

BETON DE DEMOLITION

Mise à jour de la version : novembre 2013

1	Définitions	1
2	Lois, normes, guides	1
3	Origine, Elaboration, Stockage	4
4	Caractéristiques Physico-chimiques	8
5	Caractéristiques géotechniques	10
6	Caractéristiques environnementales	11
7	Aspects sanitaires.....	12
8	Utilisation dans les infrastructures routières.....	13
9	Bibliographie	15
10	Auteurs et relecteurs	19

1 Définitions

Le point central de ce document traite des granulats recyclés issus des bétons de démolition. .

Les bétons de démolition relèvent du code 17 01 01 de la classification des déchets (annexe II de l'article R541-8 du code de l'environnement), et sont des «déchets inertes » vis à vis de la mise en décharge (arrêté du 28 octobre 2010).

Les chantiers de construction et de démolition du BTP génèrent une grande diversité de déchets. Alors que certains d'entre eux, en particulier les bétons de démolition, pourraient être recyclés après tri et/ou traitement particulier dans la construction d'infrastructures routières. La Directive européenne 2008/98/CE impose d'atteindre l'objectif de 70% en poids pour la préparation à la réutilisation, au recyclage et autres formes de valorisation matière des déchets non dangereux de construction et de démolition (...) d'ici 2020.

Après traitement approprié, ces produits peuvent être assimilés, en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques et de fabrication, à des matériaux de précriblage, graves non calibrées, graves 0/D, sable, gravillons ou cailloux. Ils peuvent alors être utilisés pour les terrassements routiers et dans les couches de chaussées. En France, les normes sur les granulats recyclés sont très contraignantes. En classant les granulats recyclés dans des classes médiocres (C à E), les normes limitent énormément l'utilisation des granulats recyclés dans du béton de structure.

Les matériaux « recyclés tout venant » obtenus à partir de divers matériaux criblables et/ou concassables (déblais, briques, tuiles, ...) et les matériaux bitumineux ne relèvent pas de cette fiche.

2 Lois, normes, guides

2.1 Réglementation

Elaboration des granulats de béton recyclés - ICPE:

- [Arrêté du 26 novembre 2012](#) relatif aux prescriptions générales applicables Aux installations classées pour la protection de l'Environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2515 : «broyage, concassage, criblage, ensachage, pulvérisation, nettoyage, tamisage, mélange de pierres, cailloux, minerais et autres produits minéraux naturels ou artificiels

» (JO du 28 novembre 2012) rubrique 2517, 2012

- [Arrêté du 6 juillet 2011](#) relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2517. « station de transit de produits minéraux solides, à l'exclusion de ceux visés par d'autres rubriques» ([JO du 30 juillet 1997 BO du 25 août 1997](#)).

2.2 Normes

Les granulats issus de bétons recyclés sont utilisés dans les infrastructures routières pour constituer des remblais, des couches de forme, et en tant que constituants de matériaux pour couches de chaussées.

- NF P 11-300 : La norme NF P 11-300 définit une classification des matériaux utilisables en remblais et couches de forme. Elle introduit les sous-produits industriels ; les matériaux de démolition sont classés dans la famille F7. Vis-à-vis de leur réemploi, les paramètres à considérer sont la qualité du déferrailage et de l'homogénéisation, la présence d'éléments indésirables (plâtre, bois ...), et la granulométrie. Les usages techniques des « bétons recyclés » dans les terrassements routiers (voir § 6 : « caractéristiques géotechniques » et § 7 « utilisation dans les infrastructures routières ») se font en les assimilant à des matériaux naturels, et ce en appliquant les classifications données dans la norme et les recommandations données dans le guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme GTR, SETRA-LCPC, 2000 2nd édition.

- NF P 18-545 : La norme NF P 18-545 établit une définition des granulats et donne des classes de spécification et de conformité pour les principaux usages, en particulier pour les matériaux routiers. Elle introduit les granulats recyclés dans la définition. Dans la partie de la norme NF P 18 545 traitant des granulats pour couches de chaussée, des classes spécifiques sont définies pour les matériaux recyclés, fondées sur la teneur en sulfates. Pour les autres caractéristiques, les matériaux recyclés suivent le même classement que les granulats naturels.

- NF EN 13242 : Depuis mars 2008, dans la norme NF EN 13242 a été ajouté un amendement définissant les essais et les catégories spécifiques à ce type de matériau lorsqu'ils sont utilisés en tant que granulats pour graves traitées ou non-traitées. Dans le cadre de la révision et de l'homologation, ces caractéristiques complémentaires ont été ajoutées à l'article 7 de la norme NF P 18 545.

- NF EN 933 -11 : Cette norme de 2009 intitulée « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats » renvoie dans la Partie 11 aux essais de classification des constituants de granulats recyclés

La classification des constituants des granulats recyclés [NF EN 933-11, 2009] permet de classer les constituants principaux (béton, granulats non liés, briques, ...) et les polluants (bois, verre, plastique, ...) en fonction de leur pourcentage en masse. Pour les éléments légers (flottants), ceux-ci sont mesurés en volume (cm³/kg). Cette norme vient en remplacement de la classification pétrographique des granulats naturels [Gentilini, 2009].

- NF EN 1744-1 à -5 : La teneur en sulfates solubles dans l'eau [NF EN 1744-1, 2010] a été développée dans l'article 10.2 de cette norme, sur la base d'un essai français préexistant. Elle permet de déterminer la présence de plâtre dans les granulats recyclés.

La teneur en chlorures solubles dans l'acide [NF EN 1744-5, 2007] permet de prendre en compte les chlorures présents en surface du granulat recyclé et ceux présents dans la phase mortier du granulat recyclé.

2.3 Textes de spécification technique

Des expertises locales se sont développées à partir d'expériences, d'études en laboratoire et de chantiers expérimentaux. Elles permettent un usage qui tient compte des particularités de comportement géotechnique des matériaux issus du recyclage, et de l'adaptation nécessaire de réglementations et de recommandations techniques établies au départ pour des matériaux naturels. Des documents régionaux capitalisent ces travaux :

- « Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-De-France : les bétons et produits de démolition recyclés », décembre 2003, 1^{ère} révision.
- Monographie intitulée « Utilisation des matériaux de Haute-Normandie : Sous produits industriels et matériaux divers », mars 2000.
- « Guide technique pour l'utilisation des graves de recyclage de la région Rhône Alpes », novembre 2004.
- « Guide technique pour l'utilisation des matériaux alternatifs de Bourgogne : Les graves de recyclage issues de la déconstruction du BTP »,
 - Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière. Evaluation environnementale. SETRA, mars 2011, 32p.
 - Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière. Les matériaux de déconstruction. SETRA, à paraître en 2014.

Le premier document décrit le contexte des matériaux issus de bétons recyclés en Ile de France dont la provenance et l'élaboration. Il introduit une classification fondée sur les caractéristiques géotechniques. Pour ces classes de produit, il propose des

utilisations pour les travaux de construction de chaussée, tout en précisant les particularités d'emploi.

Le deuxième document traite de sous-produits industriels et de matériaux divers pouvant se substituer aux granulats naturels dans la construction routière ou le génie civil. Un chapitre est cependant consacré aux « Matériaux de démolition recyclés » et entre donc dans le cadre de la présente rubrique. Ce dernier récapitule leur origine, la réglementation, les gisements, les caractéristiques géotechniques et physico-chimiques ; il envisage aussi des utilisations pour les terrassements, les chaussées et le remblayage de tranchées, tout en rappelant les méthodologies d'études.

Le troisième document traite des graves recyclées de démolition et des mâchefers. Trois catégories de graves recyclées de démolition sont distinguées : les graves recyclées béton, les graves recyclées enrobés et les graves recyclées mixte. Pour les graves recyclées béton et mixte, leurs principales caractéristiques géotechniques et les utilisations possibles en Terrassements et Chaussées sont décrites.

Le quatrième document est présenté dans le menu généralités du site en lien avec l'évolution du contexte d'emploi des matériaux alternatifs en travaux publics. Enfin le dernier est présenté au chapitre 6.

3 Origine, Elaboration, Stockage

3.1 Composition du béton classique :

La part en volume des constituants pour un mètre cube de béton courant est présenté dans le tableau 1. Pourtant, les bétons utilisés dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprennent plusieurs catégories et les pourcentages de chaque constituant peuvent varier selon le type de béton. En général le béton peut être classé en trois groupes (AFNOR, 2004) selon sa masse volumique ρ :

- béton normal : ρ entre 2 000 et 2 600 kg/m³
- béton lourd : $\rho > 2600$ kg/m³
- béton léger : ρ entre 800 et 2 000 kg/m³

Constituants	Pourcentage (en volume)	Mode de transport
liants	7-15	Camion
granulats	30-48	Camion/train/bateau
sable	22-32	Camion/train/bateau
eau	14-19	Réseau de distribution (pas de transport comptabilisé)
adjuvants	1	Camion

Tableau 1 : La participation en volume des constituants pour un mètre cube de béton courant (Nb l'air est emprisonné à raison de 2 à 6 % en volume)

Les différents dosages de constituants dans une formule de béton changent le comportement mécanique d'un béton mais aussi le mode de transport des constituants. Un béton qui contient une grande quantité de matériaux lourds va augmenter éventuellement les coûts économiques et les impacts environnementaux notamment sur le transport des ressources.

Certains déchets comme les laitiers de haut fourneau et les fumées de silice sont recyclés dans le béton dans le but de réduire les pressions sur l'environnement et/ou d'améliorer son comportement mécanique. Leurs dosages dans la formule sont décrits dans la norme NF EN 206 qui traduit également un usage normalisé.

3.2 Les provenances du béton

Il est important de distinguer les différentes applications du béton dans le secteur de la construction : habitat, routes et ouvrages d'art puisque les constituants du béton et sa façon de le produire ne sont pas identiques. Bien entendu, les impacts environnementaux ne sont donc pas les mêmes selon l'application envisagée.

- béton de bâtiment

Le secteur de bâtiment où les bétons sont largement utilisés comme les matériaux de base représente 65% des consommations totales des ciments français en 2007. Le type de béton le plus employé dans ce secteur a une résistance mécanique de 25-30MPa. Leur durée de vie est estimée à 50 ans soit moins que pour les autres secteurs.

- béton d'ouvrage d'art

Dans le secteur des ouvrages d'art, les ponts routiers, autoroutiers et ferroviaires sont les types d'ouvrages d'art les plus construits. Les produits structuraux préfabriqués en béton sont régulièrement utilisés pour la réalisation de tous types de ponts. La construction de ponts représente 8% des ciments français consommés en 2007.

Ces trois applications du béton ont des problématiques environnementales communes associées à la production des constituants mais aussi différentes du fait des constituants spécifiques utilisés, de l'environnement dans lequel les bétons se situent et de l'élimination en fin de vie du béton.

- béton routier

La France est traversée par 1 079 072 km de routes contre 32 888 km de voies ferrées et 6 700 km de voies fluviales. La surface totale des routes correspond à 1,2 % du territoire métropolitain. Chaque année, 13% de ciments sont consommés pour la construction des routes et l'union nationale des producteurs de granulats estime que 200 Mt de granulats naturels, provenant de l'extraction réglementée de gisements essentiellement locaux, sont consommées par les routes, sur les 400 Mt produits en France.

3.3 Processus d'élaboration

La valorisation des bétons et matériaux de chaussées dans la construction d'infrastructure routière implique qu'une sélection et un tri soient effectués afin d'éliminer les éléments indésirables, qui nuiraient aux caractéristiques géotechniques du matériau de recyclage. Ils peuvent être réalisés directement sur le site de démolition, ou après acheminement des matériaux vers des plates-formes de regroupement et de tri. Les procédures de tri reposent essentiellement sur des analyses visuelles en amont du process mécanisé de concassage/criblage.

Pour le traitement préalable à une utilisation, deux types de dispositions sont pratiqués :

- Soit les matériaux sont orientés vers des installations de recyclage. Ces dernières sont dotées de postes fixes permettant de traiter les déchets de démolition. En général, grâce à une gestion appropriée des stocks de matériaux « bruts », ces installations produisent des matériaux dont les caractéristiques sont assez constantes dans le temps. Leur capacité est généralement comprise entre 70 000 et 500 000 tonnes par an;
- Soit un poste mobile est acheminé et installé sur la plate-forme de regroupement, voire directement sur le chantier de démolition. Les caractéristiques des productions sont alors fonction des gisements. En général ces postes sont de moindre capacité, environ 70 000 tonnes par an.

Parfois les postes mobiles sont utilisés directement à proximité du gisement.

Cinq étapes majeures permettent d'élaborer des granulats recyclés :

- Une sélection (ou tri) visuelle du lot. Cette sélection peut intervenir sur le site de démolition, ou à l'arrivée sur les plates-formes de regroupement ou de recyclage. Elle consiste à refuser les lots jugés trop riches en éléments indésirables : bois, plâtre, brique, isolant, papier, déblais terreux... La sélection est primordiale pour obtenir des matériaux recyclés homogènes et propres à des emplois dans la route.
- Une réduction primaire au brise roche pour réduire les plus gros éléments et extraire mécaniquement le ferrailage. Au cours de cette phase, un contrôle visuel des matériaux, et un second tri peuvent être opérés.
 - Un scalpage
 - Un concassage primaire avec des concasseurs à mâchoires ou à percussion, afin de réduire les gros éléments et d'obtenir ainsi des matériaux dont la taille n'excède pas 100 à 150 mm. Le système d'alimentation peut être équipé d'un scalpeur afin d'éliminer la fraction fine. Le type de concasseur influe sur la granularité du produit en sortie. Si les concasseurs à mâchoires permettent de traiter des blocs volumineux, la réduction de la granularité est plus faible qu'avec un concasseur à percussion.
 - Un déferrailage par un séparateur électromagnétique, le plus souvent de type « overband »;
 - Un criblage et un tri manuel pour éliminer les impuretés résiduelles (NB : le tri hydraulique tend à se développer pour éliminer les éléments légers).

Ces opérations s'accompagnent éventuellement d'un concassage secondaire sur la fraction supérieure issue du concassage primaire afin de réduire la granularité du matériau – en particulier en cas d'utilisation d'un concasseur primaire à mâchoires - et plus rarement un traitement par des dispositifs d'épuration afin d'éliminer les impuretés légères (lavage, tables densimétriques, ...).

Les produits issus de ces traitements (Figure 1) peuvent être assimilés, en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques et de fabrication, à des matériaux de précriblage, graves non calibrées, graves 0/D, sable, gravillons ou cailloux. Ils peuvent alors être utilisés pour les terrassements routiers et dans les couches de chaussées.



Les matériaux en production

Figure 1 : Matériaux en production (source :Yprema).

Une des limitations en matière de réemploi résulte des faits suivants :

- Les procédés de démolition génèrent en général des déchets en mélange donc hétérogènes.
- Le recyclage impose des contraintes de tri et de collecte.
- Les gisements sont dispersés ce qui induit un coût de transport entre les bassins de production et les bassins d'emploi.

Les pratiques actuelles de sélection et de valorisation amènent à traiter à part :

- Les bétons de démolition de bâtiments ou d'ouvrages d'art ;
- Les matériaux issus de démolition de couches de chaussée en grave non traitée en matériaux traités aux liants hydrauliques et enrobés ;
- Dans certaines régions, les sols sous chaussée et les déblais de tranchées présentant de bonnes caractéristiques de propreté, qui permettent de les introduire dans les mêmes circuits de recyclage.

3.4 Stockage :

Les principaux rejets en lien avec le stockage sont liées aux poussières et à l'eau.

Concernant les poussières,

Les rubriques 2515 et 2517 prévoient à ce jour que :

- Les stockages extérieurs doivent être protégés des vents en mettant en place des écrans, chaque fois que nécessaire, ou être stabilisés pour éviter les émissions et les envols de poussière. En cas d'impossibilité de les stabiliser, ils doivent être réalisés sous abri ou en silo,
- Les fillers (éléments fins inférieurs à 80 µm) doivent être confinés (sachets, récipients, silos, bâtiments fermés),
- Les voies de circulation et aires de stationnement des véhicules sont (...) convenablement nettoyées de manière à prévenir les envols de poussières,
- Les véhicules sortant de l'installation n'entraînent pas de dépôt de poussière ou de boue sur les voies de circulation.

L'arrêté du 26 novembre 2012 renforce ces dispositions et prévoit de surveiller la qualité de l'air ou les retombées de poussières et de décrire le dispositif de mesure dans le dossier de demande d'enregistrement. De plus, une valeur limite d'émission de poussières canalisées est fixée à 40 mg/m³. Dans le cas des émissions diffuses, un réseau de plaquettes permettant la mesure des retombées de poussières dans l'environnement est mis en place en périphérie de l'installation mais aucune limite n'est fixée.

Concernant l'eau,

Seule la rubrique 2515 fixe des prescriptions sur les rejets d'eau résiduaires en fonction du milieu dans lequel elles sont rejetées (milieu naturel, réseau d'assainissement collectif, ...). Les limitations portent sur le pH (entre 5,5 et 9,5), les matières en suspension (inférieures à 500 mg/l voire 100 mg/l, la température (< 30 °C) et les hydrocarbures totaux (< 10 mg/l). Les rejets en nappe sont interdits (2515, 1997).

Dans l'arrêté du 26 novembre 2012, rubrique 2515, les limitations restent valides pour la température mais le pH est limité à la zone 5,5-8,5 sauf en cas de neutralisation alcaline, ce qui est susceptible de poser problème aux installations de granulats recyclés. De plus, le seuil de MES pouvant être rejetées dans le milieu naturel devrait être limité à 35 mg/l.

4 Caractéristiques Physico-chimiques

Etant donné leur origine, les granulats de bétons recyclés sont considérés comme des granulats artificiels. Ils sont essentiellement composés de granulats naturels, de pâte de ciment durcie ou de liants hydratés.

o **Les granulats naturels** proviennent de deux sources, les carrières de roches massives, les gisements alluvionnaires et ceci à partir de trois natures de roches :

- éruptives : granites, basaltes porphyres
- sédimentaires : calcaires, grès, quartzites
- métamorphiques : gneiss, amphibolites.

Les compositions chimiques font apparaître 3 familles :

- les roches calcaires composées presque uniquement de carbonate de calcium (CaCO_3)
- les roches siliceuses formées principalement de quartz (SiO_2) et d'aluminosilicates.
- les roches silico-calcaires qui se rapprochent selon leur teneur en calcaire de l'une ou l'autre des familles précédentes.

o **La pâte de ciment durcie** : c'est le liant des bétons d'ouvrage de génie civil et de bâtiment, des chaussées en béton, des couches de chaussées en grave ciment. Les ciments normalisés (NF EN 197-1) utilisés sont des mélanges associant principalement et dans des proportions variables du clinker broyé après addition de gypse, et des ajouts de charges minérales. Parmi celles-ci, on trouve des cendres volantes, des fumées de silices, des pouzzolanes naturelles, des fillers calcaires, voire d'autres fillers minéraux. Les ciments peuvent aussi contenir des schistes calcinés, du sulfate de calcium et des additifs.

Le clinker est un mélange de silicates et d'aluminate de calcium résultant de la combinaison de la chaux CaO avec la silice SiO_2 , des oxydes d'aluminium Al_2O_3 , et de fer Fe_2O_3 . Sont présents également, mais en moindre quantité, les éléments suivants : MgO , SO_3 , K_2O , Na_2O , TiO_2 .

o **Les liants hydratés**, parmi ceux utilisés habituellement pour les couches de chaussées : liants routiers, laitiers pré-broyés, plus rarement et dans certaines régions cendres volantes siliceuses ou calciques, et pouzzolanes.

Au cours de la fabrication des bétons, des adjuvants sont ajoutés afin de faciliter leur mise en œuvre ou améliorer le comportement à long terme. Certains de ces adjuvants demeurent dans les granulats de béton concassé. Par ailleurs, les bétons peuvent contenir des granulats et des sables susceptibles de générer des phénomènes d'alcali réaction. ;

4.1 Les impuretés potentielles

Deux provenances peuvent être identifiées pour ces impuretés : celles issues de la déconstruction à proprement parler et celles issues de la matière première constitutive du béton du fait des matières utilisées (déchets, co-produits, autres) pour sa constitution ou sa formulation.

Ainsi les bétons et matériaux de chaussée recyclés peuvent être « contaminés » par des éléments provenant essentiellement du milieu environnant l'ouvrage dont ils sont issus. Les matériaux recyclés provenant de bâtiments peuvent présenter des pollutions issues des parements du béton : plâtre, peinture, papier peint..., et du milieu environnant le bâtiment dont ils proviennent : produits fabriqués ou stockés dans le bâtiment, terre, sols, d'où l'intérêt du tri.

Les sulfates provenant du plâtre en mélange dans les matériaux recyclés sont particulièrement préjudiciables. Des teneurs élevées empêchent leur utilisation en technique routière, car les sulfates peuvent engendrer des gonflements par formation d'ettringite, entraînant ainsi la dégradation prématurée de la chaussée. La teneur en sulfate est mesurée conformément à la norme XP P 18 581 ; le seuil minimum retenu dans le guide technique d'Ile de France est de 0,7 % pour l'utilisation en couche de forme ou en couche de chaussée, ce qui correspond au code SSb selon la norme NF P 18-545. Ce seuil est réduit à 0,2% (code Ssa) en cas d'emploi sous dallage de bâtiment.

Les matériaux issus de démolition de chaussée peuvent être aussi « contaminés » par les sols d'accotement ou de support, et par des ions chlorures provenant des sels de déverglaçage.

5 Caractéristiques géotechniques

Les différentes productions issues du recyclage des bétons et des matériaux de chaussée (naturels ou traités aux liants hydrauliques) sont fonction de la gestion des matériaux bruts, et du mode d'élaboration, en particulier du concassage. Elles peuvent être classées en cinq catégories vis-à-vis de leur emploi possible en technique routière et selon leur granularité :

- matériaux de pré-criblage et grave non calibrée ;
- grave 0/D avec $6,3 \text{ mm} < D \leq 31,5 \text{ mm}$;
- sable 0/D avec $1 \text{ mm} < D \leq 6,3 \text{ mm}$;
- gravillons d/D avec $d \geq 1 \text{ mm}$ et $D \leq 125 \text{ mm}$.

5.1 Caractéristiques intrinsèques.

Les caractéristiques intrinsèques de ces matériaux recyclés sont fonction de la qualité du tri et de la nature des constituants et comprises en général dans les fourchettes suivantes :

- résistance à la fragmentation, LA compris entre 25 et 50,
- résistance à l'attrition, MDE compris entre 15 et 50, conduisant à des codes C, D ou E de l'article 7 de la norme NF P 18 545.

Pour des utilisations plus ciblées des graves, un aménagement des classements a été introduit dans le guide technique Ile de France. C'est la classe E+, pour laquelle les trois conditions suivantes doivent être vérifiées :

- $LA \leq 40$
- $MDE \leq 35$
- $LA + MDE \leq 65$.

Les graves relevant de ce classement ont des domaines d'emploi étendus, par rapport aux matériaux de code E. En particulier, elles sont utilisées dans des couches de chaussées sous des trafics plus lourds.

- résistance au gel/dégel suivant NF EN 1367-1 : catégories F2, F4 à F déclaré
- friabilité des sables de 15 à 40 %
- absorption d'eau suivant NF EN 1097-6 : $WA_{24} = 2\%$ à 10% selon la nature des constituants

5.2 Caractéristiques de fabrication.

Les caractéristiques de fabrication des matériaux issus de démolition sont variables, essentiellement du fait de leur mode d'élaboration, en particulier du concassage ; et leur classement se fait en référence aux normes NF P 11 300 pour l'utilisation en terrassement, NF P 18 545 pour l'utilisation en couche de chaussée.

*matériaux de pré-criblage et graves non calibrées (cf Classement selon la norme NF P 11 300)

Les matériaux de pré-criblage et les graves non calibrées sont utilisés uniquement dans les terrassements. Leurs caractéristiques correspondent aux valeurs suivantes :

- le Dmax est variable et peut être supérieur à 50mm;
- le passant à 80 µm est en général inférieur à 12 %, et celui à 2 mm inférieur à 70 %;
- la propreté, caractérisée par la valeur au bleu VBS est variable. Aussi, pour le réemploi ces matériaux, trois classes sont introduites :
 - VBS ≤ 0,1
 - 0,1 < VBS ≤ 0,2
 - VBS > 0,2,

Les caractéristiques de ces matériaux conduisent aux classes D21, D31, B31, C1B31, C2B31, B41, C1B41, C2B42 définies par le Guide pour les Terrassements Routiers et la norme NF P 11 300.

*sables, graves et gravillons (cf Classement selon la norme NF P 18 545)

Les sables, graves et gravillons sont utilisés dans les couches de chaussées. Leurs caractéristiques et leurs classements sont les suivants :

- code III ou IV pour les gravillons
- code b ou c pour les sables

6 Caractéristiques environnementales

6.1 Effets sur les éco-systèmes

Nous n'avons pas obtenu de données publiques existantes à ce jour sur ce volet.

6.2 Acceptabilité environnementale

Par le passé, différentes études ont été menées afin de caractériser le comportement à la lixiviation de différents types de déchets de démolition, dont majoritairement des bétons. Au niveau français, les principales études documentées ont été menées au cours des années 90-2000 sur des déchets prélevés directement sur chantier :

- Des études anciennes réalisées par l'INSA pour l'ADEME en 1991-1993 et une étude BRGM - DRIRE Nord-Pas-de-Calais (Richer, 2001),
- études ont été réalisées à la demande de l'ADEME par l'INERIS (Pépin, 2001 et Domas, 2003) et INSAVALOR division POLDEN (Abdelghafour et Méhu, 2001).

Les résultats principaux en sont les suivants :

- le pH des éluats était compris entre 7 et 12 et dépend notamment de la quantité de pâte de ciment qui le compose et de son taux de carbonatation. En effet, ce matériau

est constitué de silicate d'aluminium et de calcium hydratés, qui vont lui conférer un caractère alcalin. En cas de contact avec l'air, la carbonatation de la chaux résiduelle va faire baisser ce pH au cours du temps ;

- le relargage en sulfates était très variable. Pour la valorisation dans les techniques routières, le seuil géotechnique limite supérieur a été fixé à 0,7%(essai selon la norme NF EN 1744-1). Ce seuil correspond à la classification SSb selon la norme NF P 18-545

- des quantités de métaux relarguées globalement faibles, exceptés pour certains échantillons (chrome voire plomb et zinc en cas de présence de peinture au plomb).

- Ces résultats sont globalement corroborés par ceux des études internationales (Wahlstrom, 2000 Mroueh, 2001, Marion, 2005, Roussat, 2008, Engelsen, 2010, Sorlini, 2011, Galvin, 2012, Meve Basar, 2012, Leiva, 2013).

Plus récemment, 2 études de caractérisation de matériaux ont été réalisées en 2010 et 2011 (FNTP, 2010 et FNTP, 2011) dans le cadre de l'élaboration du guide d'application aux matériaux de déconstruction du BTP du guide SETRA « Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière » (cf. rubrique « aspects environnementaux »). Ces études ont permis de déterminer les caractéristiques de relargage et de contenu en certains composés organiques des bétons de démolition, des agrégats d'enrobés et des matériaux mixtes et d'en dériver le référentiel environnemental de contrôle de routine de ces matériaux recyclés en technique routière. Ce guide d'application sera publié début 2014. Les méthodes d'essais du guide SETRA sont équivalentes à celles actuellement développée dans le cadre du CEN TC 351. Le TC 351 traite pour l'ensemble des produits de construction de l'évaluation des émissions de substances dangereuses. Parmi les types d'émissions traitées par le TC 351 on trouve les émissions dans le sol et l'eau par les produits de construction et les émissions dans l'air ambiant. Ces aspects ne couvrent le produit qu'à partir de sa mise en œuvre et sont liés à des scénarios d'utilisation.

Une harmonisation sera opérée avec le guide SETRA lors de la publication des normes du TC 351 (horizon 2015-16).

6.3 Condition de fabrication et de mise en œuvre

Aucune donnée n'a été collectée à ce sujet

6.4 Suivi environnemental

Aucune donnée n'a été collectée à ce sujet en ce qui concerne des ouvrages faisant l'objet d'un suivi in situ tandis que les caractéristiques environnementales sont largement étudiées en laboratoire (§7.2).

7 Aspects sanitaires

S'agissant de matériaux issus de produits initialement présents dans les infrastructures routières et de bâtiments, qui ne subissent pas de traitements autres que mécanique (pas de traitement chimique), les seuls risques sanitaires se situent :

- au niveau du stockage, avant et après traitement, puisque les matériaux sont davantage exposés au lessivage par les eaux de pluie,

-au niveau de la fabrication et de la préparation puisque les actions mécaniques de concassage et de criblage engendrent des fines et poussières.

Les risques liés à l'amiante sont a priori très limité. En effet, lors des opérations de démolition de bâtiment, ces dernières sont précédées d'un diagnostic préalable « amiante » et en cas de présence, un plan de retrait est défini et appliqué, impliquant un contrôle post démolition. Toutefois, dans le cas de la présence de résidus de colles amiantées sur des dalles béton (suite au retrait de dalles vinyl-amiante collées), la valorisation de ces dalles est interdite (http://www.travailler-mieux.gouv.fr/IMG/pdf/fiches_DGTamiante_v1102.pdf).

Pour plus d'informations, il est utile de se reporter au menu du présent site généralités/ Aspects sanitaires, plus précisément au paragraphe qui traite des « cas particulier des risques professionnels ».

8 Utilisation dans les infrastructures routières

8.1 Domaine d'emploi des bétons recyclés

Pour la construction d'infrastructures routières, les domaines d'emploi des matériaux issus du recyclage des bétons et des matériaux de chaussées sont nombreux : en remblais, en couche de forme, en masque drainant, en remblais de tranchées et en couches d'assises de chaussées (Figure 2).



Vue de la chaussée-réservoir

Figure 2 : Exemple de réalisation d'une chaussée réservoir.

A la fin des années 70 et au début des années 80, des bétons recyclés ont été utilisés à titre expérimental dans des bétons de chaussées routières et aéroportuaires en région parisienne, à la fois pour des couches de fondation et des couches de surface. Il est apparu que les absorptions d'eau élevées (selon la norme NF P 18 545) rendent difficile la maîtrise de la consistance du béton à la fabrication; à ces difficultés s'ajoute également la faiblesse du marché des chaussées en béton en France.

8.2 Textes régissant les conditions d'utilisation.

Leur emploi est résumé dans le tableau 6 ci-dessous.

TYPES D'UTILISATION	PARTICULARITES (par rapport à des matériaux naturels)	Types de matériaux		
		Matériaux de pré-criblage et grave non calibrée	Grave 0/D	Sable 0/D ou gravillons d/D
Remblais : classes de sol selon NF P 11 300.	Si teneurs en sulfates solubles (selon NF EN 1744-1 art 10.2) > 0,7% : - pas de traitement aux LH - pas de contact avec couches traitées ou ouvrages - pas d'utilisation en zone inondable - pas d'emploi en PST	X		
Couche de forme : classes de sol selon NF P 11 300, soit B31, C1B31, C2B31, ou D31	- Elimination de la fraction > 50 mm - Elimination de la fraction fine si VBS > 0,2	X		
Couche de base/fondation non traitée : selon NF EN 13285 + guide d'application des normes concernant les GNT	Si catégorie E+ - utilisation possible en couche de base et de fondation si trafic < ou = T3- - utilisation possible en couche de fondation si trafic < ou = T3+		X	X
Couche de base/fondation traitée aux LH : cf. guide d'application des normes concernant les GTLH	On obtient généralement une grave traitée de catégorie T2 selon NF EN 14227-1 ou 5 (pour les dosages en liant usuels). Si catégorie E+ et grave recomposée à partir de sable 0/d et gravillon d/D : -utilisation possible en couche de base et de fondation si trafic < ou = T2 -utilisation possible en couche de fondation si trafic < ou = T1		X	X

Tableau 6 : textes encadrant l'usage des bétons recyclés dans la route

Selon leurs caractéristiques, ces matériaux sont utilisés dans les remblais, en couche de forme, en couche de fondation et de base, avec ou sans traitement aux liants hydrauliques. Les différents types de production visent les domaines d'emploi suivants :

- matériaux de pré-criblage et grave non calibrée en remblais et en couche de forme ;
- grave 0/D en couche de chaussée traitée ou non aux liants hydrauliques
- sable 0/D et gravillons d/D en recomposition de grave traitée ou non aux liants hydrauliques.

8.3 Mise en œuvre

Par rapport à des granulats naturels, les matériaux issus du recyclage de béton et de couches de chaussée présentent trois particularités, dont il convient de tenir compte lors de leur mise en œuvre :

- Une absorption d'eau plus élevée (de l'ordre de 4 à 5 % en moyenne) due à la présence de pâte de ciment poreuse. Ainsi, pour une utilisation dans des graves traitées aux liants hydrauliques, il conviendra d'humidifier les matériaux recyclés afin de faciliter le compactage et de ne pas nuire à l'efficacité d'un retardateur de prise, parfois nécessaire pour obtenir des délais de maniabilité suffisants;
- Un caractère frottant marqué se traduisant par des difficultés de compactage;
- Une moindre résistance mécanique à la fragmentation et à l'attrition des grains de mortiers de ciment, traduite par des valeurs élevées des coefficients LA (entre 30 et 50) et MDE (entre 15 et 50). Aussi pour éviter des problèmes de farinage en surface de couche compactée, les cylindres vibrants lourds doivent être exclus.

Les bétons formulés avec des granulats recyclés ayant le plus souvent des comportements moins bons, en termes de résistance mécanique ou de durabilité, que les bétons formulés avec des granulats naturels, de nombreux auteurs ont voulu optimiser les formules de béton pour pallier ces déficiences. La façon la plus simple est d'augmenter la quantité de ciment (Karaa, 1986; Levy Salomon et Helene, 2004), ce qui pose d'autres contraintes, des contraintes économiques auxquelles s'ajoutent des contraintes en terme de rejets de CO₂. On peut également optimiser la formulation en ajoutant des particules très fines permettant de combler les pores et d'augmenter ainsi la compacité de l'assemblage granulaire. Ces particules fines peuvent avoir ou non des propriétés pouzzolaniques.

Certaines références concernent principalement les conditions de mise en œuvre des matériaux de démolition (précautions à prendre, ... en s'assurant des contraintes environnementales des sites où les travaux seront entrepris). Cela correspond bien au rôle et au contenu des guides techniques régionaux.

9 Bibliographie

9.1 Publications

Ajdkiewicz, A., Kliszczewicz, A., 2002. "Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC". *Cement and Concrete Composites* 24 (2), 269–279.

Ann, K.Y., Moon, H.Y., Kim, Y.B., Ryou, J., 2008. "Durability of recycled aggregate concrete using pozzolanic materials". *Waste Management* 28 (6), 993–999.

Batayneh, M., Marie, I., Asi, I., 2007. » Use of selected waste materials in concrete

Mixes". Waste Management 27 (12), 1870–1876.

Domingo-Cabo, A., Lázaro, C., López-Gayarre, F., Serrano-López, M.A., Serna, P., Castaño-Tabares, J.O., 2009. "Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete". Construction and Building Materials 23 (7), 2545–2553.

Deng, 2009: A. Deng, "Contaminants in waste foundry sand and its leachate", International journal of environment and pollution, 2009.

Dosho, Y., Kikuchi, M., Narikawha, M., Ohshima, A., Koyama, A., Miura, T., 1998. Application of Recycled Concrete for Structural Concrete – Experimental Study on the Quality of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. ACI Special Publication SP179-61A, pp. 1073–1101.

Engelsen, 2010 : C. J. Engelsen, H .A. van der Sloot, G. Wibetoe, H. Justnes W; lund, E. Stoltenberg-Hansson, "Leaching characterisation and geochemical modelling of minor and trace elements released from recycles concrete aggregates", Cements and Concretes Research , 40, p 1639-1649, 2010.

Galvin, 2012 : A. Galvin, J. Ayuso, J. R. Jimenez, F. Agrela, "comparison of batch leaching tests and influence of pH on the release of metals from construction and demolition wastes, Wastes Management, 32, p 88-95, 2012.

Gómez-Soberón, J.M.V., 2002a. Shrinkage of Concrete with Replacement of Aggregate with Recycled Concrete Aggregate. ACI Special Publication SP209-26, pp. 475–496.

Gómez-Soberón, J.M.V., 2002b. Creep of Concrete with Substitution of Normal Aggregate by Recycled Concrete Aggregate. ACI Special Publication SP209-25, pp. 461–474.

González-Fonteboa, B., Martínez-Abella, F., 2008. Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. Materials and mechanical properties. Building and Environment 43 (4), 429–437.

Hansen, T.C. (Ed.), 1992. Recycling of Demolished Concrete and Masonry. Taylor & Francis, London and New York.

Hansen, T.C., Narud, H., 1983. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. Concrete International – Design and Construction 5 (1), 79–83.

Ji, 2001 : S. Ji, I. Wan, Z. Fan, "the toxic compound and leaching characteristics of spend foundry sands, Water Air and sol pollution, 132, p 347-364, 2001.

Li, X., 2008. Recycling and reuse of waste concrete in China; Part I. Material behavior of recycled aggregate concrete. Resources, Conservation and Recycling 53 (1-2), 36–44.

Leiva, 2013 : C. Leiva, J. Solis-Guzman, M. Marrero, C. Garcia Arenas, « Recycled block with improved sound and fire insulation containing construction and demolition waste », *Waste Management*, 33, p 663- 671, 2013.

Levy, S.M., Helene, P., 2004. "Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development". *Cement and Concrete Research* 34 (11), 1975–1980.

Malesev, M., Radonjanin, V., Marinkovic, S., 2007. "Recycled concrete as aggregate for producing structural concrete". In: Bragança, L., Koukkari, H., Blok, R., Gervasio,

Marinkovic´ a,* , V. Radonjanin b, M. Malešev b, I. Ignjatovic´ Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste management*, 2010.

Marion, 2005 : A. M. Marion, M. De lanève, A. De Graw, "Study of the leaching behaviour of paving concretes : qualification of heavy metal content in leachates issued from tank using demineralized water", *Cements and Concretes Research* , 35, p 951-957, 2005.

Meve Basar, 2012 : H. Meve basar, N. D. Aksoy, "the effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the mechanical

Mroueh, 2001 : U. m. Mroueh, P. Eskola, J. Laine-Ylioki, "Life-cycle impacts of the use of industrial by-products in road and earth construction", 21, p 271-277.

Olorunsogo, F.T., Padayachee, N., 2002. Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes. *Cement and Concrete Research* 32 (2), 179–185.

Ortiz, O., Castells, F., Sonnemann, G., 2009a. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials* 23 (1), 28–39

Roussat, 2008 : N. Roussat, J. Méhu, M. Abdeighafour, P. Brula, « leaching behaviour of hazardous demolition waste », *Waste Management*, 28, p 2032-2040, 2008.

Sanchez de Juan, M., Gutierrez, P.A., 2004. Influence of recycled aggregate quality on concrete properties. In: *Proceedings of the International RILEM Conference: The Use of Recycled Materials in Building and Structures*, Barcelona, Spain, 8–11 November 2004, pp. 545–553.

Siddique, 2010 : R. Siddique, G. Kaur, A. Rajor, « waste foundry sand and its leachate characteristics », *Resources, Conservation and Recycling*, 54, p 1027-1036, 2010.

Sorlini, 2011 : S. Sorlini, A. Abba, C Colivignarelli, « Recovery of MSWI and soil washing residues as concrete aggregates », *Waste Management*, 31, p 289-297, 2011.

Veljkovic H., Plewako M., Landolfo Z., Ungureanu R., Silva V., L.S. (Eds.), *Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-time Structural Engineering*. COST Action C25. *Proceedings of the First Workshop*, Lisbon, 13–15 September 2007. Multicomp Lda, Portugal, pp. 2.61–2.68.

Wahlstrom, 2000 : M. Wahlstrom, J. Laine- Ylioki, A. Maattanen, T. Luotojarvi, L. Kivekas, "Environmental quality assurance system for use of crushed mineral demolition wastes in road constructions", Waste Management, 20, p 225-232, 2000.

Xiao, J., Li, J., Zhang, C., 2005. Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading. Cement and Concrete Research 35 (6), 1187–1194.

Yang, K.H., Chung, H.S., Ashour, A., 2008. Influence of type and replacement level of recycled aggregates on concrete properties. ACI Materials Journal 105 (3), 289

9.2 Documents techniques

FNTP, 2010. Etude de caractérisation de matériaux issus de plates-formes de tri et de valorisation de déchets du BTP. Rapport final. Etude réalisée en collaboration avec la FFB et l'UNPG.

FNTP, 2011. Etude de caractérisation de matériaux alternatifs issus de plates-formes de tri et de valorisation de déchets du BTP. Rapport final. Etude réalisée en collaboration avec le SRBTP et l'UNPG. Convention ADEME 1106C0014

Abdelghafour M., Méhu J., 2001. « Evaluation du comportement environnemental de déchets de démolition », rapport final - INSAVALOR division POLDEN à la demande de l'ADEME, février 2001.

ADEME., 2003. « Déconstruire les bâtiments – Un nouveau métier au service du développement durable – Connaître pour agir ». guides et cahiers techniques, Mars 2003.

Baron, J., Sauterey R ., 1982. « Le béton hydraulique », Presses de l'ENPC.

Conseil général des ponts et chaussées, 1997. « Gestion des déchets du bâtiment et des Travaux publics ».

Dewulf B., De Doncker C., Engel H. W., Binamé J-P ., 2000. « Guide de gestion des déchets de construction et de démolition. » Rapport technique IBGE, Bruxelles (ED), dépôt légal D/5762/1999/17, mai 2000, 2ème édition, 80 p.

Domas J., 2003. « Caractérisation de trois déchets minéraux à l'aide de l'essai de percolation pr EN 14 405 », rapport final INERIS, financé par l'ADEME, mars 2003.

Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-De-France, 2003. « Les bétons et produits de démolition recyclés », décembre 2003, 1ère révision, 32 p.

Guides techniques et monographies. Utilisation des matériaux de Haute-Normandie : « Sous produits industriels et matériaux divers », mars 2000. 78 p.

Guide d'utilisation en travaux publics, 2004. « Graves de recyclage, graves recyclées de démolition et de mâchefers », Rhône-Alpes, novembre 2004, 34 p.

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg, 1989. « Etude des matériaux issus du concassage de produits de démolition ... ».

Pépin G., 2001. « Caractérisation de quatre déchets minéraux à l'aide d'essais ANC, FMM, Percolation et lixiviation », rapport final INERIS à la demande de l'ADEME, octobre 2001.

Québaud M., Courtial M., Buyle-Bodin F., 1997. « Les granulats recyclés issus des produits de démolition : relation entre « l'élaboration et les caractéristiques », Laboratoire d'Artois Mécanique et Habitat, Annales du BT et des TP, juin 1997

Richer G., Charbonnier P., Koch-Mathian J-Y., 2001. « Matériaux de démolition en région Nord-Pas-de-Calais : recommandations de stockage et de recyclage » ; Annexes du rapport. Etude BRGM – DRIRE Nord-Pas-de-Calais, avril 2001.

SETRA , 2000. Note d'information N°63, avril 2000.

SETRA-LCPC , 1983. Note d'information SETRA-LCPC, « Réemploi de béton de démolition dans le domaine routier », octobre 1983.

SETRA- LCPC, 2000 . « Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme ». Guide Technique D 9233, encore appelé couramment GTR dans le réseau du ministère de l'équipement, juillet 2000, 2 ème édition, 99p.

SNPGR – bilan de l'activité du recyclage en installation de tri (voir avec eux pour les références)

9.3 Sites internet

<http://www.ademe.fr>

<http://www.unicem.fr>

<http://www.ffbatiment.fr>

<http://www.fntp.fr>

10 Auteurs et relecteurs

Auteurs	Marie-Thérèse Goux (LR Le Bourget), Michel Kergoet (LR Melun)
Relecture experts et contributeurs d'OFRIR1	Jean-Claude Auriol (LCPC), Yves Brosseau (LCPC), François De Larrard (LCPC), Jérémie Domas (INERIS), Guillaume Gay (INERIS), Agnès Jullien (LCPC), Vincent Lédée (LCPC), Michel Legret (LCPC), Patrice Piantone (BRGM),
Relecture comité de pilotage	Laurent Château (ADEME), Frédéric Leray ((Ministère de l'équipement/DR), Alain Millotte (ADP), Jacques Vecoven (UNPG/HOLCIM)
Relecture OFRIR1 par les experts et contributeurs d'OFRIR2	Céline Chouteau (CETE Nord-Picardie), Guillaume Gay (INERIS), Patrick Gentilini (LR Aix)
Ecriture rubriques OFRIR2	Apports thèse Cong Chen, Agnès Jullien (IFSTTAR)
Relecture experts et contributeurs	François Buyle-Bodin (Université de Lille), Laetitia D'aloia (CETU), Agnès Jullien (IFSTTAR), Chantal Proust (Université

	d'Orléans)
Relecture bureau	Laurent Château (ADEME), Céline Chouteau (CETE Nord-Picardie), Agnès Jullien (IFSTTAR),
Version finale, mise en ligne	Janvier 2014