



JUIL.  
2018

---

# WACER

---

Valorisation des cendres de bois  
dans les céramiques élaborées par  
voie liquide

---

## SYNTHESE PUBLIQUE

**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :



ENGIE  
Lab Cylergie

## REMERCIEMENTS

Alexandre Filhol (Société Française de Céramique - SFC)  
Laurent Soum (Société Française de Céramique - SFC)  
Gérard Pillet (Société Française de Céramique - SFC)  
Christophe Pascual (ENGIE - Centre de Recherche Cylergie)  
Brice Morin (ENGIE - Centre de Recherche Cylergie)  
Victor Desenclos (IDEX Services)  
Jérôme MORET (IDEX Services)

## CITATION DE CE RAPPORT

Rédacteurs : Gérard Pillet (SFC), Alexandre Filhol (SFC), Laurent Soum (SFC),

Année de publication : 2018

Titre du Rapport : WACER - Valorisation des cendres de bois dans les céramiques élaborées par voie liquide – Synthèse publique

Nombre de pages : 12

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

### **Ce document est diffusé par l'ADEME**

20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1401C0071

Étude réalisée par MM. G.PILLET, A.FILHOL, L.SOUM,  
V.DESENCLOS, C.PASCUAL) pour ce projet financé par  
l'ADEME.

Projet de recherche coordonné par : Société Française de  
Céramique (SFC).

Appel à projet de recherche : BIP 2014.

### **Coordination technique - ADEME :**

Mme DUBILLY Anne-Laure - Ingénieur Biomasse Energie  
Service Forêt Alimentation et Bioéconomie  
Direction Productions et Energies Durables.

## TABLE DES MATIERES

RESUME .....	4
1. CONTEXTE DU PROJET .....	5
2. LES PROCEDES CERAMIQUES.....	5
3. TYPOLOGIES DE CENDRES DE BIOMASSE .....	6
4. RESULTATS ET PERSPECTIVES .....	7
5. LEXIQUE .....	10

## Résumé

Le développement de la filière bois-énergie s'est traduit par une croissance importante du nombre de chaufferies, conduisant à la production de cendres encore difficilement valorisables.

Face à ce constat, la Société Française de Céramique (SFC) a initié dès 2012 des travaux de recherche visant à vérifier la pertinence de l'utilisation de cette ressource en tant que matière première pour l'industrie de la céramique. Ces recherches ont permis de montrer un réel potentiel dans l'utilisation des cendres de bois sous foyer qui, par leurs natures physico-chimiques, permettent d'augmenter la résistance mécanique des encours de productions et de favoriser la densification des céramiques durant le frittage, permettant ainsi d'abaisser les températures de cuisson.

Ces travaux préliminaires ont mis en évidence plusieurs voies de développement que le présent programme a approfondi : la mise en œuvre des cendres par voie liquide, et l'utilisation des cendres volantes. Pour compléter l'étude, une phase portant sur l'émaillage a été abordée afin de vérifier que l'ajout de cendres ne vient pas perturber l'accroche entre l'émail et le tesson et n'entraîne pas de perturbation au niveau du comportement de l'émail en cuisson.

Les résultats montrent que la valorisation de cendres de bois est effectivement envisageable dans le secteur céramique mais nécessite des analyses approfondies de chaque cendre à valoriser, au cas par cas.

## Abstract

The development of the wood energy sector has led to a significant increase in the number of facilities, leading to the production of ashes still difficult to recycle.

Following this observation, SFC initiated in 2012 a research work aimed at evaluating the relevance of the use of this resource as a raw material for the ceramic industry. The results have shown a real potential in the use of wood ashes which physico-chemical nature can benefit to the mechanical strength of the products and improve the densification of ceramics during sintering with a reduction of the firing temperatures.

These works have highlighted several paths of development that the present program proposes to study: the implementation of wood ashes by liquid way, and the use of fly ash. To complete the study, the glazing processes have been considered in order to verify if the addition of ashes does not disturb the adhesion between the glaze and the ceramic body, and does not cause any disturbance in behavior of the glazes during its firing.

The results confirm that the valorization of wood ashes is possible in the ceramic industry but requires in-depth analyzes of each ash to be valued.

# 1. Contexte du Projet

Le développement de la filière bois-énergie, du fait de l'intérêt indéniable du bois en tant que combustible pour la lutte contre le changement climatique, a conduit à une croissance importante du nombre de chaufferies utilisant du bois comme combustible (nombre multiplié par 10 depuis 1994). Toutefois, ces chaufferies qui permettent la production d'énergie propre, conduisent à la production de cendres encore difficilement valorisables.

Face à ce constat, la Société Française de Céramique (SFC) a initié dès 2012 des travaux préliminaires avec le soutien de l'Ademe (Ref.1101C0064) afin de vérifier la pertinence de l'utilisation de cette ressource en tant que Matière Première pour l'Industrie Céramique. Les premiers résultats ont permis de montrer un réel potentiel dans l'utilisation des cendres de bois sous foyer qui par leurs natures physico-chimiques permettent d'augmenter la résistance mécanique des encours de productions et de favoriser la densification des céramiques durant le frittage permettant ainsi d'abaisser les températures de cuisson.

Plusieurs voies de développement ont ainsi été mises en évidence, que le présent programme s'est proposé d'étudier :

- La mise en œuvre des cendres par voie liquide : l'utilisation de cendres de bois en suspension aqueuse entraîne des perturbations rhéologiques (épaississement) qu'il faut maîtriser pour envisager un façonnage des céramiques par voie liquide (représentant plus de 75% des procédés de fabrication des céramiques).
- L'utilisation des cendres volantes : de par leur composition et leur finesse, les cendres volantes sont très intéressantes pour accentuer la réactivité des masses céramiques. Néanmoins ces mêmes paramètres engendrent des problèmes logistiques importants pour leur traitement et leur évacuation.
- Pour compléter l'étude, une phase portant sur l'émaillage est abordée afin de vérifier que l'ajout de cendres ne vient pas perturber l'accroche entre l'émail et le tesson et n'entraîne pas de perturbation au niveau du comportement de l'émail en cuisson.

Deux approches ont été envisagées dans le programme WACER : réaliser une étude dans le cadre d'une valorisation de cendre de bois à l'échelle locale et à une échelle nationale. Les partenaires du projet IDEX ET CYLERGIE (ENGIE) sont deux grands noms d'énergéticiens français qui ont permis de répondre à ce double enjeu.

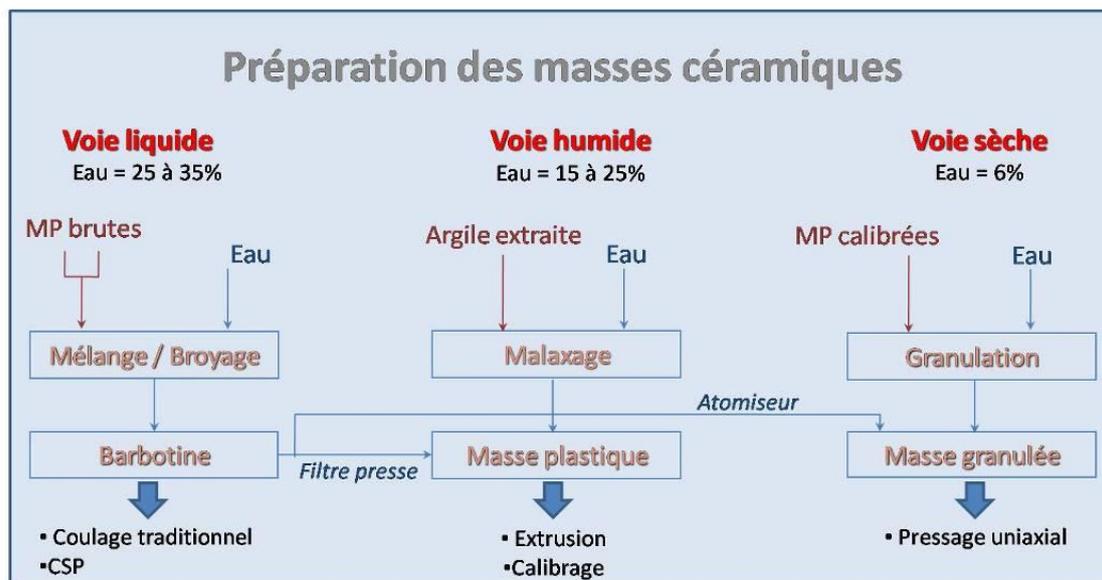
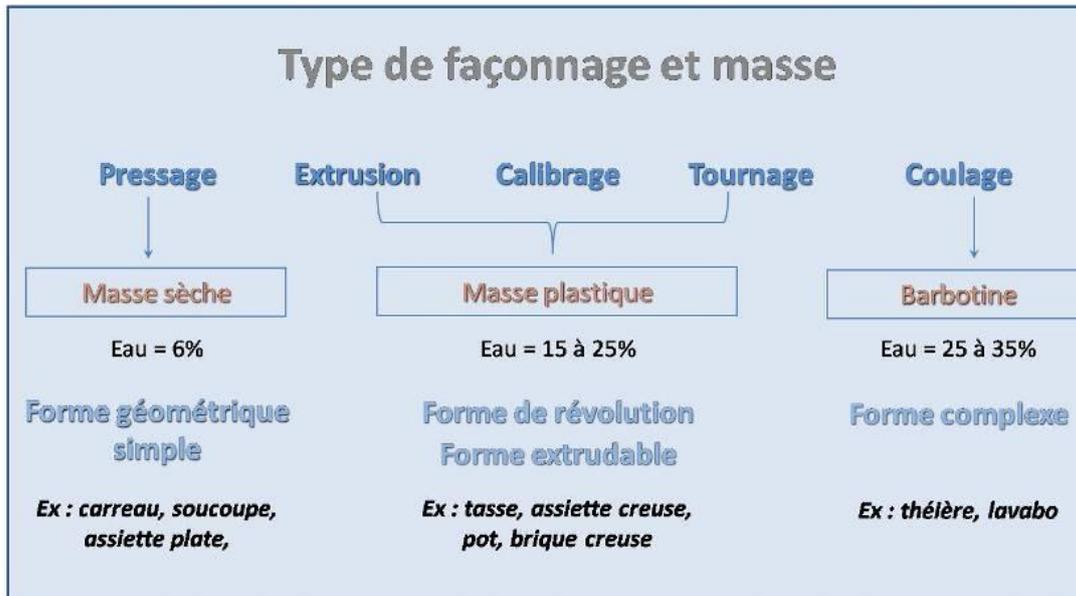
L'une des principales difficultés est de stabiliser des lots de cendres en sortie de chaufferie. En réalisant un mélange de plusieurs sites de chaufferies, les différences observables en terme de nature chimique sont lissées et permettent ainsi l'obtention d'une cendre plus stable et donc plus facile à substituer dans des compositions céramiques déjà existantes. Par ailleurs, en rapprochant localement les acteurs industriels de la céramique avec les chaudiéristes à proximité, ceci assure des coûts de transport de matières premières faibles pour l'acheminement.

## 2. Les procédés céramiques

Les secteurs visés par le présent programme sont ceux des céramiques élaborées en voie liquide : secteur des Articles de Table, secteur des Carreaux Céramiques et secteur des Appareils Sanitaires. Tous trois utilisent des matières premières minérales naturelles, qui pourraient être substituées avantageusement par les résidus de combustion (extraction facilitée, coûts de transport réduits, coût de broyage réduit...).

Le panel d'entreprises considérées comporte les trois principales typologies de masses céramiques que l'on peut retrouver dans cette industrie; à savoir les masses sèches, plastiques et liquides (barbotine) qui diffèrent par la quantité d'eau incluse et par les procédés de façonnage inhérents.

Les figures suivantes présentent les différents procédés de façonnage que l'on retrouve dans l'industrie céramique avec les typologies de masses céramiques et leurs modes de préparation.



En l'occurrence, le programme de recherche WACER porte spécifiquement sur la préparation en voie liquide, qui représente  $\frac{3}{4}$  des procédés de fabrication céramiques.

### 3. Typologies de cendres de biomasse

La substitution de matières premières conventionnelles, entrant dans la composition des céramiques, par les résidus de combustion de chaufferies bois à foyers à grilles mobiles (cendres sous foyer et cendres volantes) constitue l'objectif du projet. Le cœur du programme se concentre sur la technologie de Chaufferies à grilles mobiles, actuellement la plus répandue et la plus aboutie.

L'analyse complète des cendres a révélé de nombreuses informations cruciales pour la réalisation de l'étude. Deux grandes catégories se distinguent, à savoir :

- Les Cendres Sous Foyer (dites CSF) possédant une composition chimique/minéralogique avec un intérêt certain pour le secteur céramique (éléments fondants, présence de silice, peu ou pas de sulfates, etc.) mais avec des variations en terme de composition chimique pouvant être problématique d'un site à l'autre. Sur un même site, il a été constaté que la composition demeure de même nature ce qui est un point positif.
- Les Cendres Volantes (dites CV) ont une plus grande stabilité inter et intra sites de chaufferies, mais avec pour principaux défauts la présence très importante de sels solubles et de sulfates, et leur logistique très complexe à gérer (finesse, volatilité).

A partir de l'ensemble des données obtenues via les échantillonnages et les analyses complètes effectuées, une synthèse des potentiels pour les sites représentatifs a permis de sélectionner les cendres présentant les profils les plus intéressants et celles plus délicates à utiliser : de fait, certains lots de cendres présentent une composition générale très intéressante d'un point de vue céramique, avec une grande stabilité des données d'analyses et la présence d'éléments fondants permettant d'espérer une baisse des températures de cuisson lors des insertions dans les masses céramiques.

Toutefois, les résultats des travaux ont montré les limites de l'utilisation des cendres sans traitement préalable : qu'elles soient CSF ou CV, il est indispensable de rendre ces cendres les plus inertes possibles en choisissant un processus de traitement adapté.

## 4. Résultats et perspectives

Depuis plusieurs années, la Société Française de Céramique (SFC), Centre Technique Industriel de la Céramique, est engagée dans la recherche de solutions de valorisation de résidus minéraux tels que les cendres de bois issues de chaufferies biomasse. A partir de travaux préliminaires réalisés en partenariat avec l'Ademe, il a été montré qu'une valorisation pouvait être envisageable avec des conditions spécifiques.

Face à l'accroissement constant du volume de cendres disponibles, une des perspectives de valorisation était de les intégrer dans des filières à plus haute valeur ajoutée permettant de s'affranchir des coûts de traitements voire de transformation nécessaire à l'obtention d'une cendre équivalente à une matière première brute. C'est dans ce contexte que le projet WACER a permis de lever les verrous technologiques identifiés dans le cadre d'une valorisation des cendres de bois par voie liquide.

Concernant le cas particulier des Cendres Volantes, l'étude a montré que l'ajout de ce type de cendres au sein de barbotines pour tesson céramique s'avérait trop complexe, du fait de l'extrême finesse et de la réactivité de ce type de cendre en milieu aqueux, ainsi qu'à la composition chimique fortement chargées en sulfates. Un traitement thermique de ces cendres apparaît impossible à cause de la perte au feu extrême dès 800°C, et un lavage ne permet pas d'éliminer les sels solubles de façon satisfaisante.

Il a donc été choisi de travailler sur ces cendres dans des compositions d'émaux à destination de produits en grès culinaire. Des essais ont été réalisés sur une composition dopée à 5% de cendres volantes, avec les critères essentiels : comportement pyroscopique, fusibilité, viscosité, colorimétrie, rugosité, et aptitude au contact alimentaire.

Les résultats montrent des résultats acceptables sur ces seuils, mais avec des manipulations et traitements obligatoires sur les CV qui rendent cette valorisation encore rédhitoire à ce stade.

Concernant les résultats des travaux portant sur la valorisation des Cendres Sous Foyer issues des chaufferies biomasse, cœur du programme WACER, les facteurs les plus influençant mais également les solutions avec leurs avantages et inconvénients ont été synthétisés dans le tableau suivant :

	Points sensibles et problématiques	Solutions	Conclusions
<b>Cendres en milieu aqueux</b>	<p>Sédimentation</p> <p>Neutralité électrique du milieu</p> <p>Réaction entre la cendre et l'eau</p>	<p>Ajout de défloculant mais beaucoup de références:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Organiques ou non</li> <li>- Charges ioniques</li> <li>- Gène stérique,</li> <li>- etc..</li> </ul>	<p>S'orienter vers un défloculant organique permet de ralentir l'évaporation</p> <p>Privilégier un défloculant agissant sur l'encombrement stérique et on sur la neutralité électrique du milieu</p>
<b>Traitement des cendres</b>	<p>Les problématiques portent sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les charges en sels solubles</li> <li>- La Concentration en chaux</li> <li>- La Finesse</li> <li>- Les Polluants</li> </ul>	<p>Lavage des cendres pour éliminer les sels solubles</p> <p>Chauffer les cendres à haute température en présence de silice pour créer des phases silicatées stables</p>	<p>Le lavage seul n'est pas suffisant</p> <p>Le traitement thermique seul n'est pas suffisant (la trempe à l'air n'améliore pas la création de phase)</p> <p>Une température de 800°C semble suffisante pour créer les phases souhaitées</p> <p>L'ajout de silice dépend de la composition de la cendre</p> <p>La cendre obtenue présente l'aspect d'une chamotte</p>
<b>Quantité de cendres non traitées et non lavées pouvant être introduites</b>	<p>Rhéologie du système</p> <p>Façonnage des pièces</p>	<p>Identifier le meilleur ratio cendres/défloculants en privilégiant l'utilisation d'un défloculant à longues chaînes type TPP-Na</p>	<p>Ratio 10 :1</p> <p>1% cendre ≈ 1‰ défloculant</p> <p><b>Max possible : 2% cendres</b></p>
<b>Quantité de cendres traitées puis lavées pouvant être introduites</b>	<p>Rhéologie du système</p> <p>Façonnage des pièces</p>	<p>Combiner l'utilisation de 2 défloculants : TPP-Na et Dolapix</p>	<p>En travaillant sur des ratios plus précis, il est possible de monter la quantité de cendre à introduire :</p> <p><b>6% pour les masses de grès carreaux</b></p> <p><b>4% pour les masses de grès sanitaire</b></p>

<p><b>Performances finales du produit dopé</b></p>	<p>Les critères les plus sensibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mélange et façonnage</li> <li>- séchage</li> <li>- cuisson</li> <li>- retraits de cuisson</li> <li>- texture poreuse</li> <li>- propriétés mécaniques</li> <li>- aspects et couleurs</li> </ul>	<p>Faire varier la température de cuisson et les taux d'insertion de cendres</p>	<p>Propriétés globalement maintenues (seuil normatif toujours dépassé)</p> <p>A propriétés égales, peu de baisse attendue concernant la température de cuisson</p>
--	---	--	--

Le récapitulatif présenté permet de mettre en avant la faisabilité d'un point de vue technique de la valorisation de cendres issues de chaufferies biomasse par voie liquide, avec les principales conclusions proposées à savoir :

- Un taux de cendre maximum (suivant le secteur céramique).
- Un ratio de cendre/défloculant.
- Un type de défloculant ayant une action par gêne stérique.
- Un traitement nécessaire des cendres afin de limiter les présences susceptibles de modifier le comportement des barbotines.
- Un ajout éventuel de silice pour permettre de capter la chaux en excès.

Toutes ces étapes présentent un coût qu'il est difficile d'identifier car cela est entièrement dépendant de la cendre à traiter. Les étapes de préparation peuvent être plus ou moins importantes et seule une série d'analyse préalable permet de déterminer les propriétés de la cendre pouvant donner les traitements adéquats à appliquer. Ce coût est à corréliser à l'apport de l'ajout de cendre pour le produit final ou la consommation énergétique pour sa fabrication.

Cependant, les essais réalisés dans le cadre de ce programme de recherche montrent qu'en termes de caractéristiques finales, les gains apparaissent limités mais sans dégradation du système ce qui est primordial pour demeurer au-dessus des limites imposées par les textes normatifs. L'axe sur lequel l'ajout de cendre était attendu de par ses propriétés de fondant concerne la réduction des consommations énergétiques. Néanmoins, il apparaît qu'à température plus basse les produits dopés n'atteignent pas le même niveau de qualité qu'un produit non dopé cuit à température classique.

Il a donc été montré à travers cette étude et les précédents travaux que la valorisation de cendres de bois est envisageable dans le secteur céramique mais n'est pas systématique. Une analyse approfondie de chaque cendre est nécessaire et il n'y a pas de protocole général permettant de dire si la valorisation est intéressante.

Au vu des traitements nécessaires à appliquer aux cendres pour les utiliser dans un maximum de secteurs industriels, une gestion au cas par cas semble aujourd'hui la meilleure solution. Il a été également démontré que mélanger plusieurs gisements de cendres favorise le lissage des compositions chimiques et paraît être une des meilleures solutions pour proposer une « matière première » stable à grande échelle, en vue d'une distribution sur plusieurs sites.

Une étude technico-économique spécifique liée au mélange et à l'approvisionnement des cendres demeure finalement essentielle pour s'assurer que les coûts engendrés ne demeurent pas supérieurs aux gains possibles pour cette filière de valorisation.

## 5. Lexique

Barbotine	Suspension d'une argile et/ou d'une autre matière première céramique dans l'eau.
Chamotte	Argile concassée et calcinée.
Défloculant	Produit servant à la défloculation : permet d'augmenter la fluidité d'une pâte ou barbotine.
Email	Matière vitrifiable recouvrant les différentes céramiques.
Frittage	Traitement thermique permettant de transformer une poudre en une masse solide et cohérente par l'effet de la température.
Gène stérique	Ou encombrement stérique : lorsque le volume occupé par une partie d'une molécule gêne l'approche d'un réactif ou d'une autre molécule.
Perte au feu	Variation de masse résultant du chauffage d'un échantillon dans des conditions spécifiques.
Rhéologie	Etude du comportement des matériaux liant les contraintes et les déformations (ex : élasticité, plasticité, viscosité..).
Sédimentation	Phénomène de dépôt de particules en suspension, sous l'action de la pesanteur ou d'une force centrifuge.
Tesson	Masse céramique sans émail.

## L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Écologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### ILS L'ONT FAIT

*L'ADEME catalyseur* : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

*L'ADEME expert* : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



#### FAITS ET CHIFFRES

*L'ADEME référent* : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

*L'ADEME facilitateur* : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



#### HORIZONS

*L'ADEME tournée vers l'avenir* : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.





# PROGRAMME WACER

## Valorisation des cendres de bois dans les céramiques élaborées par voie liquide

### Résumé

Le développement de la filière bois-énergie s'est traduit par une croissance importante du nombre de chaufferies, conduisant à la production de cendres encore difficilement valorisables.

Face à ce constat, la Société Française de Céramique (SFC) a initié dès 2012 des travaux de recherche visant à vérifier la pertinence de l'utilisation de cette ressource en tant que matière première pour l'industrie de la céramique. Ces recherches ont permis de montrer un réel potentiel dans l'utilisation des cendres de bois sous foyer qui, par leurs natures physico-chimiques, permettent d'augmenter la résistance mécanique des encours de productions et de favoriser la densification des céramiques durant le frittage, permettant ainsi d'abaisser les températures de cuisson.

Ces travaux préliminaires ont mis en évidence plusieurs voies de développement que le présent programme a approfondi : la mise en œuvre des cendres par voie liquide, et l'utilisation des cendres volantes. Pour compléter l'étude, une phase portant sur l'émaillage a été abordée afin de vérifier que l'ajout de cendres ne vient pas perturber l'accroche entre l'émail et le tesson et n'entraîne pas de perturbation au niveau du comportement de l'émail en cuisson.

Les résultats montrent que la valorisation de cendres de bois est effectivement envisageable dans le secteur céramique mais nécessite des analyses approfondies de chaque cendre à valoriser, au cas par cas.

### **Essentiel à retenir**

*Le développement de la filière bois-énergie et des installations de chaufferies a conduit à une importante production de cendres.*

*Les résultats de l'étude montrent que la valorisation de cendres de bois est effectivement envisageable dans le secteur céramique.*



[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

