
**Analyse chimique des surfaces —
Spectromètres de photoélectrons X —
Étalonnage en énergie**

*Surface chemical analysis — X-ray photoelectron spectrometers —
Calibration of energy scales*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 15472:2001](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0e7b8ea6-d5fe-4d0d-8e01-014d8fa09bec/iso-15472-2001)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0e7b8ea6-d5fe-4d0d-8e01-014d8fa09bec/iso-15472-2001>



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 15472:2001](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0e7b8ea6-d5fe-4d0d-8e01-014d8fa09bec/iso-15472-2001)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0e7b8ea6-d5fe-4d0d-8e01-014d8fa09bec/iso-15472-2001>

© ISO 2001

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'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Version française parue en 2005

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Symboles et termes abrégés	1
4 Aperçu de la méthode	3
5 Procédure d'étalonnage de l'échelle d'énergie	7
5.1 Obtenir les échantillons de référence	7
5.2 Monter les échantillons	7
5.3 Nettoyer les échantillons	7
5.4 Choisir les réglages du spectromètre pour lequel l'étalonnage d'énergie est requis	7
5.5 Faire fonctionner l'instrument	8
5.6 Options pour les mesures du premier étalonnage ou des étalonnages ultérieurs	8
5.7 Mesures de l'écart-type de répétabilité de l'énergie de liaison des pics et de la linéarité de l'échelle	8
5.8 Calculer l'écart-type de répétabilité de l'énergie de liaison des pics	10
5.9 Vérifier la linéarité de l'échelle d'énergie de liaison	14
5.10 Procédure pour la détermination régulière de l'erreur d'étalonnage	15
5.11 Procédures pour la correction de l'échelle d'énergie de liaison de l'instrument	16
5.12 Étalonnage suivant	18
5.13 Établir l'intervalle d'étalonnage	18
Annexe A (normative) Détermination par la méthode des moindres carrés de l'énergie de liaison des pics par une méthode de calcul simple	19
Annexe B (informative) Dérivation des incertitudes	22
Annexe C (informative) Citation des incertitudes des énergies de liaison mesurées	24
Annexe D (informative) Mesures des paramètres Auger modifiés mesurés au moyen d'instruments XPS équipés d'une source X monochromatique d'Al	26
Bibliographie	29

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 Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 3.

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.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 15472 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 201, *Analyse chimique des surfaces*, sous-comité SC 7, *Spectroscopie de photo-électrons*.

L'Annexe A de la présente Norme internationale est normative, les Annexes B, C et D ne sont fournies qu'à titre informatif.

[ISO 15472:2001](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0e7b8ea6-d5fe-4d0d-8e01-014d8fa09bec/iso-15472-2001)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0e7b8ea6-d5fe-4d0d-8e01-014d8fa09bec/iso-15472-2001>

Introduction

La spectroscopie de photoélectrons par rayons X (XPS) est largement utilisée pour l'analyse des surfaces de matériaux. Les éléments présents dans l'échantillon (à l'exception de l'hydrogène et de l'hélium) sont identifiés à partir de la comparaison des énergies de liaison de leurs niveaux atomiques de cœur déterminées à partir des spectres mesurés des photoélectrons, avec les tables d'énergies de liaison mesurées pour les différents éléments chimiques. Les informations concernant l'état chimique de ces éléments peuvent être obtenues à partir des mesures des déplacements chimiques des pics caractéristiques de photoélectrons et des électrons Auger par rapport à des états de référence. L'identification des états chimiques repose sur des mesures des déplacements chimiques avec des précisions atteignant jusqu'à 0,1 eV; par conséquent, il convient d'effectuer des mesures individuelles et des sources de référence doivent être disponibles, avec des précisions appropriées. Des étalonnages des échelles d'énergie de liaison des instruments XPS sont par conséquent requis, souvent avec une incertitude de 0,2 eV ou moins.

Cette méthode d'étalonnage des échelles d'énergie de liaison des instruments utilise des échantillons métalliques de cuivre (Cu), d'argent (Ag) et d'or (Au) purs et s'applique aux spectromètres de photoélectrons X équipés de sources X non monochromatiques d'aluminium (Al) ou de magnésium (Mg) ou monochromatiques d'Al. Elle est valide pour la gamme d'énergies de liaison comprise entre 0 et 1 040 eV.

Les instruments XPS étalonnés pour des analyses dans le domaine d'application de l'ISO 17025 [1] et à d'autres fins peuvent nécessiter une détermination de l'incertitude estimée de l'étalonnage. Ces instruments sont étalonnés si les énergies de liaison mesurées sont comprises entre certaines limites de tolérance définies de $\pm \delta$. La valeur de δ n'est pas définie dans la présente Norme internationale dans la mesure où elle dépend de l'application et de la conception de l'instrument XPS. La valeur de δ est sélectionnée par l'utilisateur de la présente Norme internationale, sur la base de son expérience dans l'utilisation de la norme, de la stabilité de l'étalonnage de l'instrument, de l'incertitude requise pour les mesures d'énergie de liaison dans les applications prévues pour l'instrument et de l'effort effectué dans la réalisation de l'étalonnage. La présente Norme internationale fournit des informations permettant de choisir une valeur appropriée de δ . Généralement, δ est égal ou supérieur à 0,1 eV et environ 4 fois supérieur à l'écart-type de répétabilité, σ_R . Pour que l'étalonnage soit correct, l'écart par rapport aux valeurs de référence d'énergie de liaison plus l'incertitude étendue d'étalonnage correspondant à un degré de confiance de 95 %, lorsqu'il s'ajoute à la dérive de l'instrument avec le temps, ne doit pas dépasser les limites de tolérance choisies. Avant que l'instrument soit susceptible de se trouver hors étalonnage, il doit être réétalonné. Un instrument est réétalonné lorsqu'une mesure d'étalonnage est réalisée et que des dispositions sont prises pour réduire la différence entre les valeurs mesurées et les valeurs de référence. Il n'est pas nécessaire de réduire cette différence à zéro, mais il faut généralement la réduire à une valeur représentant une faible fraction des limites de tolérance requises pour le travail analytique.

La présente Norme internationale n'aborde pas les éventuels défauts des instruments, dans la mesure où les essais nécessaires seraient très longs et nécessiteraient des connaissances et des appareils spécialisés. Toutefois, la présente Norme internationale est conçue pour traiter des problèmes courants de l'étalonnage des échelles d'énergie de liaison des instruments XPS.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 15472:2001

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0e7b8ea6-d5fe-4d0d-8e01-014d8fa09bec/iso-15472-2001>

Analyse chimique des surfaces — Spectromètres de photoélectrons X — Étalonnage en énergie

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie une méthode d'étalonnage des échelles d'énergie de liaison des spectromètres de photoélectrons X, appliquée à des fins analytiques générales et utilisant une source X non monochromatique d'Al ou de Mg ou une source X monochromatique d'Al. Elle n'est applicable qu'à des instruments qui comportent un canon ionique pour un nettoyage par pulvérisation. La présente Norme internationale spécifie en outre une méthode permettant d'établir un programme d'étalonnage, de tester la linéarité de l'échelle d'énergie de liaison à une énergie intermédiaire, de confirmer l'incertitude d'étalonnage de l'échelle à une valeur faible et à une valeur élevée de l'énergie de liaison, de corriger les petites dérives de cette échelle et de définir l'intervalle de confiance de l'étalonnage de l'échelle d'énergie de liaison correspondant à une probabilité de 95 %. Cet intervalle d'incertitude comprend la contribution des comportements observés lors d'études interlaboratoires, mais ne couvre pas l'ensemble des défauts qui peuvent se produire. La présente Norme internationale ne s'applique pas à des instruments comportant des erreurs d'échelle d'énergie de liaison qui sont significativement non linéaires, à des instruments fonctionnant en mode de coefficient de retardement constant à des coefficients de retardement inférieurs à 10, à des instruments dont la résolution du spectromètre est inférieure à 1,5 eV, ou à des instruments exigeant des limites de tolérance de $\pm 0,03$ eV ou moins. La présente Norme internationale ne fournit pas de vérification complète de l'étalonnage, qui confirmerait l'énergie mesurée à chaque point adressable de l'échelle d'énergie et qui devrait être réalisée conformément aux procédures recommandées par le fabricant.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0e7b8ea6-d5fe-4d0d-8e01-014d8fa09bec/iso-15472-2001>

2 Références normatives

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente du document normatif indiqué ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'ISO et de la CEI possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

ISO 18115, *Analyse chimique des surfaces — Vocabulaire*

3 Symboles et termes abrégés

a	erreur mesurée de l'étalonnage de l'échelle de l'énergie
b	erreur mesurée du décalage de zéro, en eV
E_{corr}	résultat corrigé de l'énergie de liaison correspondant à une E_{meas} donnée, en eV
E_{elem}	énergie de liaison d'un élément fréquemment mesuré à laquelle l'échelle d'énergie de liaison indiquée est calée, après étalonnage, pour permettre une mesure correcte, en eV
E_{meas}	une énergie de liaison mesurée, en eV

ISO 15472:2001(F)

$E_{\text{meas } n}$	moyenne des énergies de liaison mesurées pour un pic, n , dans le Tableau 2, en eV
$E_{\text{meas } ni}$	l'une d'un ensemble de mesures d'énergie de liaison pour le pic n dans le Tableau 2, en eV
$E_{\text{ref } n}$	valeur de référence pour la position sur l'échelle d'énergie de liaison du pic n dans le Tableau 2, en eV
FWHM	largeur à mi-hauteur de l'intensité maximale du pic au-dessus du fond, en eV
j	nombre de mesures répétées pour un nouveau pic
k	nombre de mesures répétées pour les pics Au 4f _{7/2} , Cu 2p _{3/2} et Ag 3d _{5/2} ou Cu L ₃ VV dans les déterminations de l'écart-type de répétabilité et de la linéarité
m	nombre de mesures répétées pour les pics Au 4f _{7/2} et Cu 2p _{3/2} dans les étalonnages réguliers
n	désignation de l'identificateur de pic dans le Tableau 2
t_x	valeur t de Student pour x degrés de liberté d'une distribution bilatérale pour un degré de confiance de 95 %
U_{95}	incertitude totale de l'échelle d'énergie étalonnée à un degré de confiance de 95 %, en eV
$U_{95}^c(E)$	incertitude à un degré de confiance de 95 % résultant de l'étalonnage au moyen des pics Au 4f _{7/2} et Cu 2p _{3/2} à une énergie de liaison E , en supposant une linéarité de l'échelle parfaite, en eV
U_{95}^l	incertitude de ε_2 ou ε_3 à un degré de confiance de 95 % obtenue à partir de l'Équation (7), en eV
U_{95}^{cl}	incertitude d'étalonnage à un degré de confiance de 95 % en l'absence d'erreur de linéarité, obtenue à partir des Équations (12) et (13)
XPS	spectroscopie de photoélectrons par rayons X
Δ_n	énergie compensée, donnée par l'énergie de liaison moyenne mesurée pour un pic d'étalonnage, moins l'énergie de référence, en eV, pour $n = 1, 2, 3, 4$ dans le Tableau 2, pour une source X donnée
ΔE_{corr}	correction à ajouter à E_{meas} , après étalonnage, pour fournir le résultat corrigé de l'énergie de liaison
$\Delta\phi$	moyenne de Δ_1 et Δ_4 obtenue à partir de l'Équation (16)
δ	valeur de la limite de tolérance de l'étalonnage de l'énergie à un degré de confiance de 95 % (fixée par l'analyste), en eV
ε_2	erreur mesurée de la linéarité de l'échelle au pic Ag 3d _{5/2} obtenue à partir de l'Équation (4), en eV
ε_3	erreur mesurée de la linéarité de l'échelle au pic Cu L ₃ VV obtenue à partir de l'Équation (5) ou (6), en eV
σ_R	maximum de σ_{R1} , σ_{R2} ou σ_{R3} et σ_{R4}
σ_{Rn}	écart-type de répétabilité pour les sept mesures de l'énergie de liaison des pics n dans le Tableau 2, en eV
$\sigma_{R\text{new}}$	écart-type de répétabilité pour un nouveau pic, en eV

Une liste de symboles supplémentaires utilisés dans les Annexes A et D se trouve dans ces annexes.

4 Aperçu de la méthode

La méthode est explicitée ici de manière à pouvoir mieux comprendre la procédure détaillée, donnée à l'Article 5. Pour étalonner un spectromètre de photoélectrons X à l'aide de la présente Norme internationale, il sera nécessaire d'obtenir et de préparer des feuilles de référence de cuivre et d'or afin de mesurer les énergies de liaison des pics de photoélectrons Cu 2p_{3/2} et Au 4f_{7/2} avec les réglages instrumentaux appropriés. Ces pics sont choisis car ils sont proches des limites inférieure et supérieure de l'énergie de liaison utilisée en pratique dans les analyses. Pour les tests de linéarité de l'échelle d'énergie de liaison avec des instruments utilisant une source monochromatique de rayons K α d'Al, un échantillon de référence d'argent est également nécessaire et pour ce test, on utilise le pic Ag 3d_{5/2}. Pour des tests équivalents utilisant une source X non monochromatique, le même pic ou, de préférence, le pic d'électron Auger Cu L₃VV est utilisé. Ces pics sont bien établis à cette fin et des données de référence appropriées existent pour des angles d'émission compris dans la gamme allant de 0° à 56° par rapport à la normale de l'échantillon. Ces étapes initiales sont décrites de 5.1 à 5.5 et représentées dans le diagramme de la Figure 1, avec les titres du paragraphe concerné paraphrasé.

Pour le premier étalonnage, on suppose qu'il n'y a pas eu de caractérisation du comportement du spectromètre. Ainsi, en 5.7, les mesures des énergies de liaison sont effectuées pour les pics Cu 2p_{3/2}, Ag 3d_{5/2} ou Cu L₃VV, et Au 4f_{7/2} dans une séquence répétée sept fois. Ces données indiquent les écarts-types de répétabilité σ_{R1} , σ_{R2} ou σ_{R3} et σ_{R4} pour les trois pics utilisés. Ces écarts-types comprennent la contribution de la stabilité des composants électroniques du spectromètre, de la sensibilité de l'énergie du pic mesurée à la position de l'échantillon et du bruit de fond statistique à la position du pic. La procédure définit les conditions pour garantir que le bruit de fond statistique est relativement faible. Les deux autres contributions peuvent varier selon l'énergie de liaison mesurée et ainsi σ_R est défini comme la plus grande des valeurs obtenues pour les trois pics utilisés. La valeur de σ_R peut dépendre de la procédure de positionnement de l'échantillon. En 5.7.1, l'utilisation d'une procédure de positionnement de l'échantillon cohérente est requise et l'étalonnage final ne vaut que pour des échantillons positionnés en utilisant cette procédure de positionnement.

Des études de spectromètres montrent qu'en général, toute erreur mesurée d'énergie des pics varie de façon approximativement linéaire avec l'énergie de liaison des pics. Les équations présentées dans la présente Norme internationale ne valent que pour cette situation la plus courante et reposent sur le principe que la différence entre les énergies de liaison mesurées et les énergies de liaison de référence est à la fois faible et linéaire, ou proche de la linéarité, selon l'énergie de liaison. Cette linéarité peut faire défaut si l'instrument est défectueux. Ainsi un test est fourni en 5.7 et 5.9 pour confirmer que l'on est proche de la linéarité à une énergie intermédiaire. Pour des raisons pratiques, ce test implique le pic de l'électron Auger du cuivre pour les deux sources X non monochromatiques d'Al et de Mg. Toutefois, pour la source X monochromatique d'Al, l'énergie effective des rayons X pour différents instruments peut varier d'une valeur allant jusqu'à 0,2 eV, selon les réglages précis du monochromateur, et ainsi les énergies relatives des pics de photoélectrons et d'électrons Auger peuvent également varier [2] d'une valeur allant jusqu'à 0,2 eV. Le test de linéarité pour une source X monochromatique d'Al est, par conséquent, effectué avec un pic de photoélectrons et, à cette fin, c'est le pic Ag 3d_{5/2} qui est choisi [3]. Lors de la réalisation des mesures pour la présente Norme internationale, l'utilisation du pic Cu L₃VV au lieu du pic Ag 3d_{5/2}, et, en conséquence, la nécessité d'ajouter l'échantillon d'Ag, sont les seules modifications apportées à la procédure subordonnée à l'utilisation d'une source X monochromatique d'Al au lieu d'une source X non monochromatique.

Si le test de linéarité est approprié, une correction de l'échelle d'énergie de liaison peut être dérivée en utilisant une simple procédure d'étalonnage régulier définie en 5.10. La façon dont est corrigée exactement l'échelle d'énergie de liaison dépend de détails pratiques de l'instrument en cours d'étalonnage, et un certain nombre de stratégies sont donc indiquées en 5.11. L'analyste doit également tenir compte de l'incertitude avec laquelle les énergies de liaison des pics doivent être mesurées. Le Tableau 1 présente les valeurs de certains des paramètres typiques, définis dans la présente Norme internationale, qui conduisent à titre d'illustration à des valeurs limites de tolérance de $\pm 0,1$ eV et $\pm 0,2$ eV à un degré de confiance de 95 %. Noter, dans le Tableau 1, l'importance de la dérive admissible entre les étalonnages. Ainsi, d'après le diagramme de la Figure 1, l'intervalle d'étalonnage est déterminé d'après les mesures de la dérive de l'instrument comme décrit en 5.13. L'étalonnage régulier est alors effectué à l'intervalle d'étalonnage approprié pour maintenir l'échelle d'énergie de liaison de l'instrument dans les limites de tolérance requises.

La présente Norme internationale décrit des mesures pour établir l'incertitude d'étalonnage à un degré de confiance de 95 %, directement après l'étalonnage. L'erreur de l'échelle d'énergie de liaison augmente

généralement avec le temps et, pendant l'intervalle de temps entre les étalonnages, elle ne doit pas dépasser les limites de tolérance de $\pm \delta$ choisies par l'analyste pour définir la qualité de ses mesures. Compléter un tableau tel que celui illustré par l'exemple du Tableau 1 aide l'utilisateur à définir une valeur appropriée de δ . Si vous n'avez pas idée de la capacité de votre instrument, si les informations du fabricant ne vous y aident pas et si vous n'avez pas une idée précise de vos exigences, commencez le Tableau 1, avec δ fixé à 0,1 eV. Suivez la procédure décrite dans la présente Norme internationale, en remplissant les lignes, puis vérifiez si cette valeur de δ est réalisable pour votre instrument. Si elle ne l'est pas, révisez vos procédures de fonctionnement et réduisez un ou plusieurs des termes contribuant à U_{95} ou bien augmentez δ à une valeur que vous pouvez accepter.

Il est important de noter que δ est la limite de tolérance pour la précision de l'étalonnage de l'échelle d'énergie de liaison de l'instrument. Des mesures ultérieures de l'énergie de liaison peuvent avoir des incertitudes supérieures à δ en raison de la largeur du pic, de statistiques de comptage médiocres, de synthèses de pics ou d'effets de charge. Des indications sur la consignation de l'incertitude des mesures ultérieures sont données en Annexe C. Il est noté ci-dessus que les énergies efficaces des rayons X pour une source X monochromatique d'Al peuvent varier d'un instrument à l'autre et ainsi, une méthode est donnée en Annexe D pour mesurer cette énergie.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 15472:2001

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0e7b8ea6-d5fe-4d0d-8e01-014d8fa09bec/iso-15472-2001>

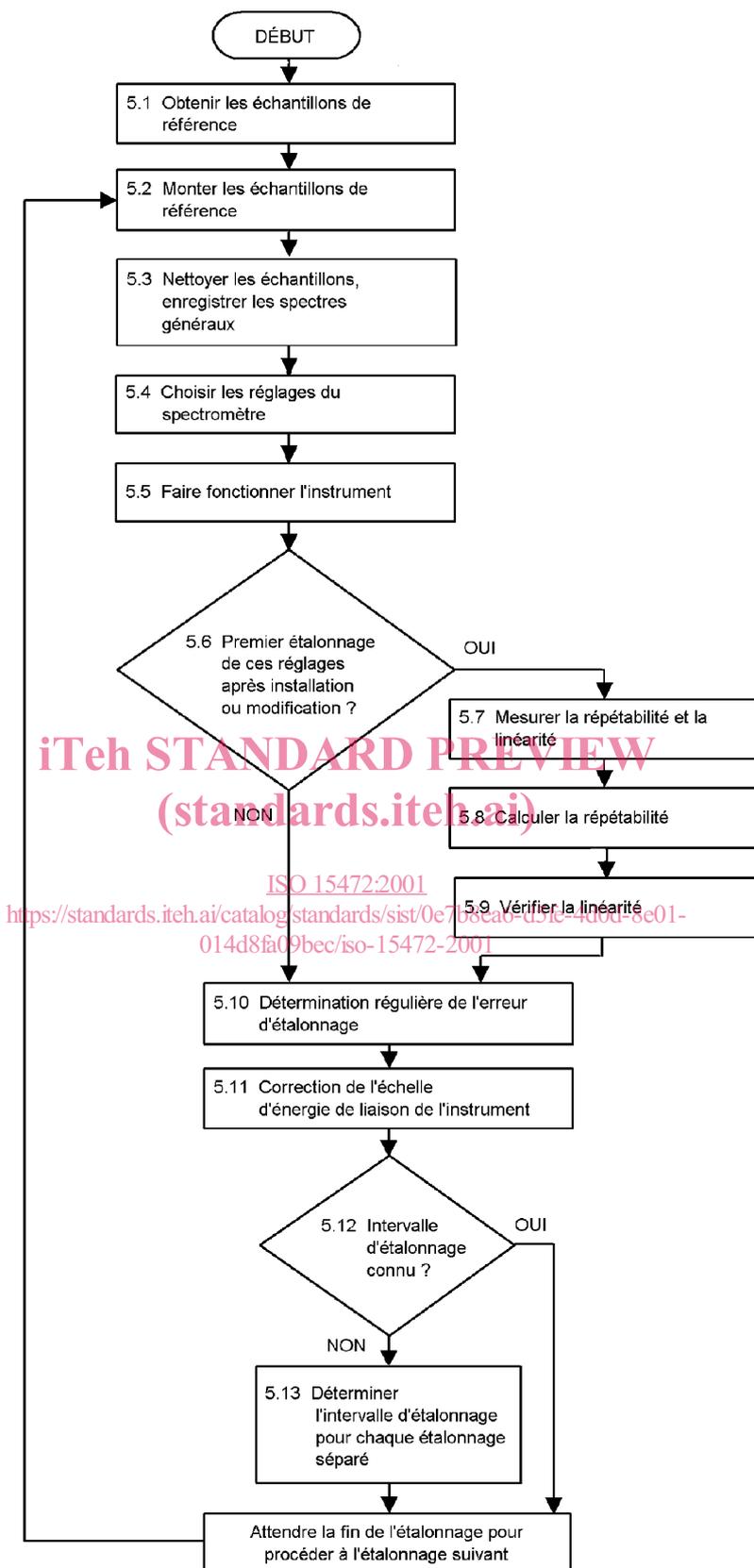


Figure 1 — Diagramme de la séquence des opérations de la méthode

(Les numéros de paragraphes figurant dans chaque case correspondent aux paragraphes du texte de la présente Norme internationale)

Tableau 1 — Contributions à une pondération d'erreur pour l'étalonnage de l'échelle d'énergie de liaison

(Les incertitudes sont déterminées à un degré de confiance de 95 %. Les exemples illustrent l'effet de vos choix sur l'incertitude d'étalonnage et l'intervalle requis entre les réétalonnages)

Élément	Symbole	Calculé à partir de	Exemples			
			Si vous exigez une précision élevée		Si vous exigez une précision plus faible	
Limites de tolérance, eV	$\pm \delta$	Vous choisissez	$\pm 0,1$		$\pm 0,2$	
Écart-type de répétabilité, eV	σ_R	Équation (1)	0,020		0,020	
Nombre de fois où chaque paire de spectres est enregistrée	m	Vous choisissez $m = 1$ ou 2	$m = 1$	$m = 2$	$m = 1$	$m = 2$
Mesures de l'incertitude d'étalonnage, eV	U_{95}^{cl}	Équation (12) ou (13)	0,074	0,052	0,074	0,052
Mesure de la non-linéarité de l'échelle, eV	ϵ_2 ou ϵ_3	Équations (4), (5) ou (6)	0,020	0,020	0,020	0,020
Incertitude de l'échelle d'énergie après l'étalonnage, eV	U_{95}	Équation (11)	0,078	0,057	0,078	0,057
Dérive maximale admissible entre les étalonnages, eV	$\pm (\delta - U_{95})$	δ et U_{95}	$\pm 0,022$	$\pm 0,043$	$\pm 0,122$	$\pm 0,143$
Intervalle maximal entre deux étalonnages (pour un taux de dérive constant de 0,025 eV par mois), mois	—	Paragraphe 5.13	0,9	1,7	4,9	5,7
Votre choix d'intervalle d'étalonnage, mois	—	Votre choix sur la base du comportement de dérive observé	Option non réalisable	1	3	4

Votre choix est dicté par la précision que vous exigez et par le nombre de spectres que vous avez le temps d'acquérir avec des étalonnages réguliers.

Caractéristique de votre spectromètre mesurée lors du premier étalonnage (voir 5.7).

Caractéristique de votre spectromètre mesurée lors du premier étalonnage (voir 5.7).

Définissez la dérive admissible avant de risquer de dépasser les limites $\pm \delta$ (eV) que vous avez choisies.

Choisissez un intervalle approprié inférieur à ce maximum et inférieur à 4 mois, avec une marge de sécurité pour tout comportement aberrant.