
**Biocombustibles solides —
Détermination de la broyabilité —
Méthode de type Hardgrove pour les
combustibles de biomasses traitées
thermiquement**

*Solid biofuels — Determination of grindability — Hardgrove type
method for thermally treated biomass fuels*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 21596:2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bdfcb837-03e3-45a3-9521-94daab665c6f/iso-ts-21596-2021)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bdfcb837-03e3-45a3-9521-94daab665c6f/iso-ts-21596-2021>



iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TS 21596:2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bdfcb837-03e3-45a3-9521-94daab665c6f/iso-ts-21596-2021)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bdfcb837-03e3-45a3-9521-94daab665c6f/iso-ts-21596-2021>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2021

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 Principe	2
5 Appareillage	2
5.1 Broyeur HGI étalon	2
5.2 Tamis	2
5.3 Éprouvette graduée en verre	3
5.4 Machine de tamisage	3
5.5 Balance	3
5.6 Broyeur à couteaux	3
6 Échantillonnage et préparation des échantillons	3
6.1 Généralités	3
6.2 Conditions d'humidité	3
6.3 Prébroyage et tamisage	3
6.4 Taille d'échantillon	3
7 Mode opératoire	4
8 Calcul	4
9 Reproductibilité	5
10 Rapport d'essai	5
Annexe A (normative) Courbe d'étalonnage et valeurs de TTBI pour les matériaux de référence	6
Bibliographie	9

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'attention est attirée 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. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

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.

(standards.iteh.ai)

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 238, *Biocombustibles solides*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 335, *Bio combustibles solides*, 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

Les caractéristiques de broyabilité sont d'une importance majeure dans la préparation de biocombustibles solides destinés aux procédés de conversion de l'énergie, nécessitant une distribution granulométrique prévisible. Une distribution de particules trop grosses ou trop larges peut entraîner des problèmes d'alimentation ainsi que l'utilisation de carburant non brûlé dans le procédé de conversion. De plus, dans le cas du prétraitement de la biomasse, l'uniformité de la taille des particules détermine le rendement d'un tel prétraitement ainsi que la qualité du biocombustible solide final.

L'efficacité de la combustion dans un four à combustible pulvérisé dépend fortement de la réactivité et de la distribution granulométrique du combustible pulvérisé, entre autres facteurs. Pour le charbon, l'essai d'indice de broyabilité Hardgrove (HGI, de l'anglais «Hardgrove grindability index») a été élaboré pour caractériser la broyabilité relative d'une qualité particulière de charbon par rapport à une qualité étalon prédéterminée de charbon (ASTM D409). L'essai d'HGI est une méthode empirique par lots qui simule l'opération de broyage et de concassage en continu d'un pulvérisateur industriel de charbon de type boule, table ou tube, également appelé ici broyeur à charbon. La valeur d'HGI indique le degré de broyage requis pour obtenir une taille de particule particulière nécessaire à une combustion efficace.

Les fabricants des broyeurs à charbon, ceux-ci permettant de préparer le charbon pulvérisé pour servir de combustible dans les centrales à charbon, fournissent des courbes qui établissent les relations entre le HGI du charbon, la capacité du broyeur à charbon en t/h et la puissance du broyeur à charbon en kW. Ces courbes sont établies dans le cadre du contrat de chaudière et des garanties associées. Elles servent également de première indication sur la façon de faire fonctionner un broyeur lors de la pulvérisation de différents charbons avec des propriétés normalisées prédéterminées. Un HGI de 50 (convention sectorielle normalisée) implique qu'une capacité de 100 % en t/h (comme indiqué) peut être atteinte pour le charbon dont la finesse est, pour 70 % du charbon, inférieure à 75 µm et, pour 99,5 % du charbon, inférieure à 300 µm. Si un charbon a un HGI inférieur à 50, cela implique une certaine perte de capacité du pulvérisateur, tandis qu'un HGI supérieure à 50 indique un certain gain de capacité du pulvérisateur. La méthode de l'HGI est internationalement reconnue et citée dans le cadre de la spécification du charbon au niveau du commerce international.

La broyabilité peut également être appliquée à des matériaux de biomasse comprimée et prétraitée thermiquement, tels que les granulés, pour pulvérisation dans des broyeurs à charbon. Les méthodes de prétraitement des combustibles de biomasse telles que la torréfaction, le traitement à la vapeur ou la carbonisation hydrothermale (HTC, de l'anglais «hydro-thermal carbonization») améliorent les propriétés de la biomasse en la rendant plus efficace en tant que combustible. En raison de l'intérêt croissant pour l'utilisation de ces combustibles de biomasse prétraités pour des applications de co-combustion directe dans des chaudières à charbon pulvérisé conventionnelles, cette méthode décrit un procédé de laboratoire permettant de déterminer la broyabilité des biocombustibles prétraités pour la préparation de combustibles en poudre.

La détermination de l'HGI est soumise à de nombreuses limites, notamment le fait que les mesurages peuvent être insensibles aux propriétés hétérogènes du charbon qui résultent de différents teneurs en minéraux, constituants macéraux et degrés de maturation. Trois adaptations pertinentes sont appliquées à la méthode de l'HGI étalon afin d'étendre son applicabilité aux combustibles de biomasse traitée thermiquement. Les adaptations et leur justification sont les suivantes:

- quantité d'échantillons utilisée pour la détermination de l'essai;
- taille des particules utilisée comme base pour définir la broyabilité;
- matériaux de référence permettant d'établir la courbe d'étalonnage.

0.1 Quantité d'échantillons utilisée pour la détermination de l'essai

Les pulvérisateurs à charbon sont des dispositifs volumétriques, mais, avec des densités de charbon assez similaires, la capacité de ces dispositifs est exprimée en unités de masse par heure. En revanche, différents matériaux de biomasse ont des densités différentes. Par conséquent, la quantité d'échantillons a été modifiée par un volume de $(75 \pm 0,5)$ cm³ de matières entrantes, ce qui correspond

approximativement au volume apparent des échantillons de charbons de référence étalons dont la taille des particules est comprise entre 1,18 mm et 600 µm.

0.2 Taille des particules utilisée comme base pour définir la broyabilité

L'essai d'HGI étalon pour le charbon utilise la masse des particules traversant un tamis de taille d'ouverture de 75 µm comme critère pour la détermination de la broyabilité et de la valeur d'HGI résultante. Le volume du four est établi en fonction des charbons qui seront utilisés afin d'adapter le temps permettant d'obtenir une combustion complète. L'efficacité de la combustion dépend en partie de la taille des particules du combustible, en particulier pour les fours à charbon pulvérisé. L'efficacité de la combustion dépendant également de la réactivité, qui est liée à la teneur en matières volatiles des combustibles, la granulométrie des combustibles hautement volatils, comme la biomasse traitée thermiquement, n'a pas nécessairement besoin de répondre aux exigences strictes de finesse des poudres de charbon. Par conséquent, un tamis avec une taille d'ouverture de 500 µm est utilisé pour déterminer la broyabilité de la biomasse traitée thermiquement. Cette adaptation a également des implications positives sur la répétabilité de la détermination.

0.3 Matériaux de référence permettant d'établir la courbe d'étalonnage

Dans l'essai d'HGI étalon pour le charbon, quatre charbons de référence sont nécessaires pour étalonner un broyeur HGI. Cela permet la reproductibilité des résultats dans différents laboratoires. Pour la détermination de l'indice de broyabilité de la biomasse traitée thermiquement, il s'agit de la toute première étape. L'indice de broyabilité de la biomasse traitée thermiquement est un indice concernant les matériaux issus de la biomasse. Le comportement relatif au tamisage des matériaux de biomasse diffère fondamentalement de celui des charbons en raison de la différence de sphéricité des particules de charbon. Les matériaux de biomasse, y compris la biomasse traitée thermiquement, sont plus fibreux et ont de longues particules de poussière comparativement aux charbons. Les procédés de traitement thermique, par exemple la torréfaction, modifient les propriétés de la biomasse en les rendant plus proches de celles du charbon de bois. Le charbon de bois est un produit de pyrolyse lente, qui dégrade la nature fibreuse de la biomasse. Sa broyabilité est par conséquent améliorée, et il en est de même pour la sphéricité du combustible pulvérisé.

La méthode de broyabilité adaptée utilise des granules de bois (ISO 17225-2:2021, granules de bois de classe A1) et du charbon de bois (ISO 17225-1:2021, Tableau 14) comme matériaux de référence pour l'étalonnage. Ces matériaux de référence de biomasse se verront attribuer des valeurs d'indice de broyabilité de biomasse traitée thermiquement (TTBGI) à partir des procédures décrites à l'[Annexe A](#). Les matériaux pour la détermination sont disponibles dans le commerce.

Biocombustibles solides — Détermination de la broyabilité — Méthode de type Hardgrove pour les combustibles de biomasses traitées thermiquement

1 Domaine d'application

Le présent document décrit une méthode de détermination de la broyabilité des combustibles de biomasse traitée thermiquement et densifiée selon le classement donné dans l'ISO/TS 17225-8, dans le but de préparer des combustibles avec une distribution granulométrique définie pour une combustion efficace dans les chaudières à combustible pulvérisé. Les caractéristiques de broyabilité déterminées par la méthode d'essai fournissent des recommandations quant aux performances du broyeur-pulvérisateur lors de l'utilisation de tels combustibles.

Outre les matériaux sous forme de granulés décrits dans l'ISO/TS 17225-8, la méthode peut également être appliquée à de la biomasse traitée thermiquement non comprimée ou non densifiée décrite dans l'ISO 17225-1:2021, Tableaux 14 et 15.

Les résultats obtenus par cette méthode ne sont pas pertinents pour les gros copeaux de bois, car des limites s'appliquent aux grands broyeurs-pulvérisateurs à charbon, qui ne sont généralement pas utilisés pour le broyage de matériaux tels que les copeaux.

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 3310-1, *Tamis de contrôle — Exigences techniques et vérifications — Partie 1: Tamis de contrôle en tissus métalliques*

ISO 14780, *Biocombustibles solides — Préparation des échantillons*

ISO 16559, *Biocombustibles solides — Terminologie, définitions et descriptions*

ISO 17827-2, *Biocombustibles solides — Détermination de la distribution granulométrique des combustibles non comprimés — Partie 2: Méthode au tamis vibrant d'ouverture de maille inférieure ou égale à 3,15 mm*

ISO 18134-1, *Biocarburants solides — Dosage de la teneur en humidité — Méthode de séchage à l'étuve — Partie 1: Humidité totale — Méthode de référence*

ISO 18134-2, *Biocombustibles solides — Dosage de la teneur en humidité — Méthode de séchage à l'étuve — Partie 2: Humidité totale — Méthode simplifiée*

ISO 18135, *Biocarburants solides — Échantillonnage*

ISO 21945, *Biocombustibles solides — Méthode d'échantillonnage simplifiée pour les applications à petite échelle*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 16559 ainsi que les 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 broyeur à charbon
pulvérisateur industriel permettant de réduire la taille (et notamment le séchage) du charbon, dans le but de créer une fine poudre de charbon pour la combustion dans une chaudière à combustible pulvérisé

3.2 broyeur HGI
dispositif de broyage fixe utilisé en laboratoire dans le but de déterminer la broyabilité des charbons pour une application industrielle dans les broyeurs à charbon

**3.3 TTBTGI [thermally treated biomass grindability index]
indice de broyabilité de biomasse traitée thermiquement**
mesure de la tendance d'un volume fixe de matériau de biomasse traitée thermiquement à produire des particules fines après broyage dans des conditions et réglages définis

3.4 matériau de référence
matériaux utilisés pour étalonner les instruments et valider une méthode de mesure

4 Principe

Le TTBTGI d'une biomasse spécifique est obtenu en mesurant la tendance d'un volume fixe de $(75 \pm 0,5) \text{ cm}^3$ de matériaux combustibles de biomasse à produire des particules inférieures à $500 \mu\text{m}$ lorsqu'ils sont broyés et concassés dans un broyeur HGI étalon dans des conditions normalisées (force verticale de $284 \text{ N} \pm 2 \text{ N}$ sur les boules). Le TTBTGI des biocombustibles a été établi sur la base de trois adaptations de l'indice de broyabilité Hardgrove (HGI) pour les charbons étalons (voir ASTM D409). Ces adaptations sont les suivantes:

- une quantité d'échantillons pour essai de $(75 \pm 0,5) \text{ cm}^3$;
- une taille d'ouverture de tamis de $500 \mu\text{m}$; et
- les matériaux de référence sélectionnés pour l'étalonnage de la méthode de broyabilité dans le présent document sont le charbon de bois (ISO 17225-1:2021, Tableau 14) et les granulés de bois (ISO 17225-2, classe A1), outre les charbons étalons décrits dans l'ASTM D409.

5 Appareillage

Les appareils ci-après sont requis pour la détermination.

5.1 Broyeur HGI étalon

Broyeur HGI étalon, conforme à la spécification ASTM D409, vérifié périodiquement.

5.2 Tamis

Tamis, circulaire ou rectangulaire, dont la surface de tamisage efficace est d'au moins 250 cm^2 . Les tamis doivent avoir une géométrie d'ouverture conforme à l'ISO 3310-1 (tissus métalliques). Le cadre des tamis doit avoir une hauteur qui permette aux tamis de contenir les échantillons et qui assure la liberté de mouvement de l'échantillon au cours du processus de tamisage. Des tamis ayant une taille

d'ouverture de 1,18 mm, 600 µm et 500 µm sont requis. Aux fins de l'étalonnage, un tamis ayant une taille d'ouverture de 75 µm est également requis.

5.3 Éprouvette graduée en verre

Éprouvette graduée en verre, de classe A, ayant un volume de remplissage de $(75 \pm 0,5)$ cm³.

5.4 Machine de tamisage

Machine de tamisage, pour les matériaux fins (moins de 3,15 mm), équipée d'un agitateur mécanique vibrant pour plusieurs tamis, d'un réceptacle sur le fond et d'un couvercle sur le dessus pour éviter la perte de matière.

5.5 Balance

Balance, permettant une lecture à 0 199 g près.

5.6 Broyeur à couteaux

Broyeur à couteaux, équipé d'un tamis de 1,5 mm pour le prébroyage des échantillons pour essai.

6 Échantillonnage et préparation des échantillons

6.1 Généralités

L'échantillonnage doit être effectué conformément à l'ISO 18135 ou l'ISO 21945, et la préparation des échantillons conformément à l'ISO 14780. Deux prises d'essai doivent être préparées.

6.2 Conditions d'humidité

La détermination de la teneur en humidité d'un échantillon pour essai doit être effectuée conformément à l'ISO 18134-1 ou l'ISO 18134-2. La teneur en humidité doit être inférieure à 10 % sur base humide afin d'éviter l'influence de l'humidité sur l'exactitude du résultat. Le séchage à l'air libre est recommandé pour les échantillons dont la teneur en humidité est supérieure à 10 %.

6.3 Prébroyage et tamisage

La détermination nécessite des prises d'essai en double avec une plage de tailles de particules définie entre 600 µm et 1,18 mm, correspondant aux valeurs requises pour la méthode de caractérisation de l'HGI (voir ASTM D409). En l'absence de la quantité adéquate de prises d'essai (225 ml au minimum) avec la plage de tailles de particules requise, le prébroyage permettant d'obtenir la prise d'essai doit être réalisé dans un broyeur approprié (par exemple un broyeur à couteaux) équipé d'un tamis de 1,5 mm. Cette étape doit être suivie d'un tamisage conforme à l'ISO 17827-2, à l'aide de tamis de 1,18 mm et 600 µm ([Article 5](#)) afin d'obtenir la fraction granulométrique requise entre les deux tamis.

6.4 Taille d'échantillon

Après le prébroyage et le tamisage, il faut obtenir des prises en double, de $(75 \pm 0,5)$ cm³ chacune, dans la plage de tailles de particules décrite (entre 600 µm et 1,18 mm).

Utiliser une éprouvette de classe A pour déterminer le volume des échantillons. S'assurer que la surface est plane, mais ne pas vibrer ni tapoter l'éprouvette pour éviter de trop compacter l'échantillon.

7 Mode opératoire

L'essai doit être réalisé en double. Le mode opératoire est le suivant:

- a) Peser une prise d'essai de $(75 \pm 0,5)$ cm³ ayant une distribution granulométrique comprise entre 1,18 mm et 0,6 mm à 0,1 g près et consigner sa masse initiale (m_0).
- b) Placer la prise d'essai dans le godet de broyage d'un broyeur HGI étalon; broyer la prise d'essai en $(60 \pm 0,25)$ rotations (force verticale de $284 \text{ N} \pm 2 \text{ N}$ sur les boules).
- c) Tamiser le produit broyé pendant 10 min dans une machine de tamisage équipée d'un tamis de 500 μm ([Article 5](#)).
- d) Collecter toutes les particules de taille inférieure à 500 μm se trouvant dans le réceptacle inférieur dans un contenant d'échantillon approprié. Retirer ensuite toutes les particules restées sur le tamis de 500 μm . Les placer dans un contenant de conservation dans le but de les tamiser à nouveau. Ensuite, nettoyer soigneusement le tamis avec une brosse afin que les particules piégées dans les ouvertures soient éliminées et également collectées dans le contenant de conservation.
- e) Répéter le tamisage des matériaux supérieurs à 500 μm collectés, pendant 5 min, et réaliser la séparation décrite à l'étape d). Toute la matière qui est passée par les ouvertures de 500 μm est réunie dans le contenant de conservation.
- f) Répéter l'étape e) une deuxième puis une troisième fois si le tamisage n'est pas complet.

NOTE Dans de nombreux cas, il est possible que deux étapes de retamissage soient inutiles. Le retamissage permet de contrôler si le tamisage a été complet ou si de la matière est restée sur le tamis, par exemple à cause du bouchage des trous. Avant un nouveau tamisage, toutes les particules collées dans les trous du tamis ont besoin d'être éliminées.

- g) Peser la totalité des matériaux réunis, collectés sous le tamis de 500 μm , pour connaître la masse m_1 . Peser la fraction massique restée sur le tamis de 500 μm pour connaître la masse m_2 .

Les résultats de l'essai doivent satisfaire aux exigences suivantes:

- la moyenne des deux essais doit satisfaire au critère de répétabilité donné dans l'[Article 9](#);
- la somme de m_1 et m_2 ne doit pas différer de plus de 1 % de la masse m_0 pour chaque essai.

Si l'un des critères n'est pas rempli, répétez l'analyse. Si les résultats de la nouvelle analyse ne satisfont toujours pas aux exigences, l'indiquer clairement dans le rapport d'essai.

8 Calcul

Pour chacune des deux prises d'essai de masse m_0 utilisées pour la détermination en double selon l'[Article 7](#):

- calculer la masse totale m_T en additionnant les deux fractions (inférieure et supérieure à 500 μm) obtenues à l'étape g) selon la [Formule \(1\)](#):

$$m_T = m_1 + m_2 \quad (1)$$

- calculer la fraction massique relative (en %) de la fraction de tamisage inférieure à 500 μm à l'aide de la [Formule \(2\)](#):

$$x = \frac{m_1}{m_T} \times 100 \quad (2)$$

où