

Projet National de recherche et développement

## RAPPORT DE RECHERCHE

### Thème : 1 Échantillonnage des granulats recyclés : étude bibliographique

Auteurs :  
Erwan HAMARD  
Lauredan LE GUEN  
Relecture et validation :  
Bogdan CAZACLIU  
Laboratoire GPEM-IFSTTAR

R/17/RECY/045  
LC/14/RECY/59-60  
Décembre 2017



### Résumé

Ce rapport traite de l'échantillonnage des granulats recyclés sur plates-formes de recyclage. Il est composé de deux parties. La première concerne une étude bibliographique sur la méthode de prélèvement.

La seconde partie traite de la masse nécessaire pour caractériser des déchets dans un objectif de emploi et de recyclage. Après les parties dédiées à la définition du vocabulaire relative à l'échantillon et aux essais de caractérisation, les exigences normatives pour les applications ainsi que sur les masses nécessaires pour la réalisation de ces essais sont décrites. Enfin, une présentation des différents moyens techniques de séparation des échantillons, précède une mention sur le guide du CEREMA relative à la valorisation des déchets du BTP en construction routière.

### Abstract

This document deals with the sampling of the recycled aggregates on the recycling plant. This is composed of two parts. The first one presents a bibliographic study about the sampling method.

The second one deals with the mass required to characterize Construction and Deconstruction Waste (C&DW) for reuse and recycling in works of civil engineering. After the sections devoted to the definition of the vocabulary relating to the materials sample and to the characterization tests, a focus is made on the normative requirements for the applications as well as on the masses necessary for carrying out these tests. Finally, a presentation of the various technical means of the samples separation is made with a mention on the guide of the CEREMA on the valorization of building wastes in road construction

---

**Partie 1 :**  
**Bibliographie - Échantillonnage des granulats de béton recyclé sur  
plateforme**

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>PRINCIPES GENERAUX</b>                            | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>HETEROGENEITE DES GRANULATS DE BETON RECYCLES</b> | <b>5</b>  |
| <b>3</b> | <b>ECHANTILLONNAGE DE MATERIAUX HETEROGENES</b>      | <b>6</b>  |
| <b>4</b> | <b>REFERENCES</b>                                    | <b>10</b> |

## 1 Principes généraux

L'échantillonnage est un procédé de sélection d'une partie d'un ensemble de sorte qu'une valeur mesurée de cette partie soit une estimation non biaisée de l'ensemble [1]. Pour cela les différents éléments constitutifs de l'ensemble doivent avoir une probabilité égale d'être prélevé et de faire partie de l'échantillon global, ce qui en fait un échantillon représentatif [2].

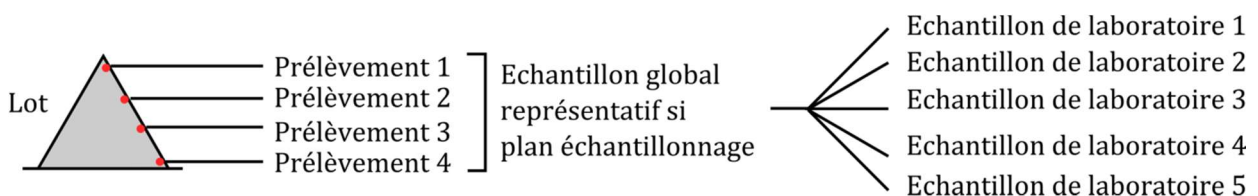
On distingue l'hétérogénéité de constitution, qui résulte des particularités physico-chimiques des particules individuelles de la matière et l'hétérogénéité de distribution, qui résulte de la distribution spatiale et/ou temporelle des particules au sein du lot [3].

Trois familles d'erreurs lors de l'échantillonnage sont identifiées [3] :

- Erreurs de préparation et de prélèvement : Elles sont dues à la perte ou à l'apport de matière (poussières, mauvais nettoyage des appareils, contamination par l'appareillage), à l'altération chimique (échauffement, évaporation) ou physique (bris de fragments, entre autres) du paramètre étudié, à la négligence ou à la maladresse de l'opérateur (mélanges accidentels, oublis, mauvais étiquetage, ...)
- Erreur de ségrégation : due à l'hétérogénéité de distribution (spatiale ou temporelle) des différents constituants au sein du lot. L'homogénéisation de la totalité du lot à analyser (par mélange, par exemple) permet de la réduire.
- Erreur fondamentale d'échantillonnage : Elle est liée étroitement à l'hétérogénéité de constitution de la matière et correspond à une limite idéalement atteinte lorsque toutes les particules (ou fragments) ont une chance égale d'être prélevées dans l'échantillon. Elle peut être estimée par un calcul issu de la théorie de Pierre Gy [4].

**La norme européenne EN 932-1 [5] définit les méthodes d'échantillonnage des granulats naturels (**

Figure 1). Des prélèvements sont réalisés dans un lot, regroupés et homogénéisés pour constituer un échantillon global. Cet échantillon global est considéré comme représentatif s'il est obtenu en recueillant des prélèvements selon un plan d'échantillonnage rendant probable la représentativité entre l'échantillon et le lot. Cet échantillon global est alors réduit pour produire le nombre d'échantillons de laboratoire nécessaire.



**Figure 1 : Échantillonnage des granulats naturels selon la norme européenne 932-1 [5]**

La masse minimale de l'échantillon global est définie par [5] :

$$M = 6 \cdot q_b \cdot \sqrt{D}$$

Avec :

M : Masse minimale en kg

$q_b$  : Masse volumique en vrac (prEN 1097-3) ( $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )

D : dimension de grains maximale (mm)

Les protocoles de prélèvement de la norme En 932-1 [5] concernent les granulats naturels. La difficulté avec ce genre de granulats concerne principalement l'hétérogénéité de distribution à cause des problèmes de ségrégation des particules qui diffèrent en fonction de leur taille. Mais il n'y a pas d'hétérogénéité de constitution, tous les grains pouvant être considéré comme étant de même nature. Ce n'est pas le cas des granulats recyclés, pour lesquels on identifie :

- Une hétérogénéité de constitution : plusieurs populations de grains coexistent dans un lot (béton, roche, plâtre, brique, plastique, bois ...),
- Une hétérogénéité de distribution spatiale : à la ségrégation des particules selon leur taille s'ajoute une ségrégation liée à leurs densités, ce qui produit des hétérogénéités au sein des lots (lors des manipulations du matériau, les particules de briques, de plâtre ou de bois ne vont pas se comporter de la même manière),
- Une hétérogénéité de distribution temporelle : les caractéristiques des matériaux apporter pour être traités sur les plateformes de recyclages dépendent (1) des matériaux sources, (2) du soin apporter à la déconstruction et (3) de la méthode de démolition employée sur site. La combinaison de ces trois facteurs rend impossible la production de produits standards et engendre donc une hétérogénéité temporelle importante [6].

## 2 Hétérogénéité des granulats de béton recyclés

L'hétérogénéité des granulats de béton recyclés est évaluée à l'aide de la norme européenne EN 933-11 [7]. Cette norme d'essai consiste à trier manuellement les particules constituant une prise d'essai de gravillons recyclés en les répartissant dans une liste de constituants (Tableau 1).

**Tableau 1. Classification des constituants des gravillons recyclés d'après EN 933-11 [7].**

| Constituant | Description   |
|-------------|---|
| Rc          | Béton, produits à base de béton, mortier<br>Éléments de maçonnerie en béton                               |
| Ru          | Graves non traitées, pierre naturelle<br>Granulats traités aux liants hydrauliques                        |
| Rb          | Éléments en terre cuite<br>Éléments de maçonnerie en silicate de calcium<br>Béton cellulaire non flottant |
| Ra          | Matériaux bitumineux  |
| Rg          | Verre   |
| X           | Autre : argiles, sols, métaux, plastiques et caoutchouc non flottant, plâtre, gypse                       |
| FL          | Éléments flottants  |

Dans le cadre du Projet National Recybeton les variabilités géographique et temporelle ont été étudiées [8,9]. La variabilité géographique est mesurée en comparant les caractéristiques de gravillons recyclés d'une dizaine de plateformes recyclages en France. La variabilité temporelle est mesurée en comparant l'évolution des caractéristiques de gravillons recyclés de 2 plateformes de recyclage en France. Les résultats sont synthétisés dans le Tableau 2. L'intervalle de confiance est un indicateur d'hétérogénéité. On constate que la variabilité géographique est plus forte que la variabilité temporelle.

**Tableau 2. Variabilités géographique et temporelle des granulats de béton recyclé d'après Jezequel [8,9]**

| Classe de matériau | Variabilité géographique |                                | Variabilité temporelle |                                | Combinaison |                                |
|--------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
|                    | Moyenne                  | Intervalle de confiance à 95 % | Moyenne                | Intervalle de confiance à 95 % | Moyenne     | Intervalle de confiance à 95 % |
| <b>Rc</b>          | 77,1                     | 10,5                           | 77,5                   | 6,8                            | 77,3        | 5,9                            |
| <b>Ru</b>          | 20,5                     | 9,0                            | 19,9                   | 6,7                            | 20,2        | 5,4                            |
| <b>Rc + Ru</b>     | 97,6                     | 1,7                            | 97,4                   | 1,5                            | 97,5        | 1,1                            |
| <b>Bb</b>          | 0,5                      | 0,3                            | 0,1                    | 0,1                            | 0,3         | 0,2                            |
| <b>Ra</b>          | 1,7                      | 1,3                            | 2,4                    | 1,4                            | 2,1         | 1,0                            |
| <b>Rg</b>          | 0,1                      | 0,2                            | 0,0                    | 0,0                            | 0,1         | 0,1                            |
| <b>X</b>           | 0,0                      | 0,0                            | 0,0                    | 0,0                            | 0,0         | 0,0                            |
| <b>X + Rg</b>      | 0,2                      | 0,1                            | 0,0                    | 0,0                            | 0,1         | 0,1                            |
| <b>FL</b>          | 0,0                      | 0,0                            | 0,0                    | 0,0                            | 0,0         | 0,0                            |

### 3 Échantillonnage de matériaux hétérogènes

Afin de proposer des solutions adaptées au problème de l'hétérogénéité des granulats de recyclés, les méthodes d'échantillonnage d'autres domaine sont étudiés.

Dans le cadre du projet européen Re-Road, Mouillet *et al.* [10] discutent de l'échantillonnage des agrégats d'enrobé recyclé. Deux solutions sont principalement abordées par les auteurs. L'une consiste à réaliser des stocks intermédiaires de 1 à 2 tonnes sur la plateforme à l'aide d'un chargeur dans lesquels il serait alors possible de prélever des échantillons par pelletage. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle nécessite de réaliser de nombreux essais. L'autre méthode, qui a la faveur des auteurs, est décrite dans la

Figure 2. Le prélèvement est adapté au type de stock ainsi qu'au taux de recyclât du futur enrobé. Cette méthode favorise le prélèvement dans des stocks en formes de toit.

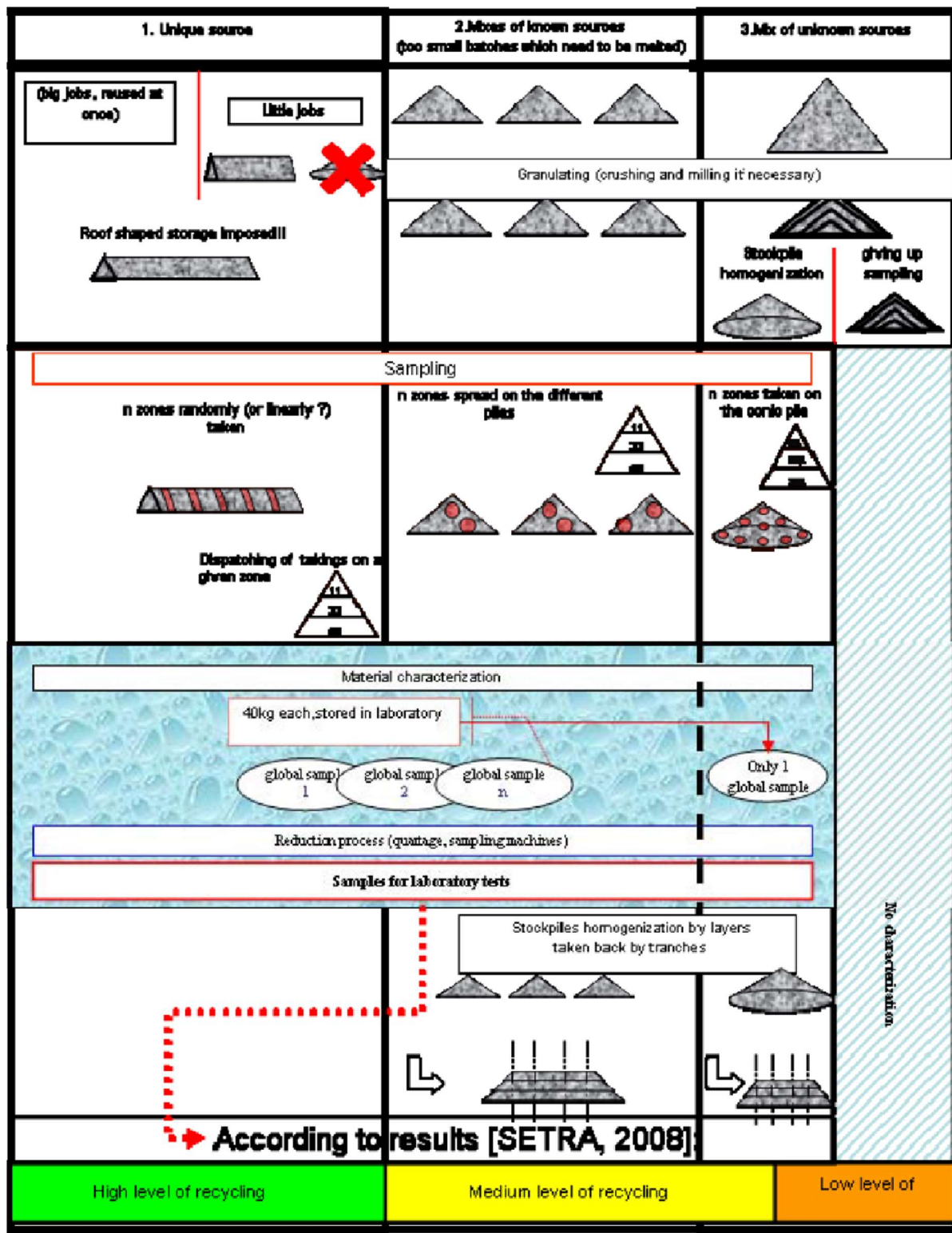


Figure 2 : Procédure d'échantillonnage adaptée au type de stock et au niveau de recyclage, proposée par Mouillet et al. [10] pour les agrégats de bitume recyclés.



Dans le domaine minier, d'après Holmes [2], l'échantillonnage de matériaux stationnaires est particulièrement problématique car, la plupart du temps, il n'est pas possible de s'assurer que toutes les parties du matériau seront échantillonnées de manière équiprobable, particulièrement pour les grands stocks. Selon l'auteur, le seul moyen d'échantillonner convenablement un stock de matériau est d'en prélever une colonne verticale continue de haut en bas du stock. Holmes [2] conseil d'échantillonner le matériau lorsqu'il est en mouvement. Selon lui, le meilleur endroit pour échantillonner un matériau lors d'un procédé minier se situe au point de décharge d'une bande transporteuse où l'ensemble du flux peut être recoupé à intervalles réguliers. Les règles de dimensionnement pour ce type d'échantillonneur sont les suivantes :

- L'échantillonnage doit concerner l'ensemble du flux
- Le temps d'échantillonnage en chaque point du flux doit être égal
- L'échantillonneur doit couper le flux selon un plan normal à sa trajectoire
- Le plan d'ouverture de l'échantillonneur ne doit pas être vertical
- La vitesse de déplacement de l'échantillonneur doit être uniforme à travers le flux
- L'ouverture de l'échantillonneur doit être au moins trois fois plus grande que la taille nominale des particules
- La vitesse de l'échantillonneur ne doit pas dépasser  $0,6 \text{ m.s}^{-1}$  à moins que l'ouverture soit supérieure à trois fois la taille nominale des particules
- La capacité de l'échantillonneur doit être suffisante pour éviter les risques débordement
- L'échantillonneur doit permettre le passage de l'ensemble des particules intersectées

Dans le domaine des déchets, du fait de la grande hétérogénéité des matériaux, l'échantillonnage fait l'objet d'une attention toute particulière. Un ensemble de normes y est consacré : la norme EN 14899 [11] décrit la manière dont doit être élaboré un plan d'échantillonnage et la série de guides techniques FD CEN/TR 15310, notamment le guide 15310-2 [12] qui traite des techniques d'échantillonnage, donne des indications plus précises sur chacune des étapes du plan d'échantillonnage. Le plan d'échantillonnage décrit dans la norme EN 14899 [11] est constitué de 4 étapes principales : (1) la description générale du processus, (2) l'identification des parties concernées, (3) la définition de l'objectif du programme d'essai et (4) la définition de la stratégie d'échantillonnage. Cette même norme définit l'hétérogénéité comme le degré de non-uniformité affectant la distribution d'un constituant dans une quantité définie de matériau. Un matériau peut être considéré comme homogène pour une propriété, mais hétérogène pour une autre. La norme distingue trois types de production de matériaux :

- Production unitaire de déchets : la forme la plus simple de production de déchets est la production unitaire de déchets stockés dans un conteneur, un tas, un camion. Dans ce cas la population peut être aisément définie en termes d'espace.
- Production continue d'un flux homogène de déchets : la population est alors plutôt définie dans le temps que dans l'espace (quantité de déchets produite par un certain procédé pendant une certaine durée).
- Production continue d'un flux hétérogène de déchets : il convient que les résultats du programme d'essai donnent un aperçu de l'hétérogénéité de la population, cette dernière à diviser en plusieurs sous-populations. De préférence ces sous-populations restent physiquement séparées jusqu'à ce que les résultats du programme d'essai soient disponibles afin de pouvoir les traiter séparément en fonction de la qualité potentiellement variable.

Le guide technique FD CEN/TR 15310-2 [12] décrit les procédures d'échantillonnages qu'il convient d'employer au regard des procédés de traitement des déchets :

- 
- Cas d'un tas de grande taille statique (paragraphe 12.3) : au moyen d'une pelleteuse étaler le tas et prélever des échantillons sur toute la longueur et la largeur du matériau. Faire un nouveau tas avec les prélèvements élémentaires, mélanger avec la pelleteuse et répéter l'opération jusqu'à ce que le volume puisse être traité à la main.
  - Cas de matériaux en mouvement déversé (paragraphe 11.3) : échantillonner aussi près que possible du point de chute. (1) Placer la pelle dans le flux de matière en suivant une direction unique. (2) maintenir la pelle en place pendant une durée suffisante pour recueillir le volume spécifié de matériau. (3) Retirer la pelle dans la direction suivie à l'entrée.
  - Cas de matériau en mouvement sur bande transporteuse (paragraphe 11.4) : arrêter la bande transporteuse juste avant l'échantillonnage. L'échantillon peut être prélevé de manière probabilistique à l'aide d'une pelle (11.4.3.1) ou d'un cadre rectangulaire (11.4.3.2).

---

## 4 Références

- [1] J.W. Merks, *Sampling in Mineral Processing*, Vancouver (Canada), 2001.
- [2] R.J. Holmes, *Sampling mineral commodities - The good, the bad, and the ugly*, J. South. African Inst. Min. Metall. 110 (2010) 269–276.
- [3] *Prélèvement et échantillonnage des granulats*, Lyon (France), 2010.
- [4] P.M. Gy, *Sampling of Heterogeneous and Dynamic Material*, Data Handl, Elsevier, Cannes (France), 1992.
- [5] NF EN 932-1:1996 (F) *Essai pour déterminer les propriétés générales des granulats - Partie 1 : Méthodes d'échantillonnage*, AFNOR, Paris (France), 1996.
- [6] K.H. Younis, K. Pilakoutas, *Strength prediction model and methods for improving recycled aggregate concrete*, Constr. Build. Mater. 49 (2013) 688–701.  
doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.09.003.
- [7] NF EN 933-11:2009 (F) *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 11 : Essai de classification des constituants de gravillons recyclés*, AFNOR, Paris (France), 2009.
- [8] F. Jezequel, *Projet National Recybéton - Etude de variabilité des caractéristiques de granulats recyclés issus de diverses sources et suivi - Partie 1 : Variabilité Géographique*, Paris (France), 2014.
- [9] F. Jezequel, *Projet National Recybéton - Etude de variabilité des caractéristiques de granulats recyclés issus de diverses sources et suivi - Partie 2 : Variabilité dans le Temps*, Paris (France), 2014.
- [10] V. Mouillet, T. Gabet, M. Wayman, N. Piérard, A. Vanelstraete, K. Mollenhauer, et al., *Re-Road - State of the art on existing laboratory methods (sampling, characterization) linked to Reclaim Asphalt study*, Paris (France), 2010.
- [11] NF EN 14899:2006 (F) *Carcatérisation des déchets - Prélèvement des déchets - Procédure cadre pour l'élaboration et la mise en oeuvre d'un plan d'échantillonnage*, AFNOR, Paris (France), 2006.
- [12] FD CEN/TR 15310-2:2007 (F) *Carcatérisation des déchets - Partie 2 Guide relatif aux techniques d'échantillonnage*, AFNOR, Paris (France), 2007.

---

## Partie 2 : Réduction d'échantillon pour le laboratoire

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCTION</b>   | <b>13</b> |
| <b>2. DEFINITIONS DES TERMES</b>   | <b>14</b> |
| 2.1. ÉCHANTILLON POUR LABORATOIRE  | 14        |
| 2.2. ÉCHANTILLON POUR ESSAI  | 14        |
| 2.3. PRISE D'ESSAI   | 14        |
| <b>3. DEFINITION DES CARACTERISATIONS</b>  | <b>15</b> |
| 3.1. CARACTERISATION GEOMETRIQUE   | 15        |
| 3.2. CARACTERISATION PHYSIQUE  | 15        |
| 3.3. CARACTERISATION CHIMIQUE  | 15        |
| <b>4. EXIGENCES NORMATIVES POUR UNE APPLICATION VISEE</b>  | <b>16</b> |
| 4.1. GRANULATS POUR BETON  | 16        |
| 4.2. GRANULATS LEGERS BETON ET MORTIER   | 16        |
| 4.3. GRANULATS POUR MATERIAUX TRAITES AUX LIANTS HYDRAULIQUES ET MATERIAUX NON TRAITES UTILISES<br>POUR LES TRAVAUX DE GENIE CIVIL ET POUR LA CONSTRUCTION DES CHAUSSEES | 17        |
| 4.4. GRANULATS POUR MELANGES HYDROCARBONES ET POUR ENDUITS SUPERFICIELS  | 17        |
| 4.5. CARACTERISATION SPECIFIQUE AUX GRANULATS RECYCLES   | 17        |
| 4.6. INVENTAIRE DES ESSAIS SELON LES APPLICATIONS  | 17        |
| <b>5. ESSAIS DE CARACTERISATION</b>  | <b>20</b> |
| 5.1. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 933-1  | 20        |
| 5.2. ESSAI RELATIF A LA NOME NF-EN 933-3   | 20        |
| 5.3. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 933-5  | 21        |
| 5.4. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 933-6  | 21        |
| 5.5. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 933-7  | 21        |
| 5.6. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 933-8  | 22        |
| 5.7. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 933-9  | 22        |
| 5.8. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 933-10   | 22        |
| 5.9. ESSAI RELATIF A LA NORME NF EN 933-11   | 22        |
| 5.10. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 1097-1  | 23        |
| 5.11. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 1097-2  | 23        |
| 5.12. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 1097-3  | 23        |
| 5.13. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 1097-5  | 24        |
| 5.14. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 1097-6  | 24        |
| 5.15. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 1097-8  | 24        |
| 5.16. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 1367-1  | 25        |
| 5.17. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 1744-1  | 25        |
| 5.18. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 1744-5  | 26        |
| 5.19. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 1097-4  | 26        |
| 5.20. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 1097-7  | 27        |
| 5.21. ESSAI RELATIF A LA NORME NF-EN 13179-1   | 27        |
| 5.22. BILAN MASSIQUE SELON LES APPLICATIONS  | 27        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>5</b>   | <b>MOYENS POUR LE TRAITEMENT DE L'ECHANTILLON EN LABORATOIRE</b> | <b>28</b> |
| <b>5.1</b> | <b>DIVISEURS A COULOIRS</b>                                      | <b>28</b> |
| <b>5.2</b> | <b>DIVISEURS TOURNANTS</b>                                       | <b>29</b> |
| <b>5.3</b> | <b>REPARTITEURS CARROUSEL</b>                                    | <b>29</b> |
| <b>6</b>   | <b>GUIDE DU CEREMA « VALORISATION DES DECHETS DU BTP »</b>       | <b>30</b> |
| <b>7</b>   | <b>CONCLUSION</b>  | <b>31</b> |
| <b>8</b>   | <b>REFERENCES</b>  | <b>32</b> |

## **1. Introduction**

Les déchets pour leur recyclage et leur réutilisation doivent être caractérisés. Cette caractérisation est nécessaire afin de s'assurer que les normes relatives aux différentes applications considérées soient respectées. À cette fin, un prélèvement selon un échantillonnage approprié doit être effectué sur les matériaux à caractériser.

Après le prélèvement des déchets à analyser sur les stocks, ceux-ci doivent donc passer au laboratoire pour être caractérisés. Cette phase d'analyse exige d'avoir à disposition une masse suffisante d'échantillon pour réaliser les différents essais de caractérisation.

En partant de la définition des termes spécifiques de la thématique de cette partie, les objectifs de caractérisation justifieront les essais à réaliser. La démarche est de considérer que la somme des prises d'essais représente la masse de l'échantillon de matériaux à caractériser. La réduction de cet échantillon selon la norme NF EN 932-2, permettra d'obtenir des sous-échantillons qui seront les prises d'essais pour chaque essai à réaliser. Ainsi, la masse nécessaire pourra être encadrée voire définie.

Ces informations seront comparées aux préconisations du CEREMA récemment publiées dans le guide relatif à la valorisation des déchets du BTP en technique routière [1]. Enfin, des moyens techniques pour réduire les échantillons seront présentés.

## **2. Définitions des termes**

### **2.1. Échantillon pour laboratoire**

Selon la norme NF P 18-545 [2], l'échantillon global est un échantillon constitué par le mélange de prélèvements.

Ici, l'échantillon est envoyé au laboratoire. L'échantillon pour laboratoire est l'échantillon final du point de vue de la collecte d'échantillon, mais c'est l'échantillon initial du point de vue du laboratoire.

### **2.2. Échantillon pour essai**

L'échantillon pour essai, peut être considéré comme un sous échantillon de l'échantillon global. Selon la norme NF P 18-545, il est obtenu à partir d'un prélèvement ou d'un échantillon global selon une procédure de réduction.

Ainsi, quand l'échantillon pour laboratoire est l'objet d'une préparation (c'est-à-dire réduction, mélange, broyage ou autres), le résultat est l'échantillon pour essai. Quand aucune préparation de l'échantillon pour le laboratoire ne s'avère nécessaire, alors l'échantillon pour laboratoire devient l'échantillon pour essai.

### **2.3. Prise d'essai**

Selon la norme NF P 18-545, la prise d'essai est un sous-échantillon utilisé dans sa totalité pour un seul essai. Donc, une prise d'essai est extraite de l'échantillon pour essai pour effectuer une analyse.

### **3. Définition des caractérisations**

#### **3.1. Caractérisation géométrique**

Les caractéristiques géométriques recouvrent les classes granulaires, la granularité, la forme de gravillons. Elles sont complétées par la teneur en éléments coquilliers des gravillons, la teneur en fines, et la qualité des fines.

#### **3.2. Caractérisation physique**

La caractérisation physique concerne la résistance à la fragmentation, la résistance à l'usure des gravillons, la résistance au polissage et à l'abrasion des gravillons, la masse volumique réelle et coefficient d'absorption d'eau et la masse volumique en vrac.

#### **3.3. Caractérisation chimique**

Pour les gravillons, il est nécessaire de caractériser les chlorures, les composés contenant du soufre, la teneur en carbonate des sables pour dresser la caractérisation chimique de matériaux considérés.



---

## 4. Exigences normatives pour une application visée

Comme les déchets inertes du BTP peuvent avoir des caractéristiques suffisantes pour différentes applications dans le Génie Civil, ils peuvent être recyclés et être considérés comme matériaux recyclés. Avant tout, il est nécessaire de prendre en compte les exigences de caractérisation selon les applications visées.

Ainsi cette partie a pour objectif d'inventorier les caractérisations à déterminer et par conséquent les essais à réaliser afin de respecter le cadre normatif de l'application considérée.

### 4.1. Granulats pour béton

La norme NF EN 12620 [3] associée à son addenda A1 spécifie les caractéristiques des granulats et des fillers élaborées à partir, entre autres, de matériaux recyclés et des mélanges de ces matériaux utilisés pour la fabrication du béton.

Elle s'applique aux granulats dont la masse volumique réelle après séchage est supérieure à  $2000 \text{ kg.m}^{-3}$ , pour tous bétons, y compris les bétons conformes à l'EN 206-1 et les bétons utilisés dans la fabrication des routes et des chaussées ainsi que les granulats entrant dans la composition des produits préfabriqués en béton.

L'addenda A1 couvre également les gravillons recyclés de masse volumique entre  $1500 \text{ kg.m}^{-3}$  et  $2000 \text{ kg.m}^{-3}$  et les sables recyclés (4 mm).

Ce document spécifie les caractéristiques géométriques, les caractéristiques physiques, les caractéristiques chimiques que les granulats doivent satisfaire.

Les caractéristiques géométriques sont définies à partir :

- des classes granulaires,
- de la granularité,
- de la forme des gravillons,
- de la teneur en éléments coquillers des gravillons,
- de la teneur en fines ainsi que de la qualité des fines.

Les caractéristiques physiques regroupent :

- la résistance à la fragmentation des gravillons,
- la résistance à l'usure des gravillons,
- la résistance au polissage et à l'abrasion des gravillons à utiliser pour les couches de roulement, la masse volumique réelle,
- le coefficient d'absorption d'eau,
- la masse volumique en vrac,
- la durabilité.

Les caractéristiques chimiques concernent :

- la teneur en chlorures,
- la teneur en composés contenant du soufre,
- la teneur en carbonate des sables pour couches de roulement des chaussées en béton de ciment.

### 4.2. Granulats légers béton et mortier

La norme NF EN 13055-1 [4] relative aux granulats légers pour béton et mortier, impose de définir aussi :

- leurs caractéristiques physiques : masse volumique en vrac, réelle, classe granulaire, forme des granulats, granularité des fillers, coefficient d'absorption d'eau, teneur en eau, résistance à l'écrasement en vrac, pourcentage de surfaces cassées dans les gravillons, résistance à la désintégration, résistance gel/dégel,
- leurs caractéristiques chimiques : teneur en chlorure, composés contenant du soufre, perte au feu, contaminants organiques, alcali-réaction, essais pour obtenir les valeurs des caractéristiques en italique.

---

### **4.3. Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées**

La norme NF EN 13242 [5] régissant le cadre de cette utilisation pour les matériaux granulaires, liste :

- leurs caractéristiques physiques : classes granulaires, granularité, forme des gravillons, pourcentage de grains semi-concassés et de grains entièrement roulés dans les gravillons, teneur en fines, qualité des fines,
- leurs caractéristiques physiques : résistance à la fragmentation, résistance à l'usure des gravillons, masse volumique réelle, coefficient d'absorption d'eau, classification des constituants des gravillons recyclés,
- leurs caractéristiques chimiques : sulfate soluble dans l'acide.

### **4.4. Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels**

La norme NF EN 13043 [6] pour les granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées et d'autres zones de circulation, signale qu'il est nécessaire d'avoir les informations pour les caractéristiques suivantes :

- caractéristiques des gravillons et des sables : classes granulaires, granularité, gravillons, sable et grave granulat tout-venant, teneur en fines, qualité des fines, forme des gravillons, pourcentage de grains semi-concassés dans les gravillons, angularité des sables,
- caractéristiques physiques : résistance à la fragmentation des gravillons, résistance au polissage des gravillons destinés aux couches de roulement, résistance à l'abrasion de surface, résistance à l'usure des gravillons, résistance à l'abrasion par les pneus à crampons, masse volumique et absorption d'eau, durabilité,
- caractéristiques chimiques : composition chimique, polluants organiques légers, éléments affectant la stabilité des laitiers de haut fourneau,
- caractéristiques des fillers : caractéristiques de granularité, caractéristiques physiques (teneur en eau, masse volumique réelle, caractéristiques rigidifiantes,
- caractéristiques chimiques : solubilité à l'eau, sensibilité à l'eau, teneur en carbonate des granulats calcaires, teneur en chaux éteinte,
- caractéristiques de régularité de production de filler.

### **4.5. Caractérisation spécifique aux granulats recyclés**

La norme NF P 18-545 dans son article 5.8 intitulé « Gravillons recyclés » dit : « *Tout granulat naturel dans lequel est incorporé du granulat recyclé, quel qu'en soit le pourcentage, doit faire l'objet de tests prévus pour les granulats naturels auxquels s'ajoutent les tests complémentaires prévus pour les granulats recyclés* ».

Selon la norme NF EN 12620, des essais spécifiques sont recommandés afin de caractériser les gravillons recyclés. Ceux-là concernent donc :

- La classification des gravillons recyclés,
- La teneur en sulfates solubles dans l'eau,
- les chlorures solubles dans l'acide,
- Les constituants réduisant le temps de prise et la résistance du béton.

### **4.6. Inventaire des essais selon les applications**

Le tableau suivant présente pour chaque application visée les essais de caractérisation à réaliser.

Tableau 3- Essais de caractérisation à réaliser pour les applications encadrées par les normes NF EN 12620, NF EN 13055-1, NF EN 13042, NF EN 13043.

| Application   | Norme correspondante | Essais à réaliser  |
|---|----------------------|--|
| Granulats pour béton  | NF EN 12620          | Essai NF-EN 933-1 [7]<br>Essai NF-EN 933-3 [8]<br>Essai NF-EN 933-7 [9]<br>Essai NF-EN 933-8 [10]<br>Essai NF-EN 933-9 [11]<br>Essai NF-EN 933-10 [12]<br>Essai NF-EN 933-11 [13]<br>Essai NF-EN 1097-1 [14]<br>Essai NF-EN 1097-2 [15]<br>Essai NF-EN 1097-6 [16]<br>Essai NF-EN 1097-8 [17]<br>Essai NF-EN 1367-1 [18]<br>Essai NF-EN 1744-1 [19]<br>Essai NF-EN 1744-5 [20]                                     |
| Granulats légers pour béton et mortier  | NF EN 13055-1        | Essai NF-EN 1097-3 [21]<br>Essai NF-EN 1097-5 [22]<br>Essai NF-EN 1097-6<br>Essai NF-EN 933-1<br>Essai NF-EN 933-10<br>Essai NF-EN 1744-1  |
| Granulats pour matériaux traités au liant hydraulique et matériaux non traités pour travaux de Génie Civil et pour la construction de chaussées | NF EN 13042          | Essai NF-EN 933-1<br>Essai NF-EN 933-3<br>Essai NF-EN 933-5<br>Essai NF-EN 933-8<br>Essai NF-EN 933-9<br>Essai NF-EN 1097-1<br>Essai NF-EN 1097-2<br>Essai NF-EN 1097-3<br>Essai NF-EN 1097-6<br>Essai NF-EN 933-11<br>Essai NF-EN 1744-1  |
| Granulats pour mélanges hydrocarbonés et enduits superficiels utilisés dans la construction de chaussées  | NF EN 13043          | Essai NF-EN 933-1<br>Essai NF-EN 933-3<br>Essai NF-EN 933-5<br>Essai NF-EN 933-6<br>Essai NF-EN 933-9<br>Essai NF-EN 933-10<br>Essai NF-EN 1097-1<br>Essai NF-EN 1097-2<br>Essai NF-EN 1097-3<br>Essai NF-EN 1097-4 [23]<br>Essai NF-EN 1097-5<br>Essai NF-EN 1097-6<br>Essai NF-EN 1097-7 [24]<br>Essai NF-EN 1097-8<br>Essai NF-EN 1367-1<br>Essai NF-EN 932-3<br>Essai NF-EN 1744-1<br>Essai NF-EN 13179-1 [25] |



## 5. Essais de caractérisation

Pour chaque essai, il est indiqué selon l'application les caractéristiques réglementaires à mesurer. Ainsi, par correspondance à la caractéristique identifiée, il est signalé la masse de matériau nécessaire pour estimer celle-ci.

Cet inventaire est décrit par les tableaux suivants.

### 5.1. Essai relatif à la norme NF-EN 933-1

Selon les applications identifiées plus tôt, cet essai a pour objectif de mesurer des caractéristiques géométriques relative à l'analyse granulométrique. Ainsi, selon la norme régissant cet essai, la masse de l'échantillon pour le réaliser est spécifiée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 – Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 933-1.

| Application | Caractéristique mesurée  | Masse nécessaire pour l'essai                 |  |
|-------------|--|---|--|
|             |  | Si la classe granulaire D maximale (mm) est : | Alors la masse de granulats (kg) est : |
| NF EN 12620 | Granularité pour les gravillons<br>Granularité pour les sables<br>Granularité pour les graves<br>Teneur en fines, sables, graves<br>Teneur en fines des gravillons |   |  |
| NF EN 13242 | Caractéristiques générales de granularité des granulats  | 90  | 80                                     |
|             | Caractéristiques générales de granularité des sables et des graves   | 32  | 10                                     |
|             | Limites générales et tolérances au tamis intermédiaire des gravillons  | 16  | 2,6                                    |
|             | Tolérances autour de la granularité type déclarée par le fournisseur des sables et des graves  | 8   | 0,6                                    |
|             | Teneur en fines des gravillons<br>Teneur en fines sables et des graves   | ≤ 4   | 0,2                                    |
| NF EN 13043 | Classes granulaires  |   |  |
|             | Caractéristiques générales de granularité des gravillons   |   |  |
|             | Caractéristiques générales de granularité des sables   |   |  |
|             | Caractéristiques générales de granularité des graves   |   |  |
|             | Tolérances autour de la granularité type déclarée par le fournisseur des sables et des graves<br>Limites générales et tolérances au tamis intermédiaire.           |   |  |

### 5.2. Essai relatif à la norme NF-EN 933-3

Dans la caractérisation géométrique des granulats, cet essai concerne la détermination de la forme des granulats à travers leur coefficient d'aplatissement.

**Tableau 5 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 933-3.**

| Application | Caractéristique mesurée | Masse nécessaire pour l'essai |                      |
|-------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------|
| NF EN 12620 | Forme des gravillons    | Si la classe granulaire       | Alors la masse de    |
| NF EN 13242 | Forme des gravillons    | D maximale (mm) est :         | granulats (kg) est : |
| NF EN 13043 | Forme des gravillons    | 90                            | 80                   |
|             |                         | 32                            | 10                   |
|             |                         | 16                            | 2,6                  |
|             |                         | 8                             | 0,6                  |
|             |                         | ≤4                            | 0,2                  |

### 5.3. Essai relatif à la norme NF-EN 933-5

Toujours sous l'aspect de la caractérisation géométrique des granulats, cet essai a pour objectif de déterminer les surfaces cassées des gravillons.

Sur la base de la norme régissant cet essai, le tableau ci-dessous définit la masse nécessaire pour sa réalisation.

**Tableau 6 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 933-5.**

| Application | Caractéristique mesurée  | Masse nécessaire pour l'essai      |  |
|-------------|--|------------------------------------|--|
| NF EN 13055 | Pourcentage de surfaces cassées des gravillons                     | Si les dimensions maximales d (mm) | Alors la masse minimale de la prise d'essai (kg) |
| NF EN 13042 | Pourcentage de grains semi-concassés et roulés dans les gravillons | sont :                             | est :  |
|             |  | 63                                 | 45   |
|             |  | 32                                 | 6  |
|             |  | 16                                 | 1  |
|             |  | 8                                  | 0,1  |

### 5.4. Essai relatif à la norme NF-EN 933-6

Cet essai a pour objectif de déterminer le coefficient d'écoulement des granulats.

**Tableau 7 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 933-6.**

| Application | Caractéristique mesurée | Masse nécessaire pour l'essai |
|-------------|-------------------------|-------------------------------|
| NF EN 13043 | Angularité des sables   | 700 g                         |

### 5.5. Essai relatif à la norme NF-EN 933-7

Cet essai a pour objectif de mesurer le pourcentage en éléments coquillers dans les gravillons.

**Tableau 8 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 933-7.**

| Application | Caractéristique mesurée                       | Masse nécessaire pour l'essai                      |  |
|-------------|---|--|--|
| NF EN 12620 | Teneur en éléments coquilliers des gravillons | Selon la dimensions des plus gros granulats (mm) : | Alors la masse de prise d'essai minimale (kg) est de : |
|             |   | 63   | 45   |
|             |   | 32   | 6  |
|             |   | 16   | 1  |
|             |   | 8  | 0,1  |

### 5.6. Essai relatif à la norme NF-EN 933-8

Cet essai consiste à évaluer l'équivalent sable afin de déterminer la qualité des fines.

**Tableau 9 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 933-8.**

| Application | Caractéristique mesurée                    | Masse nécessaire pour l'essai |
|-------------|--|-------------------------------|
| NF EN 12620 | Qualité des fines                          | 120 g (sec)                   |
| NF EN 13242 | Qualité des fines des sables et des graves | 120 g (sec)                   |

### 5.7. Essai relatif à la norme NF-EN 933-9

Toujours en relation avec la qualité des fines, cet essai a pour objectif de mesurer la qualité des fines par l'utilisation du bleu de méthylène.

**Tableau 10 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 933-9.**

| Application | Caractéristique mesurée                                 | Masse nécessaire pour l'essai  |
|-------------|---|--------------------------------|
| NF EN 12620 | Qualité des fines                                       | La masse minimale est de 200g. |
| NF EN 13042 | Qualité des fines des sables et des graves              |                                |
| NF EN 13043 | Valeur maximale de bleu de méthylène sable et grave D<8 |                                |

### 5.8. Essai relatif à la norme NF-EN 933-10

La norme NF EN 933-10 définit la réalisation de l'essai permettant d'évaluer la granularité des fines.

**Tableau 11 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 933-10.**

| Application | Caractéristique mesurée | Masse nécessaire pour l'essai |
|-------------|-------------------------|-------------------------------|
| NF EN 12620 | Granularité des fillers | 50 g                          |
| NF EN 13055 | Granularité des fillers |                               |

### 5.9. Essai relatif à la norme NF EN 933-11

Cet essai consiste à évaluer la classification des granulats recyclés.

**Tableau 12 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 933-11.**

| Application | Caractéristique mesurée               | Masse nécessaire pour l'essai   |   |
|-------------|---------------------------------------|---|---|
| NF EN 12620 | Classification des granulats recyclés | Selon D de la classe granulaire supérieure (mm) :<br>63<br>32 et en-dessous | Alors la masse minimale est de (kg) :<br>50<br>20 |
| NF EN 13042 | Classification des granulats recyclés |   |   |

### 5.10. Essai relatif à la norme NF-EN 1097-1

La réalisation de cet essai a pour objectif la résistance à l'usure des granulats.

**Tableau 13 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 1097-1.**

| Application | Caractéristique mesurée                      | Masse nécessaire pour l'essai  |
|-------------|--|--|
| NF EN 12620 | Résistance à l'usure des gravillons (M.D.E.) | La prise d'essai doit permettre d'obtenir 25 kg de la classe granulaire 31,5/50. |
| NF EN 13042 | Résistance à l'usure des gravillons (M.D.E.) |  |
| NF EN 13043 | Résistance à l'usure des gravillons (M.D.E.) |  |

### 5.11. Essai relatif à la norme NF-EN 1097-2

Ici, la réalisation de cet essai permet d'évaluer la résistance à la fragmentation des granulats.

**Tableau 14 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 1097-2.**

| Application | Caractéristique mesurée                             | Masse nécessaire pour l'essai                     |
|-------------|---|---|
| NF EN 12620 | Résistance à la fragmentation des gravillons (L.A.) | La prise doit permettre d'obtenir 15 kg de 10/14. |
| NF EN 13242 | Résistance à la fragmentation des gravillons (L.A.) |   |
| NF EN 13043 | Résistance à l'usure des gravillons (M.D.E.)        |   |

### 5.12. Essai relatif à la norme NF-EN 1097-3

Cet essai définit la méthode pour déterminer la masse volumique en vrac ainsi que la porosité inter-granulaire.



**Tableau 15 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 1097-3.**

| Application | Caractéristique mesurée | Masse nécessaire pour l'essai                                 |   |
|-------------|-------------------------|---|---|
| NF EN 13055 | Masse volumique en vrac | Selon la limite supérieure de la classe granulaire (D) (mm) : | Alors il faut prévoir une masse (kg) avec une hypothèse de masse volumique de 1700 kg.m <sup>-3</sup> : |
| NF EN 13043 | Masse volumique en vrac |   |   |
|             |                         | < ou = à 4  | 1,7   |
|             |                         | < ou = 16   | 8,5   |
|             |                         | < ou = 31,5   | 17  |
|             |                         | < ou = 63   | 34  |

### 5.13. Essai relatif à la norme NF-EN 1097-5

La norme de cet essai encadre la réalisation de la mesure de la teneur en eau par séchage en étuve ventilée.

**Tableau 16 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 1097-5.**

| Application | Caractéristique mesurée   | Masse nécessaire pour l'essai |  |
|-------------|---------------------------|-------------------------------|--|
| NF EN 13043 | Teneur en eau des fillers | Si D > ou = à 10 mm           | Alors la masse minimale est de (0,2*D) kg. |
| NF EN 13055 | Teneur en eau             | Si D < ou = à 10 mm           | Alors la masse minimale est de 0,2 kg      |

### 5.14. Essai relatif à la norme NF-EN 1097-6

Cet essai a pour objectif de mesurer la masse volumique réelle et le coefficient d'absorption d'eau.

**Tableau 17 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 1097-6.**

| Application | Caractéristique mesurée                            | Masse nécessaire pour l'essai                          |  |
|-------------|--|--|--|
| NF EN 12620 | Masse volumique réelle et coefficient d'absorption | Selon la dimension supérieure (D) des granulats (mm) : | Alors la masse minimale des prises d'essai est de (kg) : |
| NF EN 13042 | Masse volumique réelle Sensibilité au gel-dégel    |  |  |
| NF EN 13055 | Coefficient d'absorption d'eau                     |  |  |
| NF EN 13043 | Masse volumique Essai d'absorption d'eau           |  |  |
|             |  | 63   | 15   |
|             |  | < ou = 45  | 7  |

### 5.15. Essai relatif à la norme NF-EN 1097-8

Cet essai a pour but de déterminer le coefficient de polissage accéléré.

**Tableau 18 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 1097-8.**

| Application | Caractéristique mesurée  | Masse nécessaire pour l'essai |
|-------------|--|-------------------------------|
| NF EN 12620 | Résistance au polissage (PSV)  | 2 kg                          |
| NF EN 13043 | Résistance au polissage des gravillons destinés aux couches de roulement |                               |

### 5.16. Essai relatif à la norme NF-EN 1367-1

La réalisation de cet essai permet de déterminer la résistance au gel et dégel des granulats.

**Tableau 19 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 1367-1.**

| Application | Caractéristique mesurée  | Masse nécessaire pour l'essai                    |                             |
|-------------|--------------------------|--|-----------------------------|
| NF EN 13043 | Sensibilité au gel-dégel | Selon la granularité maximale du granulat (mm) : | Alors la masse (g) est de : |
|             |                          | 4 à 8  | 1000                        |
|             |                          | 8 à 16   | 2000                        |
|             |                          | 16 à 32  | 4000                        |
|             |                          | 32 à 63  | 6000                        |

### 5.17. Essai relatif à la norme NF-EN 1744-1

La norme 1744-1 encadre la réalisation de différents essais ayant pour objectif de déterminer différentes caractéristiques chimiques.

Le tableau suivant donne la masse de la prise d'essai.

**Tableau 20 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 1744-1.**

| Application | Caractéristique mesurée   | Masse nécessaire pour l'essai                           |   |
|-------------|---|---|---|
| NF EN 12620 | Sulfates solubles dans l'acide<br>Soufre total<br>Sulfates solubles dans l'eau des granulats recyclés   |   |   |
| NF EN 13042 | Soufre total des granulats pour mélanges traités aux liants hydrauliques<br>Sulfates solubles dans des granulats recyclés<br>Stabilité volumique des laitiers d'aciérie pour graves non traités<br>Désintégration du silicate bicalcique des laitiers de haut-fourneau refroidis à l'air<br>Désintégration du fer des laitiers de haut fourneau refroidis à l'air | Selon la dimension nominale maximale du granulat (mm) : | Alors la masse minimale (kg) du sous-échantillon est de : |
| NF EN 13055 | Teneur en chlorure<br>Sulfate soluble dans l'acide<br>Soufre total<br>Perte au feu<br>Composants organiques   | 63<br>45<br>31,5<br>22,4 ou moins                       | 50<br>35<br>15<br>5                                       |
| NF EN 13043 | Stabilité volumique des laitiers  |   |   |

### 5.18. Essai relatif à la norme NF-EN 1744-5

Selon le document NF EN 1744-5, la masse pour la prise d'essai pour caractériser la quantité de chlorures solubles dans l'acide est donnée par el tableau ci-dessous.

**Tableau 21 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 1744-5.**

| Application | Caractéristique mesurée         | Masse nécessaire pour l'essai |
|-------------|---------------------------------|-------------------------------|
| NF EN 12620 | Chlorures solubles dans l'acide | Cf. tableau précédent         |

### 5.19. Essai relatif à la norme NF-EN 1097-4

La réalisation de cet essai permet de mesurer la porosité du filler à sec.

Tableau 22 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 1097-4.

| Application | Caractéristique mesurée           | Masse nécessaire pour l'essai |
|-------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| NF EN 13043 | Porosité compacté à sec du filler | Masse minimale = 150 g        |

### 5.20. Essai relatif à la norme NF-EN 1097-7

La réalisation de cet permet de mesurer la masse volumique du filler.

Tableau 23 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 1097-7.

| Application | Caractéristique mesurée          | Masse nécessaire pour l'essai |
|-------------|----------------------------------|-------------------------------|
| NF EN 13043 | Fillers réelle – masse volumique | 50 g                          |

### 5.21. Essai relatif à la norme NF-EN 13179-1

La réalisation de cet essai concerne les fillers utilisés pour les mélanges bitumineux.

Tableau 24 - Essai de caractérisation encadré par la norme NF EN 13179-1.

| Application | Caractéristique mesurée   | Masse nécessaire pour l'essai |
|-------------|---|-------------------------------|
| NF EN 13043 | Fillers – delta température bille-anneau pour enrobé bitumineux | > ou = à 60 g                 |

### 5.22. Bilan massique selon les applications

Selon les applications et les masses déterminées pour chaque essai et spécifiées précédemment, il est possible d'encadrer la masse de l'échantillon global pour caractériser les matériaux en vue de l'application visée en supposant qu'il est choisi d'effectuer l'ensemble des essais identifiés. Pour des granulats recyclés de taille inférieure à 20 cm la masse de l'échantillon global est proche du minimum de l'intervalle donné dans le tableau 25.

Tableau 25 - Taille de l'échantillon global pour effectuer les essais prévus suivant les normes

| Application  | Intervalle de la masse de matériaux (kg) |
|--|--|
| NF EN 12620 :<br>Granulats pour béton  | Entre 278 kg et 412 kg                   |
| NF EN 13055-1 :<br>Granulats légers pour béton et mortier  | Entre 22,5 kg et 145 kg                  |
| NF EN 13042 :<br>Granulats pour matériaux traités au liant hydraulique et matériaux non traités pour travaux de Génie Civil et pour la construction de chaussées | Entre 52 kg et 360 kg                    |
| NF EN 13043 :<br>Granulats pour mélanges hydrocarbonés et enduits superficiels utilisés dans la construction de chaussées  | Entre 58 kg et 315 kg                    |

## 5 Moyens pour le traitement de l'échantillon en laboratoire

L'échantillon soumis à l'analyse doit être une représentation la plus exacte possible du produit. Souvent, l'échantillon prélevé pour le laboratoire pèse quelques kilogrammes et représente un lot de plusieurs tonnes, voir quelques centaines de tonnes. Au final, seuls quelques grammes sont analysés, il faut donc encore diviser de manière équiprobable l'échantillon. Pour obtenir cet échantillon représentatif, il existe :

- les diviseurs à couloirs, permettant de diviser en 2 parties identiques, ou en une quelconque puissance de 2, des solides de quelques centaines de grammes à quelques centaines de kilogrammes.
- les diviseurs tournants,
- les répartiteurs « carrousel », également prévus pour solides secs, qui permettent une division en parties identiques d'échantillon de quelques dizaines de kilogrammes.

### 5.1 DIVISEURS A COULOIRS

Les diviseurs à couloirs permettent de diviser rapidement une charge de produit sec en deux parties égales en poids et identiques en composition. La répétition de l'opération permet de diviser la charge en une quelconque puissance de 2.

Les différents modèles disponibles permettent de traiter des lots de quelques centaines de grammes à quelques centaines de kilogrammes. La granulométrie peut atteindre 30 mm pour le plus gros modèle.



Figure 1 – Schéma d'un diviseur à couloirs.



Figure 2 – Diviseurs à couloirs

Le produit est introduit au milieu de l'appareil, au moyen d'une pelle adaptée. Les deux fractions identiques sont recueillies dans deux bacs rectangulaires.

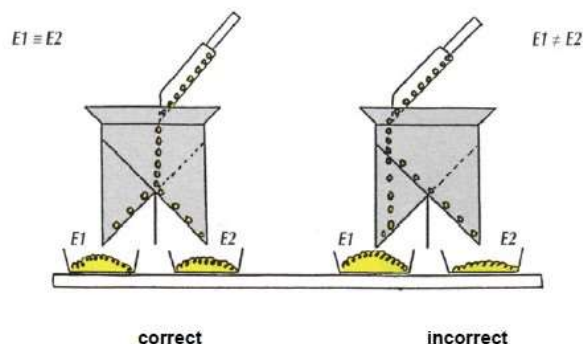


Figure 3 – Schéma de principe du diviseur à couloir [26].

Lorsque le produit n'est pas déversé dans le milieu des couloirs, la hauteur de chute des produits est différente entre les couloirs pairs et les couloirs impairs. Les phénomènes de rebonds peuvent conduire à une division inégale.

En cas de divisions successives (1/2, 1/4, 1/8), l'opérateur reprend alternativement chaque cuvette.

## 5.2 DIVISEURS TOURNANTS

Les diviseurs tournants permettent de diviser un échantillon en 6 ou 12 sous échantillons le plus identiques possible en poids et en composition.



Figure 4 – Diviseur tournant [ Penox engineering].

Le produit à diviser est admis dans la goulotte tournante, dont le volume permet de compenser les variations de débit. Le diviseur tournant doit être horizontal.

## 5.3 REPARTITEURS CARROUSEL

Les répartiteurs carrousel permettent en un seul passage de diviser un solide en plusieurs parties identiques en poids et en composition.

Le produit doit être sec et présenter une granulométrie dans la gamme de l'appareil utilisé.

La masse de produit traité peut atteindre 70 kg si l'appareil est équipé de godets, et de 9 kg s'il est équipé de flacons.



Figure 5 – Répartiteur carrousel [26].

La matière s'écoule par la partie supérieure de l'appareil. La rotation du plateau, permet de présenter successivement chaque godet sous le flux de matière, avec un temps de séjour très court à chaque passage.

## 5.4 DIVISION MANUELLE

Dans la pratique industrielle on utilise couramment le quartage manuel (qui est décrit dans le paragraphe suivant) ou le pelletage alterné.

## 6 Guide du CEREMA « Valorisation des déchets du BTP »

Ce guide a été très récemment publié [1]. Ce document a pour objectif de définir le cadre de la valorisation des déchets du BTP pour la filière de valorisation dans les travaux de Génie Civil, et plus spécifiquement les travaux d'aménagement.

Dans ces annexes, et plus précisément dans l'annexe 3, des préconisations relatives aux procédures d'échantillonnage et de réduction d'échantillon sont présentées.

Ainsi, il est préconisé que « l'échantillon global (> 45 kg) issu des prélèvements unitaires doit être réduit pour transmission au laboratoire afin de fournir à ce dernier la quantité adaptée à la réalisation des essais voulus (détermination de la famille d'appartenance des matériaux produits et réalisation des essais environnementaux), quantité qui est généralement définie dans la norme d'essai correspondante, par exemple :

- détermination de la famille d'appartenance des matériaux produits - NF EN 933-11 [2] : minimum 20 kg pour un  $D_{max}$  de 32 mm ;
- essai de lixiviation - NF EN 12457-2 [6] ou NF EN 12457-4 [7] : minimum 2 kg ;
- analyse des composés organiques : minimum 0,5 kg.

Après homogénéisation à la pelle de l'échantillon global, plusieurs méthodes de réduction de l'échantillon global sont possibles :

- la plus utilisée et la plus fiable en laboratoire est l'emploi d'un diviseur à couloir : l'échantillon global est inséré en haut du diviseur et séparé en deux fractions gales en passant dans les couloirs. L'opération est répétée jusqu'à obtenir un échantillon de quantité adaptée selon les essais à réaliser (cf. ci-dessus) pour envoi au laboratoire pratiquant les essais environnementaux ;

Toutefois, pour l'analyse des HAP des matériaux de la famille « ENROBÉ » ou ceux de la famille « MIXTE » comportant une proportion significative d'enrobés, des travaux d'échantillonnage et de caractérisation permettent de préconiser de poursuivre cette opération de réduction sur une fraction de 2 kg, préalablement concassée à 0-10 mm, jusqu'à obtenir une quantité de 50 g qui sera envoyée au laboratoire et soumise à essai dans son intégralité (i.e. sans prélèvement d'une prise d'essai dans ces 50 g).

- par quartage, généralement sur site à proximité du stock échantillonné : faire un tas avec les échantillons (le tas est mélangé au moins 3 fois), couper en 4 quarts, regrouper 2 quarts opposés et recommencer jusqu'à obtenir un échantillon environ de quantité adaptée selon les essais à réaliser (cf. ci-dessus) pour envoi au laboratoire pratiquant les essais environnementaux. »

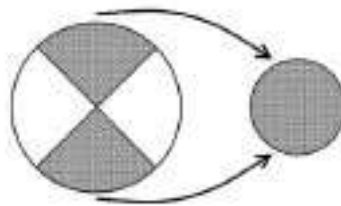


Figure 6 - Quartage

Figure 6 – Méthode du quartage (guide du cerema).

---

## 7 Conclusion

À partir des applications visées, un inventaire des besoins réglementaires pour chacune de ces applications est dressé. Cela a permis de déterminer un encadrement de la masse globale de l'échantillon.

Après un inventaire basé sur les exigences normatives, les essais ont été recensés et ainsi une masse d'échantillon a été déterminée. Ainsi, si l'exigence est de réaliser tous les essais pour caractériser exhaustivement (selon les normes) les matériaux ciblés, nous pouvons signaler que selon les applications, l'encadrement de la masse de l'échantillon à prélever est le suivant :

- Granulats pour béton : **Entre 277,87 kg et 412,37 kg ;**
- Granulats légers pour béton et mortier : **Entre 22,25 kg et 144,45 kg ;**
- Granulats pour matériaux traités au liant hydraulique et matériaux non traités pour travaux de Génie Civil et pour la construction de chaussées : **Entre 52 kg et 360,2 kg ;**
- Granulats pour mélanges hydrocarbonés et enduits superficiels utilisés dans la construction de chaussées : **Entre 58,26 kg et 314,46 kg.**

En parallèle, le guide du CEREMA [1] propose une masse minimale de 50 kg afin de caractériser les matériaux à recycler. Au regard des exigences réglementaires, cette masse de 50 kg est peut-être à modérer dans son utilisation.

Enfin, un inventaire non-exhaustif concernant les techniques de séparation de l'échantillon est donné.



---

## 8 Références

- [1] Guide CEREMA – Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière Les matériaux de déconstruction issus du BTP, 2016, 43 p.
- [2] NF P 18 545 : Granulats – Éléments de définition, conformité et codification
- [3] NF EN 12620 : Granulats pour béton
- [4] NF EN 13055-1 : Granulats légers – Partie 1 : granulats légers pour béton et mortiers
- [5] NF EN 13242 : Granulats pour matériaux traits aux liants hydrauliques et matériaux non traits utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées
- [6] NF EN 13043 : Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction de chaussées, aérodromes et d'autres zones de circulation
- [7] NF EN 933-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage
- [8] NF EN 933-3 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 3 : détermination de la forme des granulats – Coefficient d'aplatissement
- [9] NF EN 933-7 : Essais pour déterminer les propriétés géométriques des granulats – Partie 7 : détermination de la teneur en éléments coquillers – Pourcentage des coquilles dans les gravillons
- [10] NF EN 933-8 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats-Partie 8 : évaluation des fines – équivalent de sable
- [11] NF EN 933-9 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 9 : qualification des fines – essai au bleu de méthylène
- [12] NF EN 933-10 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 10 : détermination des fines – granularité des fillers (tamisage par jet d'air)
- [13] NF EN 933-11 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 11 : Essai de classification des constituants de gravillons recyclés
- [14] NF EN 1097-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 1 : détermination de la résistance à l'usure (micro-Deval)
- [15] NF EN 1097-2 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques de granulats – Partie 2 : méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation
- [16] NF EN 1097-6 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 6 : détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau
- [17] NF EN 1097-8 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 8 : détermination du coefficient de polissage accéléré
- [18] NF EN 1367-1 : Essais de détermination des propriétés thermiques et de l'altérabilité des granulats – Partie 1 : détermination de la résistance au gel-dégel
- [19] NF EN 1744-1 : Essais visant à déterminer les propriétés chimiques des granulats – Partie 1 : analyse chimique
- [20] NF EN 1744-5 : Essais pour déterminer les propriétés chimiques des granulats – Partie 5 : détermination des sels chlorures solubles dans l'acide
- [21] NF EN 1097-3 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 3 : méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter-granulaire
- [22] NF EN 1097-5 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 5 : détermination de la teneur en eau par séchage en étuve ventilée
- [23] NF EN 1097-4 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 4 : détermination de la porosité du filler sec compacté
- [24] NF EN 1097-7 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques

- 
- des granulats – Partie 7 : détermination de la masse volumique absolue du filler –  
Méthode au pycnomètre
- [25] NF EN 13179-1 : Essais sur les fillers utilisés dans les mélanges bitumineux – Partie 1 :  
essai bille-anneau
- [26] Penox engineering – brochure commerciale, 2008, 23 p.