



Norme
internationale

ISO 4349

**Combustibles solides de
récupération — Détermination
de l'indice de recyclage pour le
cotraitement**

*Solid recovered fuels — Determination of the recycling index for
co-processing*

Première édition
2024-05

iTeh Standards
(<https://standards.itih.ai>)
Document Preview

[ISO 4349:2024](https://standards.itih.ai/catalog/standards/iso/febadedb-e784-4000-8294-76eff37fd782/iso-4349-2024)

<https://standards.itih.ai/catalog/standards/iso/febadedb-e784-4000-8294-76eff37fd782/iso-4349-2024>

iTeh Standards
(<https://standards.itih.ai>)
Document Preview

[ISO 4349:2024](https://standards.itih.ai/catalog/standards/iso/febadedb-e784-4000-8294-76eff37fd782/iso-4349-2024)

<https://standards.itih.ai/catalog/standards/iso/febadedb-e784-4000-8294-76eff37fd782/iso-4349-2024>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2024

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et abréviations	2
5 Réactifs	2
6 Appareillage	2
7 Mode opératoire	3
7.1 Préparation de l'échantillon pour essai	3
7.2 Détermination de la teneur en cendres et préparation de l'échantillon de cendres	3
7.3 Détermination de la teneur en éléments	3
7.4 Méthodes	4
7.4.1 Méthode A — digestion humide suivie d'une analyse ICP-MS ou ICP-OES	4
7.4.2 Méthode B — préparation de perles fondues suivie d'une analyse ICP-OES	4
7.4.3 Méthode C — préparation de pastilles suivie d'une analyse par fluorescence X	4
7.4.4 Autres modes opératoires	4
7.5 Calcul	4
7.5.1 Calcul des concentrations des éléments oxydés	4
7.5.2 Calcul de l'indice R pour le cotraitement	5
8 Caractéristiques de performance	5
9 Rapport d'essai	5
Annexe A (informative) Composition des cendres de CSR dérivés de déchets ménagers et de déchets d'activités économiques en mélange	7
Annexe B (informative) Validation	17
Bibliographie	25

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 (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse www.iso.org/brevets. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de propriété.

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 300, *Matières solides de récupération, y compris les combustibles solides de récupération*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 343 *Combustibles solides de récupération*, du Comité européen de normalisation (CEN), conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Introduction

Lorsque les combustibles solides de récupération (CSR) sont cotraités principalement dans l'industrie du ciment, il y a simultanément valorisation énergétique et recyclage des composants minéraux des déchets car les cendres sont directement incorporées dans le clinker. Le cotraitement des CSR permet donc de remplacer à la fois les ressources minérales et les combustibles fossiles.

Les cendres de CSR contiennent divers composants chimiques qui sont des matières premières essentielles pour les fabricants de ciment, remplissent des tâches spécifiques dans la production de clinker de ciment, ou bien représentent des phases du clinker lui conférant ses propriétés spécifiques. Par exemple, une majeure partie des cendres de CSR provenant de déchets ménagers et de déchets d'activités économiques en mélange est constituée des quatre principaux composants chimiques nécessaires à la production de clinker: Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 et SiO_2 (voir [Annexe A](#)). En outre, les constituants mineurs des cendres comprennent du MgO et du TiO_2 , tous deux présents dans les phases du clinker ou en tant que phases du clinker. Le K_2O et le Na_2O sont des constituants typiques des feldspaths, présents dans l'argile utilisée comme matière première du procédé. Le SO_3 , qui est également présent dans les cendres de CSR, ou bien un autre support de sulfate est nécessaire pour convertir ces oxydes alcalins en sulfates alcalins, une phase du clinker qui modifie la réactivité chimique du clinker en présence d'eau.

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO 4349:2024](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/febadedb-e784-4000-8294-76eff37fd782/iso-4349-2024>

Combustibles solides de récupération — Détermination de l'indice de recyclage pour le cotraitement

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie la détermination de la part de valorisation de matière dans le cas de la valorisation énergétique (c'est-à-dire le cotraitement) des combustibles solides de récupération (CSR), par exemple, dans un four à ciment. Cette part, appelée indice de recyclage (indice R), est calculée sur la base de la teneur en cendres et de la composition des cendres.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 3884:—¹⁾, *Combustibles solides de récupération — Méthodes de détermination de la teneur en éléments (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Si, Ti, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V, Zn)*

ISO 11885, *Qualité de l'eau — Dosage d'éléments choisis par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES)*

ISO 21645, *Combustibles solides de récupération — Méthodes d'échantillonnage*

ISO 21646, *Combustibles solides de récupération — Préparation des échantillons*

ISO 21656:2021, *Combustibles solides de récupération — Détermination de la teneur en cendres*

ISO 22940, *Combustibles solides de récupération — Détermination de la composition élémentaire par fluorescence de rayons X*

EN 15309, *Caractérisation des déchets et du sol — Détermination de la composition élémentaire par fluorescence X*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

3.1 indice de recyclage indice R

part des CSR qui peut être considérée comme recyclée au niveau des matériaux, exprimée en fraction massique en pourcentage de matière sèche

1) En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: ISO/DIS 3884:2024.

3.2

cotraitement

utilisation des CSR dans les procédés de fabrication à des fins de valorisation énergétique et simultanément de valorisation des composants minéraux

4 Symboles et abréviations

A_{db}	teneur en cendres à 815 °C sur base sèche
Al_2O_3	oxyde d'aluminium (III)
CaO	oxyde de calcium
(d)	sur base sèche
Fe_2O_3	oxyde de fer (III)
K_2O	oxyde de potassium
MgO	oxyde de magnésium
Na_2O	oxyde de sodium
SiO_2	dioxyde de silicium
SO_3	trioxyde de soufre
TiO_2	dioxyde de titane

5 Réactifs

Utiliser seulement des réactifs de qualité analytique reconnue et de l'eau distillée ou de pureté équivalente.

5.1 Eau, par exemple désionisée ($< 0,055 \mu S/cm$).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/febadedb-e784-4000-8294-76eff37fd782/iso-4349-2024>

5.2 Acide nitrique (HNO_3), environ 15 mol/l, fraction massique de 65 % à 70 %.

5.3 Acide fluorhydrique (HF), environ 23 mol/l, fraction massique de 40 % à 45 %.

5.4 Acide chlorhydrique (HCl), environ 12 mol/l, fraction massique de 35 % à 37 %.

5.5 Métaborate de lithium ($LiBO_2$), solide.

5.6 Liant, solide ou liquide, par exemple de la cire. Les spécifications sont données dans l'EN 15309.

6 Appareillage

L'appareillage courant d'un laboratoire, notamment les éléments suivants, doit être utilisé.

6.1 Balance analytique, ayant une précision de 1 mg ou plus.

6.2 Four à moufle, pour des températures de 1 050 °C.

6.3 Plasma induit par haute fréquence, instrumentation normale du commerce munie d'un détecteur optique ou de spectrométrie de masse (ICP-OES, ICP-MS).

6.4 Spectromètre de fluorescence X, système de dispersion d'énergie ou de longueur d'onde propre à une analyse qualitative ou quantitative (ou semi-quantitative) des éléments cités dans le présent document.

6.5 Four micro-ondes, conformément à l'ISO 3884:—.

6.6 Presse conformément à l'ISO 22940 ou l'EN 15309.

6.7 Creuset de platine, par exemple Pt/Au 5 %.

6.8 Coupelle inerte, par exemple faite de porcelaine, de dioxyde de silicium ou de platine, ayant une profondeur comprise entre 10 mm et 20 mm et dont la taille a été choisie de manière à ce que l'occupation du fond ne dépasse pas $0,1 \text{ g/cm}^2$.

6.9 Agitateur magnétique, avec fonction de chauffage et barreau d'agitation en PTFE (polytétrafluoroéthylène).

6.10 Fioles jaugées, par exemple de 250 ml.

7 Mode opératoire

7.1 Préparation de l'échantillon pour essai

L'échantillonnage du CSR doit être effectué conformément à l'ISO 21645 et la préparation de l'échantillon conformément à l'ISO 21646, l'échantillon final ayant une dimension nominale inférieure ou égale à 1,0 mm. Les corps étrangers durs, c'est-à-dire les matériaux inertes ou les métaux, dont la taille ne peut être réduite en utilisant l'appareillage défini dans l'ISO 21646, sont séparés au cours de la préparation de l'échantillon et ne sont pas pris en compte dans les étapes d'analyse ultérieures. Leur quantité doit être consignée. L'échantillon est séché à 105 °C conformément à l'ISO 21660-3. Les procédures et analyses ultérieures sont effectuées avec l'échantillon séché $< 1,0 \text{ mm}$, exempt de corps étrangers durs.

7.2 Détermination de la teneur en cendres et préparation de l'échantillon de cendres

La détermination de la teneur en cendres doit être effectuée conformément à la méthode B de l'ISO 21656:2021. Si la détermination fournit une quantité de matériau suffisante pour procéder aux analyses, le matériau réduit à l'état de cendres doit être utilisé pour les analyses ultérieures. Si la détermination de la teneur en cendres fournit des quantités de cendres insuffisantes pour les étapes d'analyse ultérieures (des exemples de teneur en cendres de constituants typiques de CSR dérivés de déchets ménagers et de déchets d'activités économiques en mélange figurent à l'[Annexe A](#)), la quantité de cendres suffisante doit être atteinte en utilisant l'une des deux approches suivantes ou les deux:

- a) Le processus de réduction à l'état de cendres est répété et les cendres sont collectées et réunies afin d'atteindre les quantités minimales exigées pour les analyses ultérieures des cendres. Cette approche peut se révéler préférable pour la méthode A (digestion humide/ICP-MS, nécessitant environ 200 mg d'échantillon de cendres) et pour la méthode B (perles fondues/ICP-OES, nécessitant environ 100 mg d'échantillon de cendres).
- b) Une coupelle inerte proportionnellement plus grande est utilisée et la quantité de l'échantillon est augmentée en conséquence. Cette option peut être préférable pour la préparation de pastilles et les analyses par fluorescence X (méthode C, environ 4,5 à 10 g sont nécessaires). La coupelle doit répondre aux exigences définies par l'ISO 21656 et sa taille doit être choisie de manière à ce que l'occupation du fond ne dépasse pas $0,1 \text{ g/cm}^2$.

7.3 Détermination de la teneur en éléments

La teneur en éléments doit être déterminée conformément à l'ISO 3884:— ou à l'ISO 22940. La teneur en éléments doit être déterminée dans l'échantillon de cendres.

7.4 Méthodes

7.4.1 Méthode A — digestion humide suivie d'une analyse ICP-MS ou ICP-OES

Les cendres doivent être digérées par digestion acide assistée par micro-ondes avec de l'acide chlorhydrique, de l'acide nitrique et de l'acide fluorhydrique et analysées par ICP-MS ou ICP-OES comme décrit dans l'ISO 3884:—.

7.4.2 Méthode B — préparation de perles fondues suivie d'une analyse ICP-OES

100 mg (± 20 mg) d'échantillon de cendres doivent être soigneusement mélangés avec 1 000 mg (± 10 mg) de métaborate de lithium (fondant) dans un creuset de platine. Le mélange doit être fondu dans un four à moufle à $1\,050\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ pendant 20 min. On laisse refroidir les perles fondues obtenues puis elles sont dissoutes progressivement en ajoutant 80 ml d'acide chlorhydrique ($c = 2\text{ mol/l}$) par petites quantités dans le creuset. La dissolution doit être réalisée en chauffant (à environ 60 °C) et en agitant à l'aide d'un barreau d'agitation en PTFE. De l'eau désionisée ($< 0,055\ \mu\text{S/cm}$) doit être ajoutée à la solution de digestion jusqu'à atteindre un volume final de 250 ml. Cette solution doit contenir 0,4 g/l d'échantillon et 4 g/l de fondant. Seules les solutions limpides doivent être soumises aux analyses ultérieures, les solutions de digestion troubles sont rejetées. Un essai à blanc doit être préparé selon la même méthode, mais aucun échantillon n'est ajouté. La teneur en éléments dans les solutions de digestion doit être déterminée par ICP-OES conformément à l'ISO 11885.

7.4.3 Méthode C — préparation de pastilles suivie d'une analyse par fluorescence X

La préparation des pastilles et les analyses par fluorescence X doivent être effectuées conformément à l'ISO 22940 ou à l'EN 15309. L'échantillon de cendres fines doit être mélangé et homogénéisé avec un liant selon un ratio défini (différents ratios peuvent être appliqués et le facteur de dilution doit être pris en compte; un ratio massique typique entre l'échantillon et la cire est de 10:1), puis il doit être pressé à l'aide d'une presse automatique ou manuelle. Pour une pastille de 40 mm de diamètre, il faut environ 10,0 g d'échantillon de cendres. Pour une pastille de 32 mm de diamètre, il faut environ 4,5 g d'échantillon de cendres.

7.4.4 Autres modes opératoires

Des méthodes de substitution peuvent être appliquées, s'il est prouvé que leurs performances sont comparables à celles des méthodes citées dans les paragraphes précédents.

7.5 Calcul

7.5.1 Calcul des concentrations des éléments oxydés

Il est nécessaire que les résultats concernant les concentrations des éléments chimiques soient convertis en concentrations des éléments oxydés. La conversion est effectuée en multipliant la concentration de l'élément considéré, exprimée en mg/kg (d), par le facteur de conversion correspondant, comme l'indique la [Formule \(1\)](#):

$$c_{i_2} = F_{ci} * c_{i_1} \quad (1)$$

où

c_{i_1} est la concentration d'un élément sélectionné, exprimée en mg/kg (d);

c_{i_2} est la concentration de l'élément oxydé correspondant, exprimée en mg/kg (d), voir [Tableau 1](#);

F_{ci} est le facteur de conversion correspondant tel qu'indiqué dans le [Tableau 1](#).

Tableau 1 — Facteurs de conversion

Élément	Élément oxydé	Facteur de conversion F_c
Al	Al ₂ O ₃	1,889 4
Ca	CaO	1,399 2
Fe	Fe ₂ O ₃	1,429 7
K	K ₂ O	1,204 6
Mg	MgO	1,658 3
Na	Na ₂ O	1,348 0
S	SO ₃	2,496 9
Si	SiO ₂	2,139 3
Ti	TiO ₂	1,668 5

7.5.2 Calcul de l'indice R pour le cotraitement

La part des CSR recyclée au niveau des matériaux (c'est-à-dire l'indice R), exprimée en fraction massique en pourcentage de matière sèche [% (*d*)], peut être calculée soit en tenant compte des quatre principaux composés chimiques nécessaires à la production de clinker (R_{i4}), soit en tenant compte des éléments supplémentaires qui sont introduits par les matières premières naturelles et qui font également partie des phases du clinker (R_{i9}). Les indices R doivent être calculés comme suit:

$$R_{i4} = \frac{A_{db} * (c_{Al_2O_3} + c_{CaO} + c_{Fe_2O_3} + c_{SiO_2})}{100 * 10\,000} \quad (2)$$

$$R_{i9} = \frac{A_{db} * (c_{Al_2O_3} + c_{CaO} + c_{Fe_2O_3} + c_{K_2O} + c_{MgO} + c_{Na_2O} + c_{SO_3} + c_{SiO_2} + c_{TiO_2})}{100 * 10\,000}$$

où

A_{db} est la teneur en cendres de l'échantillon pour analyse générale à 815 °C sur base sèche, exprimée en fraction massique en pourcentage de matière sèche;

c_x est la concentration d'éléments oxydés exprimée en mg/kg (*d*).

8 Caractéristiques de performance

Les données de répétabilité et de reproductibilité pour des échantillons prédéfinis de combustibles solides de récupération (boues de fibres de papier, fraction de déchets à haute valeur calorifique provenant de déchets solides ménagers non dangereux) sont indiquées à l'[Annexe B](#).

9 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir au moins les informations suivantes:

- le nom et l'adresse de tout laboratoire ayant participé à l'analyse;
- la description et l'identification de l'échantillon pour laboratoire;
- la date de réception de l'échantillon pour laboratoire et la ou les dates d'exécution de l'essai;
- une référence au présent document, à savoir l'ISO 4349:2024;
- la référence à l'étalon analytique servant à la détermination de chaque élément;
- les résultats analytiques de l'indice R_4 et/ou de l'indice R_9 , en % (*d*);