-3497-1990>



Numéro de référence  
ISO 3497:1990(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 3497 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 107, *Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 3497:1976), dont elle constitue une révision technique.

L'annexe A fait partie intégrante de la présente Norme internationale.

© ISO 1990

Droits de reproduction réservés. 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

# Revêtements métalliques — Mesurage de l'épaisseur — Méthodes par spectrométrie de rayons X

## 1 Domaine d'application

1.1 La présente Norme internationale prescrit des méthodes de mesurage, par spectrométrie de rayons X, de l'épaisseur des revêtements métalliques.

Ces méthodes permettent de mesurer en même temps certains systèmes à trois couches.

1.2 La présente Norme internationale est applicable, avant tout, à la détermination de la masse de revêtement par unité de surface. Connaissant la masse volumique du matériau de revêtement, il est possible, également, d'exprimer les résultats mesurés en épaisseur linéaire de revêtement.

1.3 Les plages pratiques de mesurage des matériaux de revêtement indiqués sont largement fonction de l'incertitude de mesure tolérée et peuvent différer selon l'instrument et le mode opératoire de mesurage utilisés. L'annexe A présente un tableau des plages types des matériaux les plus courants.

**ATTENTION** — La présente Norme internationale ne traite pas des problèmes de protection du personnel contre les rayons X. Pour tout renseignement sur cet aspect essentiel, il convient de se référer aux documents appropriés de l'ISO, aux documents nationaux et aux codes locaux, s'il en existe.

## 2 Définitions

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

**2.1 fluorescence X (XRF):** Rayonnement secondaire provoqué par le choc d'un faisceau de rayons X incident à haute intensité sur un matériau placé dans la trajectoire du faisceau. L'émission secondaire a une longueur d'onde et une énergie caractéristiques de ce matériau.

**2.2 intensité du rayonnement fluorescent:** Intensité du rayonnement mesurée par l'appareil et exprimée en nombre d'impulsions par seconde.

**2.3 intensité normalisée,  $I_n$ :** Rapport de la différence d'intensité obtenue à partir d'un échantillon revêtu et d'un substrat non revêtu, à la différence obtenue à partir d'un matériau d'épaisseur égale ou supérieure à l'épaisseur de saturation (voir 2.4) et d'un substrat non revêtu, tous étant mesurés dans les mêmes conditions. L'intensité normalisée est donnée par

$$\frac{I_e - I_o}{I_s - I_o}$$

ou

$I_e$  est l'intensité obtenue sur un échantillon revêtu;

$I_o$  est l'intensité obtenue sur un substrat non revêtu;

$I_s$  est l'intensité obtenue sur un matériau d'épaisseur égale ou supérieure à l'épaisseur de saturation.

Cette variable est indépendante de la durée du mesurage et de l'intégration, et de l'intensité du rayonnement d'excitation (rayonnement incident). La configuration géométrique et l'énergie du rayonnement incident peuvent avoir une incidence sur le taux de comptage normalisé.

**2.4 épaisseur de saturation:** Épaisseur dont le dépassement ne produit pas de variation détectable de l'intensité de la fluorescence.

NOTE 1 L'épaisseur de saturation dépend de l'énergie ou de la longueur d'onde du rayonnement fluorescent, de la masse volumique et du numéro atomique du matériau, ainsi que de l'angle du rayonnement incident et du rayonnement fluorescent par rapport à la surface du matériau.

**2.5 couche intermédiaire:** Couche se situant entre la couche supérieure et le substrat dont l'épaisseur est inférieure à l'épaisseur de saturation du matériau la constituant.

NOTE 2 Une couche se situant entre la couche supérieure et le substrat dont l'épaisseur est supérieure à l'épaisseur de saturation doit être considérée, elle-même, comme un substrat car le matériau qu'elle recouvre n'aura aucun effet sur les mesurages et peut en être éliminé.

**2.6 taux de comptage:** Nombre d'impulsions émises, enregistrées par l'appareil par unité de temps (voir 2.2).

### 3 Principe

#### 3.1 Principe de base

Un rapport existe entre la masse surfacique du revêtement (et donc l'épaisseur linéaire du revêtement si l'on connaît sa masse volumique) et l'intensité du rayonnement secondaire. Quel que soit l'appareillage utilisé, ce rapport est d'abord établi par étalonnage sur des étalons primaires ayant des revêtements de masse surfacique connue. Si l'on connaît la masse volumique du matériau de revêtement, on peut utiliser des étalons dont l'épaisseur est évaluée en unités linéaires d'épaisseur pourvu qu'on donne également la valeur réelle de la masse volumique.

NOTE 3 La masse volumique du matériau de revêtement est la masse volumique à l'état de revêtement, qui peut ou non correspondre à la masse volumique théorique du matériau au moment du mesurage.

L'intensité de la fluorescence est également fonction du numéro atomique des matériaux. Or, le revêtement et le substrat ont des numéros atomiques différents. La couche supérieure de revêtement et le substrat produisent tous les deux un rayonnement caractéristique (tout comme la couche intermédiaire, s'il en existe) et l'on peut régler le système détecteur sur une ou plusieurs de ces bandes d'énergie. Le matériel peut ainsi mesurer soit la couche supérieure, soit, en même temps, la couche supérieure et quelques couches intermédiaires.

#### 3.2 Excitation

##### 3.2.1 Généralités

Le mesurage de l'épaisseur des revêtements par spectrométrie des rayons X est fondé sur l'interaction combinée d'un ou de plusieurs revêtements et du substrat avec un faisceau intense, souvent étroit, de rayonnements X polychromatiques ou monochromatiques. Cette interaction engendre des rayonnements secondaires dont la longueur d'onde

et les énergies distinctes sont caractéristiques des éléments composant le ou les revêtements et le substrat.

Le rayonnement est engendré par un générateur à tube à rayons X à haute tension ou à partir de radio-isotopes appropriés.

##### 3.2.2 Tube à rayons X à haute tension

Le rayonnement d'excitation convenable est engendré par un tube à rayons X si l'on applique à ce tube un potentiel suffisant dans des conditions stables. Les tensions appliquées sont de l'ordre de 25 kV à 50 kV pour la plupart des mesures d'épaisseur mais des tensions plus faibles allant jusqu'à 10 kV peuvent être nécessaires pour mesurer l'épaisseur de matériaux de revêtement à faible numéro atomique. Les principaux avantages de cette méthode d'excitation sont la possibilité de concentrer par collimation, sur une très petite surface de mesure, un faisceau d'intensité très élevée, la facilité du contrôle de la protection du personnel et la stabilité potentielle d'émission que donnent les méthodes électroniques modernes.

##### 3.2.3 Radio-isotopes

Seuls quelques radioisotopes émettent un rayonnement gamma dans la bande d'énergie appropriée à la mesure des épaisseurs de revêtement.

Dans l'idéal, le rayonnement d'excitation est légèrement plus énergétique (longueur d'onde plus courte) que les rayons X caractéristiques désirés et parmi les avantages des radio-isotopes, on note la possibilité d'utiliser un appareil de construction plus compacte puisque le refroidissement est inutile. En outre, contrairement au rayonnement des générateurs de rayons X à haute tension, celui des radio-isotopes est essentiellement monochromatique avec une faible intensité de bruit de fond.

Les inconvénients techniques majeurs que présentent les radio-isotopes par rapport au tube à rayons X viennent de l'intensité bien inférieure qu'ils donnent, qui empêche les mesurages sur de petites surfaces, de leur courte période et des problèmes de protection individuelle qu'ils posent (le tube à rayons X a juste à être éteint).

#### 3.3 Dispersion

##### 3.3.1 Généralités

Le rayonnement secondaire résultant de l'exposition d'une surface revêtue aux rayons X contient souvent des composantes qui s'ajoutent à celles qui sont nécessaires pour le mesurage d'épaisseur. On sépare donc les composantes nécessaires par dispersion des longueurs d'onde ou des énergies.

### 3.3.2 Dispersion des longueurs d'onde

Un spectromètre à cristal permet de séparer une longueur d'onde caractéristique soit du revêtement, soit du substrat. Les caractéristiques types d'émission des cristaux les plus couramment utilisés figurent dans les publications des diverses autorités nationales.

### 3.3.3 Dispersion des énergies

Les quanta de rayons X sont généralement prescrits en termes de longueur d'onde ou d'énergie équivalente. Le rapport de la longueur d'onde  $\lambda$ , en nanomètres, à l'énergie  $E$ , en kiloélectronvolts, est donné par

$$\lambda \cdot E = 1,2396$$

## 3.4 Détection

**3.4.1** Le type de détecteur à utiliser dans les systèmes à dispersion des longueurs d'onde est généralement un tube rempli de gaz ou un compteur de scintillation connecté à un photomultiplicateur.

**3.4.2** Le détecteur à utiliser dans les systèmes de dispersion des énergies pour recevoir les photons fluorescents est choisi par le concepteur de l'appareil parmi ceux qui correspondent le mieux à l'utilisation prévue. Dans la bande d'énergie comprise entre 1,5 keV et 100 keV, les mesurages peuvent être effectués sous atmosphère normale, sans avoir recours à l'hélium ou au vide.

Le rayonnement fluorescent des différentes énergies caractéristiques passe dans le tube détecteur d'un compteur proportionnel, puis dans un analyseur multicanaux réglé pour sélectionner la ou les bandes d'énergie correctes.

## 3.5 Mesurage de l'épaisseur

Il existe deux méthodes de mesurage de l'épaisseur aux rayons X:

- Méthode par émission.** Si l'on mesure l'intensité du rayonnement caractéristique du revêtement, celle-ci augmente avec l'épaisseur, jusqu'à l'épaisseur de saturation [voir figure 1a)].
- Méthode par absorption.** Si l'on mesure l'intensité du rayonnement caractéristique du substrat, l'intensité diminue quand l'épaisseur augmente [voir figure 1b)].

Avec la méthode par émission de rayons X, l'appareil est réglé de manière à recevoir une bande choisie d'énergies caractéristiques du matériau du revêtement. Ainsi, les revêtements minces produisent-ils de faibles intensités et les revêtements épais de fortes intensités.

La méthode par absorption des rayons X se fonde sur la bande des énergies caractéristiques du matériau du substrat. Ainsi, les revêtements minces produisent-ils de fortes intensités et vice versa. En pratique, il faut vérifier avec soin qu'il n'existe pas de couche intermédiaire.

Il est possible de combiner l'émission et l'absorption de rayons X lorsque les épaisseurs de revêtement s'expriment sous la forme d'un rapport des intensités respectives des matériaux du revêtement et du substrat. Les mesurages effectués par cette méthode du rapport sont très largement indépendants de la distance entre l'éprouvette et le détecteur.

La caractéristique d'absorption est sensiblement l'inverse de la caractéristique d'émission.

Dans toutes les méthodes, on enregistre l'intensité du rayonnement secondaire sous la forme d'un nombre d'impulsions enregistrées sur un intervalle de temps fixé, déterminé à l'avance. Beaucoup d'instruments commercialisés utilisent un système de comptage normalisé, réglé de façon que zéro corresponde au taux de comptage caractéristique d'un substrat non revêtu et 1 corresponde au taux de comptage caractéristique d'un échantillon de matériau de revêtement d'épaisseur infinie. Toutes les épaisseurs mesurables produisent donc des taux de comptage se situant dans la plage normalisée de 0 à 1. (Voir figure 2.)

Dans tous les cas, la plage de mesurage la meilleure ou la plus sensible se situe approximativement entre 0,3 et 0,8 sur l'échelle de taux de comptage normalisée. Aussi, pour obtenir la meilleure précision de mesure sur la totalité de la plage de mesurage est-il avantageux d'utiliser des étalons primaires ayant un taux de comptage caractéristique compris entre 0,3 et 0,8. D'autres étalons peuvent être nécessaires avec certains matériels pour assurer la fidélité de mesurage à d'autres épaisseurs. L'incertitude relative d'étalonnage des étalons augmente quand l'épaisseur diminue; il est donc essentiel de définir un rapport mathématique correct au bout étroit de la plage en utilisant des étalons ayant des épaisseurs de revêtement plus grandes mais des incertitudes plus faibles.

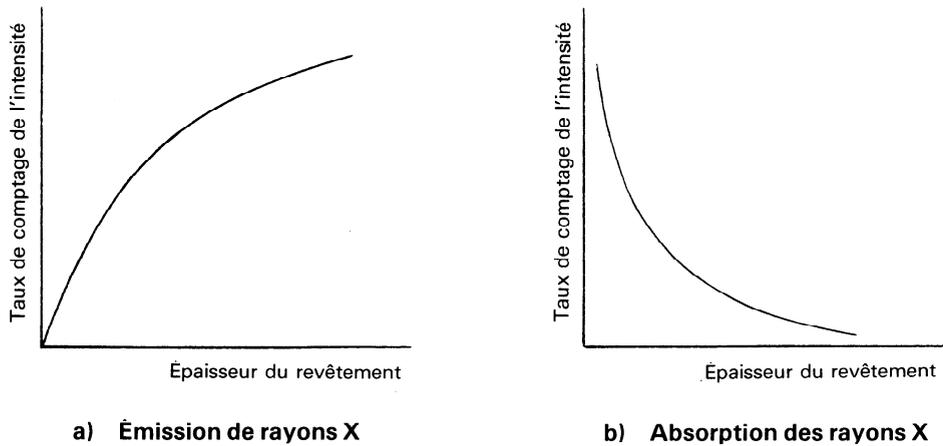


Figure 1 — Relation entre le taux de comptage de l'intensité et l'épaisseur du revêtement

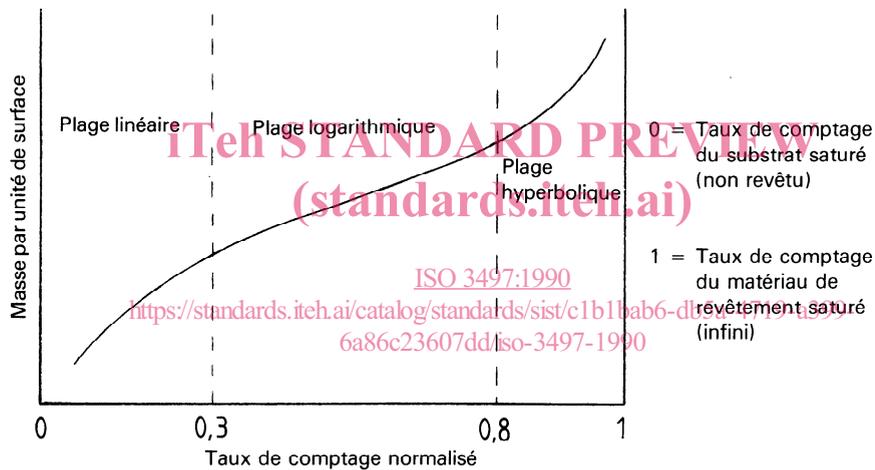


Figure 2 — Relation entre la masse par unité de surface et le taux de comptage normalisé

Lorsqu'on mesure des combinaisons de matériaux de revêtement et de substrat ayant des énergies très différentes (systèmes à dispersion des énergies), le rapport des taux de comptage caractéristiques du revêtement saturé et du substrat non revêtu est très élevé (il n'est pas rare de rencontrer 10 : 1). Dans ce cas, il n'est pas toujours essentiel que les étalons primaires aient le même substrat ou un substrat similaire (car le matériau du substrat n'émettra pas de rayons dans la même bande d'énergie que le matériau du revêtement). Lorsque le rapport des taux de comptage du substrat non revêtu et d'un revêtement d'épaisseur infinie est égal à 3 : 1 (pour des combinaisons de matériaux de revêtement et de substrat ayant des énergies similaires), il est souvent nécessaire d'utiliser un «absorbeur» choisi de manière à absorber le

rayonnement de l'un des matériaux, en général celui du substrat. Cet absorbeur est normalement placé à la main ou automatiquement entre la surface à mesurer et le détecteur.

### 3.6 Mesurage de plusieurs couches

Il est possible de mesurer en même temps plusieurs couches de revêtement pourvu que l'émission caractéristique de rayons X des couches intérieures ne soit pas absorbée entièrement par les couches supérieures. Dans un système à dispersion des énergies, l'analyseur multicanaux est réglé de manière à recevoir deux ou plusieurs bandes d'énergie distinctes caractéristiques de deux ou plusieurs matériaux.

### 3.7 Mesurage de l'épaisseur d'une composition d'alliages

Certains alliages et composés (par exemple: étain-plomb) peuvent voir leur composition et leur épaisseur mesurées en même temps. Le mesurage de l'épaisseur d'un alliage ou d'un composé étant fonction de la composition de l'alliage, il est obligatoire soit de connaître, soit de supposer connaître la composition avant de mesurer l'épaisseur ou de pouvoir mesurer la composition.

NOTE 4 Supposer connaître une composition peut introduire des erreurs dans le mesurage d'épaisseur.

Certains revêtements peuvent former des alliages par interdiffusion avec le substrat. La présence de ce type de couches d'alliage peut s'ajouter à l'incertitude de mesurage.

## 4 Appareillage

Des matériels de fluorescence X permettant de mesurer l'épaisseur des revêtements suivant les exigences de la présente Norme internationale sont disponibles dans le commerce. Les appareils spécifiquement conçus pour mesurer l'épaisseur des revêtements sont du type à dispersion des énergies; ils sont généralement accompagnés d'un microprocesseur permettant de convertir l'intensité mesurée en masse par unité de surface ou d'épaisseur, de stocker les données d'étalonnage et de calculer les diverses mesures statistiques. (Voir figure 3.)

NOTE 5 Les éléments essentiels d'un appareil de mesure de l'épaisseur des revêtements par fluorescence X sont: une source primaire de rayons X, un collimateur, un support d'éprouvette, un détecteur et un système d'évaluation. La source, le collimateur et le détecteur sont généralement dans un rapport géométrique fixe les uns par

rapport aux autres. Lorsque les numéros atomiques des matériaux du revêtement et du substrat sont très proches l'un de l'autre, il peut être nécessaire d'utiliser un absorbeur qui absorbe l'énergie fluorescente caractéristique de l'un des matériaux, par exemple celle du substrat.

Il peut s'avérer nécessaire d'utiliser un logiciel spécial, un filtre électronique ou un absorbeur physique. Ces appareils peuvent séparer, filtrer ou absorber l'énergie fluorescente caractéristique d'un ou de plusieurs des matériaux en présence. Ils permettent de mettre en valeur la fluorescence du matériau mesuré et donc de diminuer l'incertitude de mesurage.

### 4.1 Source primaire de rayons X

Ce peut être un tube à rayons X ou un radio-isotope. L'un comme l'autre doivent pouvoir exciter le rayonnement fluorescent à utiliser pour le mesurage.

### 4.2 Collimateur

Celui-ci prend la forme d'une ou de plusieurs ouvertures de dimensions précises qui peuvent théoriquement être de forme quelconque. Les dimensions et la forme de l'ouverture déterminent les dimensions du faisceau de rayons X incidents à la surface du revêtement à mesurer. Les appareils ordinaires du commerce ont des ouvertures de collimateur circulaires, carrées ou rectangulaires.

### 4.3 Détecteur

Le détecteur reçoit le rayonnement fluorescent provenant de l'éprouvette de mesure et le convertit en signal électrique qui est soumis à l'évaluation. Le système d'évaluation est réglé de manière à sélectionner une ou plusieurs bandes d'énergie caractéristiques des matériaux de la couche supérieure, de la couche intermédiaire et/ou du substrat.

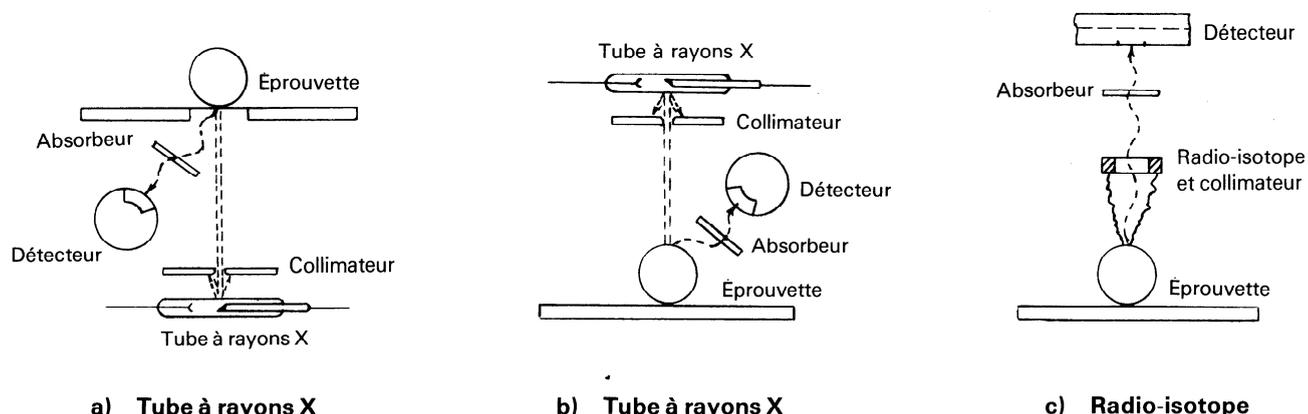


Figure 3 — Représentation schématique de trois systèmes à dispersion des énergies avec leurs principaux éléments

#### 4.4 Système d'évaluation

Il traite les données qui arrivent selon son programme informatique et détermine ainsi la masse surfacique ou l'épaisseur du revêtement de l'éprouvette.

### 5 Facteurs influant sur les résultats de mesurage

#### 5.1 Statistiques de comptage

##### 5.1.1 Généralités

Les quanta de rayons X sont libérés de manière tout à fait aléatoire dans le temps, ce qui signifie que, durant un intervalle de temps fixe, le nombre de quanta émis ne sera pas toujours le même. D'où une erreur statistique inhérente à toutes les mesures de rayonnement. Une évaluation du taux de comptage sur un court laps de temps (par exemple 1 s à 2 s) peut donc différer sensiblement d'une évaluation sur une période plus longue, notamment si le taux de comptage est faible. Cette erreur est indépendante d'autres sources, telles qu'erreurs provenant du manipulateur ou de l'utilisation d'étalons peu sûrs. Pour réduire l'erreur statistique à un niveau acceptable, il est nécessaire de prendre un temps de comptage suffisamment long pour accumuler un nombre suffisant d'impulsions. Si l'on utilise un système à dispersion des énergies, il faut savoir qu'une portion significative de la période de comptage prévue doit être considérée comme temps mort, c'est-à-dire un intervalle de temps pendant lequel la capacité de comptage du système est dépassée. Il est possible de corriger les pertes de temps mort; suivre pour cela les instructions du fabricant du matériel correspondant.

5.1.2 L'écart-type,  $s$ , de cette erreur aléatoire représente à peu près la racine du nombre total d'impulsions, soit:

$$s \approx \sqrt{N}$$

où  $N$  est le comptage sur un temps donné.

95 % de toutes les mesures se situent dans la plage

$$N \left( 1 \pm \frac{2}{\sqrt{I}} \right)$$

5.1.3 L'écart-type correspondant sur le mesurage de l'épaisseur n'est pas le même que l'écart-type du taux de comptage mais est fonction de la pente de la courbe d'étalonnage au point de mesurage. La plupart des appareils disponibles dans le commerce affichent l'écart-type en micromètres ou en pourcentage d'épaisseur moyenne.

#### 5.2 Étalons primaires

On dispose d'étalons de mesurage de l'épaisseur mais la précision garantie des étalons n'est pas supérieure à 5 % (elle est quelquefois plus faible). Il est plus difficile de respecter ces 5 % lorsque le revêtement est mince (par exemple en raison de la rugosité, de la porosité et de la diffusion). L'étalon ne peut être utilisé que s'il donne un taux de comptage normalisé compris entre 0,05 et 0,9.

#### 5.3 Épaisseur du revêtement

L'incertitude du mesurage dépend de la gamme d'épaisseur mesurée. Sur les courbes représentées à la figure 2, la précision est optimale dans la portion comprise entre 30 % et 80 % de saturation environ. La précision se détériore rapidement en dehors de cette plage pour un temps de mesurage donné. La situation est la même pour la courbe d'absorption. Les épaisseurs limites sont en général différentes selon le matériau de revêtement.

#### 5.4 Dimensions de la surface de mesure

Pour obtenir de bonnes statistiques de comptage (voir 5.1) sur une période relativement courte, il convient de choisir l'ouverture de collimateur qui laisse la plus grande surface de mesure compatible avec la taille et la forme de l'éprouvette. Dans la plupart des cas, la surface à mesurer ou la surface représentative doit être plus grande que la surface du faisceau collimaté (qui n'est pas forcément la même au niveau de la surface mesurée que les dimensions d'ouverture du collimateur): Dans certains cas spéciaux, elle peut cependant être plus petite (voir 5.11).

Il faut également veiller que la surface mesurée ne donne pas un taux de comptage qui sature ou dépasse la capacité du détecteur (certains appareils vendus dans le commerce limitent le taux de comptage automatiquement, mais cela doit être vérifié auprès du fabricant). On effectue alors l'étalonnage sur une surface de la même dimension.

#### 5.5 Composition du revêtement

Le mesurage de la masse surfacique peut être affecté par la présence de matériaux étrangers, tels qu'inclusions, autre dépôts, couches d'alliages, formées par diffusion à l'interface entre le revêtement. Le mesurage de l'épaisseur est lui aussi affecté par les vides et porosités. Certaines sources d'erreur s'éliminent par l'emploi d'étalons représentatifs, fabriqués dans les mêmes conditions que le revêtement à mesurer et ayant des caractéristiques de rayons X représentatives. En cas d'inclusions de pores ou de vides qui modifient la masse volumique, il vaut mieux mesurer la masse surfacique. Si elle est connue, la masse volumique réelle du revê-

tement peut être prise en compte par l'appareil pour permettre les corrections (voir 5.6).

### 5.6 Masse volumique du revêtement

Si la masse volumique des matériaux de revêtement diffère de celle des étalons, il en résultera une erreur correspondante sur les mesures d'épaisseur. Si l'on connaît cette masse volumique du revêtement, on peut obtenir l'épaisseur (voir 3.1).

Si l'instrument mesure en unités de masse surfacique, on peut obtenir l'épaisseur linéaire en divisant la valeur cobtenue par la masse volumique du revêtement

$$d = \frac{\rho_A}{\rho_2} \times 10$$

Si la mesure s'effectue en unités linéaires, on peut effectuer une correction de la masse volumique:

$$d = d_m \times \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

où

$d$  est l'épaisseur linéaire, en micromètres;

$d_m$  est la valeur lue d'épaisseur linéaire, en micromètres;

$\rho_1$  est la masse volumique, en grammes par centimètre cube, du matériau du revêtement des étalons;

$\rho_2$  est la masse volumique, en grammes par centimètre cube, du matériau du revêtement de l'éprouvette;

$\rho_A$  est la masse surfacique, en milligrammes par centimètre carré, du revêtement de l'éprouvette.

### 5.7 Composition du substrat

Si l'on utilise la méthode par émission, l'effet des différences de composition du substrat est négligeable pourvu que

- les rayons X fluorescents venant du substrat n'empiètent pas sur la bande d'énergie choisie comme énergie caractéristique du revêtement (s'il y a empiètement, il faut utiliser des moyens spéciaux pour en éliminer l'effet);
- les rayons X fluorescents venant du matériau du substrat soient incapable d'exciter le matériau du revêtement;
- l'on utilise la méthode des rapports d'intensité (voir 3.5).

Si l'on utilise la méthode par absorption, il est essentiel que la composition du substrat des étalons primaires ou de référence soit la même que celle du substrat de l'éprouvette.

### 5.8 Épaisseur du substrat

Lorsque le mesurage s'effectue par émission de rayons X, il est nécessaire que le substrat du matériau double face soit assez épais pour empêcher les interférences du matériau sous-jacent.

Pour effectuer le mesurage par absorption des rayons X, il est nécessaire que l'épaisseur du substrat soit égale ou supérieure à l'épaisseur de saturation. Si ce critère n'est pas respecté, il est essentiel d'étalonner l'appareil sur des étalons de référence d'épaisseur identique (voir 6.3).

### 5.9 Propreté de la surface

Les matières étrangères présentes sur la surface peuvent donner des erreurs de mesure, de même que les revêtements de protection, les traitements de surface ou les laques.

### 5.10 Couches intermédiaires

La méthode par absorption ne peut pas être utilisée en présence de couches intermédiaires dont on ne connaît pas les propriétés d'absorption. Dans ce cas, il est conseillé d'utiliser la méthode par émission.

### 5.11 Courbure de l'éprouvette

Lorsque les mesurages s'effectuent sur des surfaces incurvées, il faut choisir l'ouverture du collimateur ou du cache de manière à minimiser l'effet de la courbure. Cet effet est minimisé par l'emploi d'une ouverture de petites dimensions par rapport au rayon de courbure de la surface d'essai.

NOTE 6 Il peut être avantageux d'utiliser des ouvertures rectangulaires pour mesurer des surfaces cylindriques.

Si l'étalonnage s'effectue avec des étalons de taille et de forme identiques à celles de l'éprouvette, les effets de courbure de la surface sont éliminés. Dans ce cas, on peut quelquefois utiliser une ouverture de collimateur plus grande que l'éprouvette.

### 5.12 Énergie d'excitation et intensité d'excitation

L'intensité du rayonnement fluorescent dépendant à la fois de l'énergie et de l'intensité de l'excitation, il est primordial que l'appareil utilisé soit assez stable pour donner des caractéristiques d'excitation identiques à l'étalonnage et au mesurage.