

## NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

### Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton Ramachandran, V. S.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

#### **Publisher's version / Version de l'éditeur:**

<https://doi.org/10.4224/40000983>

*Digeste de la construction au Canada, 1981-06-01*

#### **NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :**

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=138ccda1-5098-4eda-8b96-8b393908ccc1>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=138ccda1-5098-4eda-8b96-8b393908ccc1>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

**Questions?** Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

**Vous avez des questions?** Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

# Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction. Conseil national de recherches Canada

**CBD-215-F**

## Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton

### **Veillez noter**

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

*Publié à l'origine en juin 1981.*

*V. S. Ramachandran*

Le béton de ciment Portland va toujours être le matériau de construction le plus couramment utilisé dans l'avenir. Tout comme dans le cas des autres industries, le besoin universel de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie du béton. Par conséquent, on accordera beaucoup d'importance à l'usage de déchets et de sous-produits pour la fabrication du ciment et du béton. On s'efforcera également d'utiliser des matériaux de récupération comme les rebuts de démolition et la barbotine résultant de la fabrication de béton prêt à l'emploi.

Les déchets peuvent être utilisés comme constituant principal du clinker, comme adjuvants pour le ciment, ou encore comme granulats pour le béton. Cette publication traite de la possibilité d'employer certains déchets et sous-produits comme granulats du béton, application qui est particulièrement prometteuse du fait que 75% du béton est constitué de granulats. Parmi les divers matériaux étudiés on trouve les laitiers, les déchets des centrales thermiques, le béton récupéré, les déchets provenant de l'exploitation de mines ou de carrières, les déchets de mines de charbon, le verre de récupération, les résidus d'incinérateurs, les boues rouges, l'argile cuite et la sciure de bois. L'usage de ces matériaux est toutefois limité en ce sens que plusieurs d'entre eux proviennent d'endroits très éloignés des chantiers de construction. Le laitier de haut fourneau et les cendres volantes sont les rebuts qui ont le meilleur potentiel étant donné leurs propriétés très recherchées telles que leur solidité, leur résistance mécanique, leur forme, leur résistance à l'abrasion et leur granulométrie.

Les matériaux tels que le béton récupéré, le verre de récupération et la sciure de bois devraient être pris en considération à la suite de recherches plus poussées et de travaux de mise au point. À l'heure actuelle, leur usage est limité étant donné qu'ils doivent subir un certain traitement.

Plusieurs matériaux comme les boues et les déchets de mines et de carrières ont des caractéristiques variables et ne répondent pas aux normes des bons granulats. Certains doivent être essorés avant leur usage, ce qui augmente les frais du traitement.

### **Laitiers**

*Laitier de haut fourneau* - Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de «laitier refroidi à l'air» ou bien il est

refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigné sous le nom de «laitier expansé».

Le *laitier refroidi à l'air* est approprié comme granulats pour le béton. La comparaison entre la résistance à la compression du béton constitué de granulats de laitier de haut fourneau et celle du béton constitué de gravier et de calcaire concassé indique que le béton de laitier est plus résistant. Les fines du laitier peuvent être utilisées pour remplacer sans inconvénient le sable. La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications.

La quantité de *laitier* expansé produit est bien plus faible que celle de laitier refroidi à l'air. Le laitier expansé est utilisé pour la fabrication du béton léger ayant une masse volumique apparente comprise entre 800 et 950 kg/ m<sup>3</sup>.

Les blocs de béton de laitier expansé sont utilisés pour la construction de murs porteurs et de murs non porteurs. Le béton de laitier expansé a une excellente résistance au feu et une conductivité thermique d'environ 75% de celle des autres bétons légers.

Le laitier expansé réduit en boulettes a été mis au point au Canada. On prétend que ce procédé de fabrication pollue moins l'air que le procédé normal de fabrication.

*Laitier d'acier* - Ce laitier est formé par l'élimination des impuretés contenues dans la fonte brute. Il est riche en phosphate ou en calcium et contient du silicate bicalcique métastable; il est donc utilisé uniquement comme matériau de remblai pour les routes. Normalement, ce laitier est stocké en piles pendant une période allant jusqu'à un an avant d'être utilisé.

*Autres laitiers métallurgiques* - Les applications possibles du laitier provenant de la fusion réductrice du cuivre, du zinc, du plomb, du nickel et de l'étain n'ont pas encore été explorées à fond. On a toutefois déjà étudié la possibilité d'utiliser les laitiers au zinc/plomb comme granulats pour le béton bitumineux. Dans le béton de ciment, ces laitiers produisent une réaction alcali-silice. On a également proposé de les utiliser comme granules fins pour le béton. Le laitier refroidi à l'air issu de la fabrication de phosphore sert de granulats pour le béton.

### **Sous-produits provenant des centrales thermiques**

La combustion du charbon aux fins de la production d'électricité donne plusieurs sous-produits. Dans les centrales électriques anciennes, les résidus de la combustion de la houille sont désignés sous le nom de «mâchefer». Dans les centrales modernes, on utilise du charbon broyé ou pulvérisé pour la production de vapeur. Les petites particules qui sont transportées par les gaz de combustion sont recueillies par précipitation électrostatique ou par un autre moyen quelconque. Ces particules sont appelées «cendres volantes». Certaines des particules de cendres forment des scories qui tombent au fond du four. Dans les fourneaux à température élevée, il se produit également des résidus fondus appelés laitier de charbon.

*Mâchefer* - Le mâchefer contient une proportion considérable de charbon non brûlé et d'autres impuretés. Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Étant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé.

*Scories de sole* - Ces résidus constituent environ 2.5% de la production totale de cendres. On prévoit que plus le charbon sera utilisé, plus on aura de cendres. La composition chimique des scories de combustion américaines est semblable à celle des cendres volantes, sauf que les scories ont une plus forte proportion d'alcalis et de sulfates. Les scories de charbon et le laitier de charbon peuvent être utilisés comme granulats légers pour la fabrication de blocs de béton.

*Cendres volantes* - Les cendres volantes pourraient constituer de très bons granules légers, mais elles ne sont pas beaucoup utilisées à cette fin. Elles sont préférables à beaucoup d'autres granules légers étant donné qu'elles donnent une combustion plus efficace du fait que le carbone contenu dans les cendres produit la quantité de chaleur nécessaire pour éliminer l'humidité des boulettes et pour amener les boulettes à la température de frittage.

À l'origine, les cendres volantes étaient mélangées avec de l'eau et transformées en boulettes soit dans un tambour ou un cône rotatif, soit par extrusion. On a découvert que l'addition d'une faible quantité d'alcalis permet d'obtenir des boulettes ayant une meilleure résistance aux chocs thermiques et mécaniques. Lorsque le frittage se fait dans des fours à grille mobile, la température atteint environ 1150 à 1200°C et par conséquent, les petites particules de cendres volantes se fusionnent et forment un aggloméré. Cet aggloméré est ensuite brisé en boulettes. Les bétons qui contiennent de tels granules ont une résistance à la compression à 28 jours de l'ordre de 40 MN/m<sup>2</sup> et une masse volumique d'environ 1100 à 1800 kg/m<sup>3</sup>. Puisque ces granulats ont une forme adéquate et une bonne résistance, ainsi qu'une absorption d'eau modérée, ils conviennent à la fabrication de blocs de béton léger et du béton léger.

Il est difficile de prévoir si les cendres volantes seront appropriées pour les procédés de pelletisation et de frittage à cause des nombreux facteurs physico-chimiques qui entrent en jeu. En général, on peut obtenir des granulats de bonne qualité en maintenant la teneur en carbone entre 3 et 10%. Le fer en quantité excessive provoque la souillure du béton.

### **Béton récupéré**

Le béton constitue presque 75%, en poids, de tous les matériaux de construction. Il s'ensuit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent l'usage du béton récupéré. Les débris de chaussées en béton sont déjà utilisés pour la construction de la couche de fondation de nouvelles chaussées.

La résistance à la compression et le module d'élasticité du béton renfermant des granules recyclés sont inférieurs à ceux du béton ne contenant que des granulats ordinaires. Les différences sont encore plus grandes à des rapports eau-ciment inférieurs. Le fait de remplacer les fines du béton recyclé par du sable n'améliore pas pour autant la résistance du béton. Le béton qui contient des fines provenant de béton récupéré doit avoir un rapport eau: ciment plus élevé étant donné qu'il contient une plus grande proportion de particules de ciment hydraté. L'addition de réducteurs d'eau et une teneur en ciment plus élevée augmentent la résistance du béton.

Le retrait au séchage du béton constitué de béton récupéré est supérieur de 10 à 30% à celui du béton de référence. L'importance du retrait est fonction de la superficie totale; dans le cas des granulats recyclés, on s'attend à ce que la superficie soit plus élevée à cause de la présence de pâte de ciment.

La tenue au gel et au dégel du béton contenant des granulats de béton récupéré est semblable à celle d'une éprouvette de béton de référence contenant des granules ordinaires.

Dans la plupart des travaux réalisés, on a utilisé du béton non contaminé. La seule impureté qui ait été soumise à l'étude est le sulfate, en combinaison avec du béton concassé. Les fragments de béton seront contaminés non seulement par les impuretés contenues dans le béton mais aussi par d'autres matériaux de construction. De nombreux facteurs contribuent à la résistance peu élevée du béton récupéré. La rentabilité, la durabilité, le fluage, la dilatation au mouillage et d'autres propriétés connexes doivent faire l'objet d'études plus approfondies avant que l'utilisation du béton récupéré se généralise.

### **Déchets provenant de l'exploitation de mines et de carrières**

L'exploitation des mines et des carrières produit de grandes quantités de déchets. Les déchets de minerais ne sont pas encore très utilisés étant donné qu'ils proviennent d'endroits très éloignés des régions peuplées. Ils pourraient cependant être utilisés pour la fabrication de briques, et de blocs de béton autoclavé ou à granules légers. Un des problèmes relatifs à l'usage de ces déchets découle de la diversité de leur composition.

## Déchets divers

*Déchets de mines de charbon* - Dans les opérations d'extraction du charbon, environ la moitié du matériau est rejetée sous forme de déchets. Ceux-ci servent principalement de matériau de remblai pour les routes et peuvent aussi être utilisés comme granulats pour le béton léger. La température de chauffe de ces déchets susceptible de produire le gonflement ou la dilatation doit être contrôlée pour que les gaz s'échappant de l'argile ou de tout autre matériau soient bien emprisonnés dans les granules ramollies. Tous les déchets ne vont pas nécessairement gonfler. Il est donc important de faire des essais préliminaires pour évaluer la capacité de gonflement des types particuliers de déchets. On peut aussi produire des granulats denses par traitement thermique contrôlé.

*Verre de récupération* - Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année. En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsque du ciment à teneur alcaline élevée est utilisé. On remarque la même tendance dans le cas de la résistance à la flexion. En remplaçant le ciment par des cendres volantes dans une proportion de 20 à 30%, on parvient à compenser cette perte de résistance.

Le verre de récupération réagit en présence de granules alcalins. On remarque une dilatation élevée lorsqu'il est en contact avec du ciment à teneur alcaline élevée, ce qui explique la faible résistance des bétons à base de verre. Par exemple, pour une période de 12 mois, la dilatation du béton contenant du gravier est de 0,018%, alors que celle du béton contenant du verre est d'environ 0,3%.

Le verre de récupération peut aussi servir à la fabrication de granulats légers. On a produit des granules légers expansés d'une masse volumique de 528 kg/m<sup>3</sup> par pelletisation d'un mélange de verre de récupération broyé, d'argile et de silicate de sodium chauffé à une température de 850°C. Le béton ainsi obtenu présente une résistance à la compression d'environ 17 MPa après une période de cure à la vapeur de 28 jours.

Plusieurs problèmes relatifs à l'utilisation du verre de récupération doivent être résolus avant que le procédé soit rentable. Le verre récupéré est de composition variée et est souvent contaminé par de la saleté ou d'autres substances qui doivent être éliminées. Une fois broyé, le verre se présente sous forme de particules allongées et sa surface, tant des points de vue chimique que physique, le rend impropre à être utilisé comme granulats pour le béton. De plus, le verre doit être bien nettoyé pour le débarrasser de toute trace de sucre car ceci pourrait avoir une influence néfaste sur le temps de prise du béton.

*Résidus d'incinérateurs* - L'incinération des déchets domestiques et industriels entraîne la production de grandes quantités de résidus solides. La composition chimique des résidus varie selon la méthode de traitement des matériaux et selon la saison. Ces résidus comportent toutefois certaines matières délétères, ce qui compromet leur utilisation en tant que composants du béton. Ainsi, l'aluminium entraîne la dilatation par suite de l'évolution de l'hydrogène, les métaux ferreux font tacher le béton et les sels de plomb et de zinc solubles nuisent à la prise du ciment. La présence de verre entraîne aussi la dilatation des granulats alcalins.

*Boues rouges* - Les boues rouges proviennent de l'extraction de l'alumine de la bauxite. Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules. Chauffées à des températures de 1260 à 1310°C, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.

La production de granules légers synthétiques à partir de boues rouges peut poser certaines difficultés parce que les boues rouges fondent seulement à des températures élevées et se ramollissent dans une gamme de températures assez restreinte. De plus, les gaz émis pendant le ramollissement ne sont pas toujours suffisants pour produire le gonflement. On a tenté d'ajouter certains additifs, sans trop de succès toutefois. Dans certains cas, des granulats

légers ont été fabriqués avec des additifs tels les cendres volantes, le laitier de haut fourneau et la pierre ponce.

*Argile cuite* - Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel.

*Sciure de bois* - Le béton à base de sciure de bois est très peu utilisé à cause de sa faible résistance. Ainsi, les mélanges 1:2 et 1:6 (rapport ciment: sciure de bois, en volume) présentent une résistance à la compression à 7 jours de 7,5 MPa et 0,75 MPa, respectivement. On peut augmenter la résistance en ajoutant du sable. Le béton à base de sciure de bois a de bonnes propriétés isolantes, une bonne souplesse et une faible conductivité thermique et peut être scié et cloué. Toutefois, il absorbe de grandes quantités d'eau et se dilate lorsqu'il est en contact avec de l'eau. Avant de pouvoir servir à la fabrication du béton, la sciure de bois doit être pré-trempée pour en éliminer toute matière soluble. Le béton contenant beaucoup de sciure de bois est inflammable. La sciure provenant du chêne rouge, du sapin de Douglas, du peuplier du Canada, de l'érable, du bouleau ou du cèdre rouge donne des bétons à faible résistance alors que la sciure d'épinette ou de pin rouge donne des bétons dont les propriétés sont acceptables.

## **Conclusion**

Les dépôts de sable naturel, de gravier et de pierres, surtout ceux qui sont situés près des grands centres urbains, risquent de s'épuiser ou d'entraîner des frais d'exploitation très élevés en raison du coût du transport et des restrictions relatives à la protection de l'environnement. Plusieurs types de résidus et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats. Le laitier de haut fourneau et les cendres volantes sont déjà exploités commercialement. L'utilisation des divers déchets est fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques et leur éloignement par rapport aux régions peuplées. Dans un proche avenir, il faudra étudier la durabilité à long terme des bétons contenant ces types de déchets, mettre au point des méthodes de traitement simples et modifier les méthodes de fabrication afin que de plus en plus de déchets soient transformés en sous-produits commercialement utilisables.