

De déchets agricoles à revêtements performants

19 août 2026, 10:00

Pieter Samyn

Exploration de l’utilisation des balles de riz pyrolysées comme additif dans les revêtements

En Europe, le sourcing et la valorisation des balles de riz sont étroitement liés à la structure de la filière rizicole. La culture du riz est concentrée dans quelques régions, essentiellement en Italie, en Espagne et en Grèce, où des installations de décorticage traitent le riz paddy récolté localement. Ces rizeries sont les principales sources d’approvisionnement, car les balles de riz sont issues directement de l’étape de décorticage. Au cours de ce processus, l’enveloppe extérieure est ôtée mécaniquement du grain. Dans l’ensemble, l’Europe connaît un approvisionnement centralisé, un soutien politique et une intégration industrielle des matières premières extraites de la biomasse, ce qui permet une valorisation efficace des balles de riz en tant que matière première renouvelable.

Contrairement à de nombreux résidus agricoles, les balles de riz sont relativement faciles à valoriser?: elles sont produites à l’échelle industrielle sous forme d’un flux sec et homogène et sont déjà concentrées sur le site de la rizerie. Cette organisation permet de réduire le recours à des moyens de transport ou à des opérations logistiques de séparation coûteux. Dans l’Union européenne, la production de riz s’élève à environ 2,8?millions de tonnes par an. Kreglinger

Europe (fondé en 1797 – Anvers, Belgique) est un distributeur d’ingrédients spécialisés et de produits chimiques destinés aux industries de transformation. L’entreprise se livre à un sourcing actif en balles et son de riz, qui sont aujourd’hui valorisés dans des applications alimentaires. Les balles de riz (qui mesurent à l’origine environ 10?mm?× 3?mm) sont sourcées en Espagne et au Portugal par des coopératives locales qui les sèchent et les broient sommairement. Les volumes de ce flux de résidus agricoles étant très élevés, Kreglinger souhaite les valoriser dans de nouvelles applications industrielles.

Traditionnellement, une grande partie de ce matériau fibreux est brûlée, mise en décharge ou simplement abandonnée sur place, où il se décompose. Ces dernières années, les nouvelles filières de valorisation se sont améliorées grâce aux politiques d’économie circulaire. Les balles de riz sont de plus en plus valorisées afin de générer de l’énergie, d’en extraire la silice ou de produire des matériaux biosourcés, plutôt que d’être mises en décharge ou brûlées à l’air libre. Des chaînes de valeur spécialisées apparaissent ainsi. Les rizeries, les fabricants de matériaux et les entreprises chimiques collaborent au niveau local afin de garantir la continuité de l’approvisionnement et la qualité constante des produits.



Découvrez tous les articles de cette série

- Des composants petits mais puissants pour des revêtements écologiques

- Additifs biosourcés : valorisez vos résidus
- Des résidus agricoles aux revêtements haute performance
- Réutilisation des déchets de coquilles d'œufs en charge fonctionnelle pour revêtements
- De déchets agricoles à revêtements performants ? *Article actuel*
- Les isocyanates biosourcés dans les revêtements en polyuréthane sont-ils une bonne idée ?
- Additifs anticorrosion biosourcés partie 1
- Additifs anticorrosion biosourcés partie 2
- Optimisez la formulation des revêtements grâce aux analyses
- Comment choisir des liants biosourcés pour les revêtements ?

Conversion thermique en additifs fonctionnels

La pyrolyse est un procédé thermochimique au cours duquel les balles de riz sont chauffées en l'absence d'oxygène, généralement à une température de 300 à 700?°C, ce qui provoque leur décomposition sans combustion. Au cours de ce processus, la biomasse est transformée en trois produits principaux?:

- Un résidu solide riche en carbone (biochar)
- Une fraction liquide (bio-huile)
- Des gaz combustibles

Les balles de riz se distinguent des autres résidus agricoles par leur teneur élevée en silice (jusqu'à 20?% environ), intégrée dans une matrice organique. La transformation thermique modifie considérablement la structure des balles de riz. Au cours de la pyrolyse, la fraction organique se décompose. Il en résulte un matériau hybride caractérisé par une structure carbonée poreuse, une surface spécifique élevée et la présence de groupes fonctionnels en surface. La teneur naturellement élevée en silice des balles de riz est conservée et se concentre. Un matériau hybride carbone-silice unique en son genre est ainsi obtenu.

Avant la pyrolyse, les balles de riz sont généralement séchées afin de réduire leur teneur en humidité (habituellement <?10?%) et nettoyées afin d'éliminer les impuretés telles que la terre et les particules métalliques. Le contrôle rigoureux de la taille des particules est essentiel pour obtenir une conversion homogène. Les particules doivent être uniformes afin de garantir un transfert de chaleur efficace et une qualité constante du produit. Les balles de riz préparées sont ensuite placées dans un réacteur de pyrolyse (un four rotatif, par exemple), où elles sont chauffées en l'absence d'oxygène afin d'empêcher la combustion. Elles sont peu à peu décomposées thermiquement à des températures allant généralement de 300 à 700?°C. Au cours de la dévolatilisation (200–400 °C), l'hémicellulose et la cellulose commencent à se décomposer, entraînant la libération de composés volatils (CO?, CO, hydrocarbures légers) et la formation de vapeur de bio-huile. La carbonisation (400–700?°C) provoque une décomposition plus poussée de la lignine, accompagnée de la formation d'une structure carbonée aromatique. La matière perd de sa teneur en carbone et gagne en stabilité, tandis que des pores se forment à mesure que les composés volatils s'échappent.

Les proportions de biochar, de bio-huile et de gaz de synthèse produites, ainsi que les propriétés finales des balles de riz pyrolysées, dépendent fortement des paramètres du procédé.

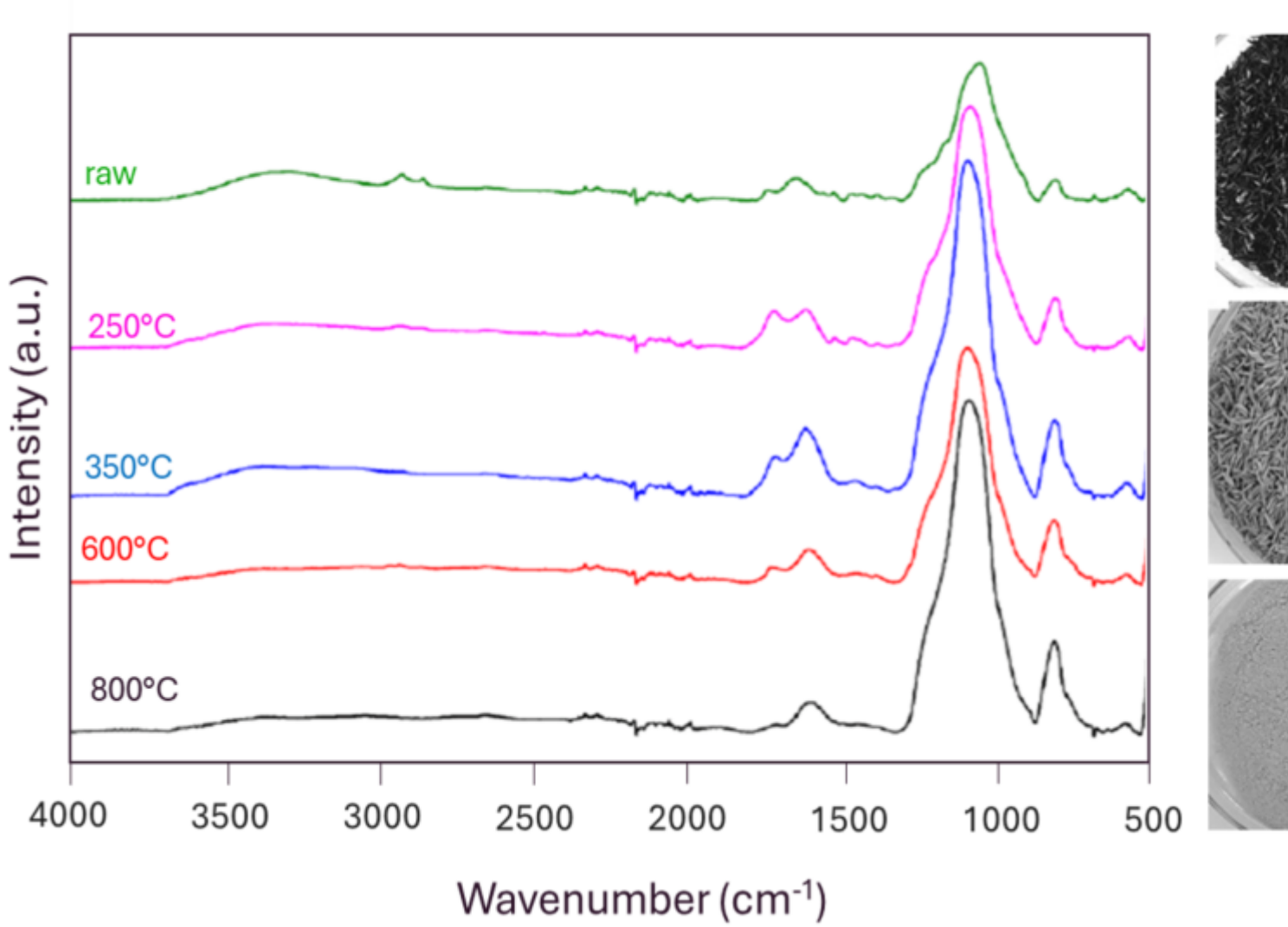
Les principaux facteurs sont :

- La température, qui influence la porosité et la structure du carbone
- Le temps de séjour, qui détermine le degré de carbonisation
- La vitesse de chauffage. Une pyrolyse lente favorise la production de biochar, tandis qu'une pyrolyse rapide augmente le rendement en biohuile

Conversion préliminaire en laboratoire

Au cours des premiers essais en laboratoire, les effets de la température de pyrolyse sur les propriétés des cendres de balles de riz (CBR) ont été évalués (figure?1). Les poudres, de composition et de caractéristiques variables, ont été obtenues en réduisant progressivement la teneur organique et en augmentant la teneur en silice, ce qui a permis d’obtenir une structure cristalline mieux développée à mesure que la température augmentait.

- À 350?°C, un matériau riche en carbone et en partie décomposé (de couleur brun foncé à noire) présentant une surface de contact relativement faible, mais conservant partiellement des groupes fonctionnels en surface, se forme. Il peut servir de charge riche en carbone (propriétés similaires à celles du biochar)
- À 600?°C, un matériau composé de silice amorphe (de couleur grise), présentant un équilibre entre une bonne réactivité et une bonne stabilité structurelle, commence à apparaître. Il peut être utilisé comme adsorbant ou additif dans le ciment, le béton ou les revêtements
- À 800?°C, une phase de silice plus cristalline et plus stable (de couleur blanche) s’est formée et les phases de carbone organique ont complètement disparu. Cette matière peut donc servir de charge inorganique



Figure?1. Caractéristiques des balles de riz pyrolysées en laboratoire à différentes températures, notamment FTIR, images macroscopiques et morphologie microscopique.

Conversion par micro-ondes en collaboration avec un partenaire industriel

À la suite des expériences menées en laboratoire, une collaboration a été mise en place avec MEAM (Houthalen, Belgique), qui est devenu partenaire du projet COOCK+ AddBIO. Une expérience de démonstration industrielle a été menée en vue de la conversion de lots de 1? kilogramme de balles de riz par pyrolyse induite par micro-ondes. En tant que fournisseur de solutions clé en main d'installations industrielles basées sur la technologie des micro-ondes, MEAM propose des équipements sophistiqués adaptés aux besoins de ses clients, conçus en s'appuyant sur les résultats d'études de faisabilité menées à l'aide d'instruments et de technologies propriétaires. La conversion de la biomasse est l'un des exemples montrant comment la technologie des micro-ondes peut contribuer à repenser l'industrie de transformation. Elle permet de faire face à la hausse des coûts et de respecter les réglementations environnementales, tout en participant à l'économie circulaire.

Le chauffage par micro-ondes est totalement différent du mode de chauffage traditionnel qui utilise des sources externes pour transférer la chaleur au produit à chauffer et ensuite à sécher. Plus la

différence de température (?T) entre la source externe et le produit est grande, plus le transfert de chaleur est en général rapide. La chaleur est toujours transférée par la surface du produit, ce qui constitue en même temps le facteur limitant. Le chauffage par micro-ondes ne nécessite pas de source externe pour générer de la chaleur dans le produit à chauffer ou à sécher. Il s'agit d'une forme de chauffage diélectrique qui permet de chauffer simultanément la totalité du volume d'un produit homogène. Comme les micro-ondes peuvent pénétrer jusqu'au cœur d'un produit, le facteur limitant réside dans la manière de traiter la surface. Des expériences ont mis en évidence l'influence des conditions de chauffage par micro-ondes sur la formation du biochar issu de balles de riz.



Figure?2. Installation de pyrolyse par micro-ondes chez MEAM.

Le MEAM Explorer, utilisé pour les essais, est un appareil polyvalent destiné à diverses applications des micro-ondes, telles que le séchage, la lixiviation, la combustion, la torréfaction, le frittage et la pyrolyse. Une des particularités de l'installation d'essai utilisée est sa polyvalence, qui repose sur une conception unique dotée d'entrées optionnelles situées sur différents côtés de la cavité (figure?2).

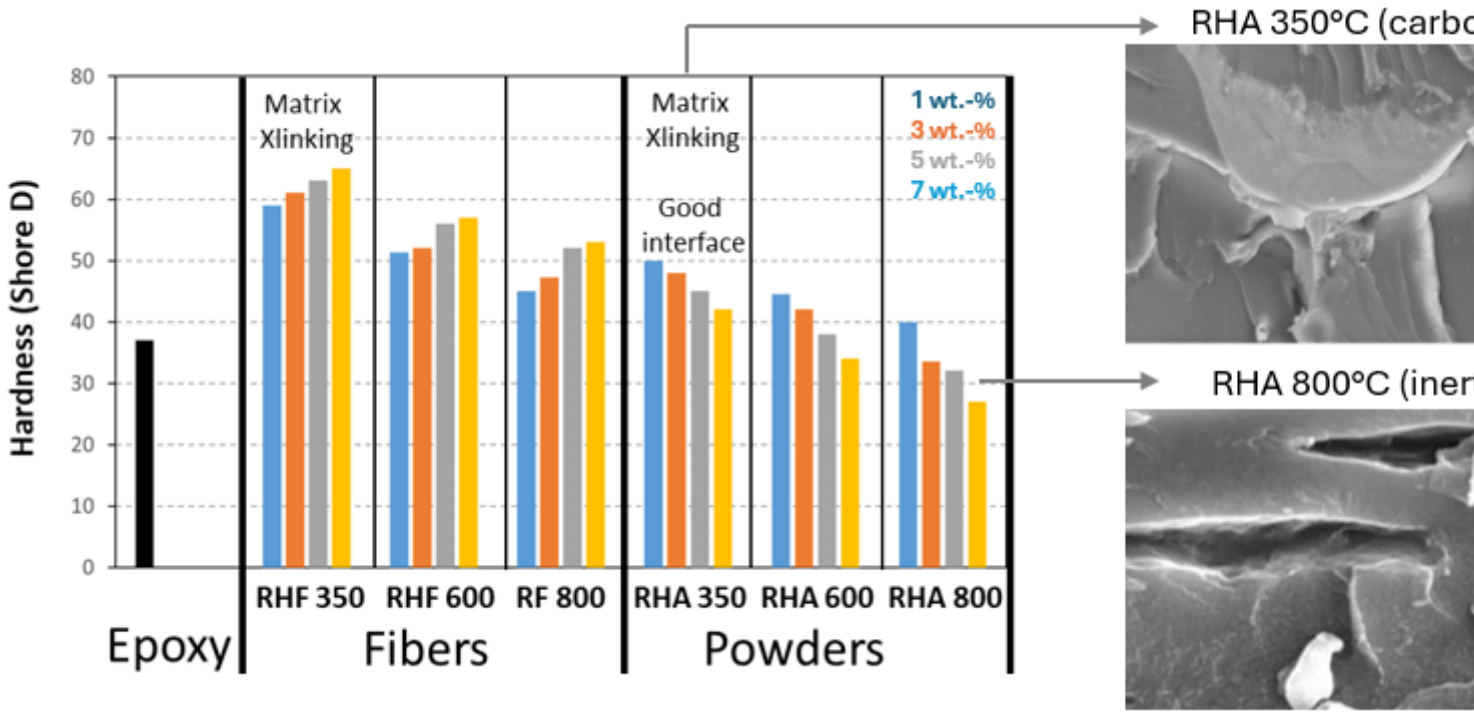
Essais de performance dans les applications de revêtement

Les balles de riz pyrolysées pourraient offrir des avantages majeurs en tant que charge fonctionnelle dans les revêtements (époxy, par exemple)?:

- **Renforcement des propriétés mécaniques**?: la teneur élevée en silice (SiO?) agit comme une microcharge/nanocharge qui améliore la dureté, la résistance à l'abrasion et la résistance aux rayures
- **Propriétés de barrière**?: les particules poreuses, ressemblant à des plaquettes, créent une voie de diffusion tortueuse qui réduit la perméation de l'eau, de l'oxygène et des chlorures (revêtements résistants à la corrosion, par exemple)
- **Stabilité thermique et résistance au feu**?: la structure riche en silice est thermiquement stable en soi et agit comme une barrière thermique, ce qui améliore la résistance au feu et favorise la formation de char (revêtements intumescents, par exemple)
- **Conductivité?**: la teneur en carbone plus élevée aux températures de pyrolyse plus basses se traduit par un comportement semi-conducteur (revêtements antistatiques, blindage contre les interférences électromagnétiques, par exemple)

Des essais internes (figure?3) ont montré que les propriétés du revêtement obtenues dépendent fortement des propriétés intrinsèques des balles de riz pyrolysées ajoutées comme additif à des concentrations de 1 à 7?% en poids. Après pyrolyse, les charges se présentaient sous forme d'un matériau fibreux ou ont été broyées pour obtenir une poudre de granulométrie contrôlée. Les variations de dureté du revêtement époxy montrent que les particules fibreuses de balles de riz présentent de meilleures propriétés de renforcement que les particules pulvérulentes.

Pour ces deux morphologies, le renforcement est systématiquement plus élevé lorsque les matériaux sont carbonisés à basse température, ce qui s'explique par le fait que la fraction organique résiduelle permet une bonne interaction avec la matrice époxy. Par ailleurs, les particules de balles de riz pyrolysées à une température plus élevée sont plus inertes, ce qui provoque la formation de vides à l'interface avec la matrice. Parallèlement, les balles de riz carbonisées ont démontré une protection contre l'usure sous une sollicitation faible (propriétés lubrifiantes), tandis que les balles de riz cristallines offrent une meilleure protection contre l'usure sous une sollicitation plus forte (renforcement des propriétés mécaniques). En résumé, les relations complexes entre les performances des revêtements, la géométrie des charges et les propriétés chimiques font l'objet d'une observation attentive. Les propriétés des balles de riz en tant qu'additifs fonctionnels sont de ce fait affinées minutieusement et des essais expérimentaux obligatoires sont réalisés en parallèle avec l'application envisagée.



Figure?3. Résultats d'essais expérimentaux sur les propriétés des revêtements (dureté en tant que mesure générale de la résistance mécanique, par exemple) contenant un liant époxy et des fibres de balles de riz (FBR) pyrolysées ou de la poudre de balles de riz (CBR), à différentes températures et à des concentrations de 1 à 7?% en poids.

Rejoignez-nous dans l'exploration de la valorisation de la biomasse en tant qu'additif fonctionnel dans les revêtements

Si cette étude de cas vous inspire, sachez que Sirris est partenaire du projet COOCK+ AddBIO qui vise à mettre en évidence des parcours de valorisation des flux de biomasse résiduelle en additifs fonctionnels pour les revêtements.

Nous recherchons en permanence des partenaires industriels dans l'ensemble de la chaîne de valorisation de la biomasse?: fournisseurs, transformateurs, formulateurs de revêtements et utilisateurs finaux intéressés par une collaboration.

Découvrez le potentiel des additifs biosourcés

Vous souhaitez découvrir comment les flux de biomasse résiduelle peuvent être utilisés comme additifs fonctionnels pour des revêtements haute performance ? Dans le cadre du

projet COOCK+ AddBIO, Sirris réunit des entreprises de l'ensemble de la chaîne de valeur et soutient de nouvelles voies de valorisation. Découvrez le projet AddBIO et les possibilités pour votre entreprise.

Découvrez le projet AddBIO

Partenaires

Auteurs



Pieter Samyn