

RECOMMANDATIONS : BIEN PRESCRIRE LES BÉTONS

SPÉCIFICITÉS DES BÉTONS DE GRANULATS RECYCLÉS

La norme NF EN 206/CN autorise l'utilisation de granulats recyclés issus de la déconstruction pour la formulation des bétons en précisant les conditions et les limites d'utilisation (article NA.5.1.3 Granulats).

Les granulats recyclés doivent être obtenus par traitement de matériaux minéraux auparavant utilisés en construction et être conformes aux normes relatives aux granulats (NF EN 12620+A1 et NF P 18-545).

La norme définit 3 types de granulats recyclés à partir de leurs caractéristiques et précise pour chaque type de granulats recyclés le taux de substitution de granulats naturels maximum autorisé en fonction de la classe d'exposition à laquelle est soumise la partie d'ouvrage en béton. Les granulats recyclés ne sont pas autorisés pour les bétons précontraints.

Le Projet National RECYBETON a permis d'améliorer l'expertise et la connaissance sur l'utilisation des granulats recyclés pour la formulation des bétons.

Il a abouti à la rédaction de recommandations qui permettent d'augmenter significativement le taux d'incorporation des granulats recyclés dans les bétons, dans une logique de préservation des gisements naturels de granulats. Ces recommandations seront intégrées dans les textes normatifs lors de leur prochaine révision.

Le patrimoine d'ouvrages constitue donc un gisement potentiel important de granulats qui sera exploitable au gré des déconstructions, pour construire notre avenir.

Les recommandations du PN RECYBETON sont consultables sur le site de l'IREX www.pnrecybeton.fr

Responsabilités

L'utilisation de granulats recyclés est autorisée dans la norme NF EN 206/CN.

L'utilisation pour la formulation des bétons, en conformité avec les spécifications définies dans les Recommandations du Projet National RECYBETON est à l'initiative du Maître d'Ouvrage ou du rédacteur du CCTP en accord avec le Maître d'Ouvrage.

Cette utilisation peut être imposée au CCTP (voir clause A) pour tout ou partie des bétons de l'ouvrage ou autorisée (voir clause B).

Remarques :

- L'utilisation de bétons contenant des granulats recyclés au-delà des pratiques reconnues comme des techniques courantes nécessite impérativement l'information préalable à l'assureur.
- L'autorisation d'utilisation de granulats recyclés par le maître d'œuvre n'est nécessaire qu'au-delà d'un taux de granulats recyclés supérieur à 15%. En deçà de cette limite aucune modification de dimensionnement n'est nécessaire et il n'est pas nécessaire non plus de faire figurer cette information sur le bon de livraison du béton.
- Les travaux du PN RECYBETON ont permis la rédaction de propositions d'évolutions normatives. Elles sont consultables sur le site du PN RECYBETON.

Exemple de clause à introduire dans le CCTP

Clause A :

Les parties d'ouvrage mentionnées dans le tableau de définition des bétons avec l'appellation PN RECYBETON sont à formuler en appliquant les recommandations du PN RECYBETON. Les formulations seront soumises à l'approbation du Maître d'Œuvre.

Clause B :

Des formulations justifiées selon les Recommandations du PN RECYBETON, peuvent être soumises à l'approbation du Maître d'Œuvre.

LA NORME BÉTON NF EN 206/CN

BÉTON : SPÉCIFICATION, PERFORMANCE, PRODUCTION et CONFORMITÉ

Complément national à la norme NF EN 206

Version Décembre 2014

La résistance du béton aux diverses conditions environnementales auxquelles il est soumis pendant la durée d'utilisation prévue de la structure, est conditionnée notamment par le respect de spécifications sur le béton.

Ces exigences concernent en particulier les bétons structuraux de bâtiments et d'ouvrages de Génie Civil. Pour ces bétons, les spécifications sont définies dans la norme NF EN 206/CN.

La norme définit pour les bétons de structure en plus des spécifications relatives au béton. Elle fournit des règles précises concernant la spécification, la production, la livraison et le contrôle de la conformité des bétons.

Elle est composée de la norme européenne EN 206 de l'Annexe Nationale Française, et de son Complément National, indispensables pour son utilisation, qui spécifient les dispositions complémentaires à respecter en France pour tenir compte des spécificités climatiques et des techniques de construction.

La norme NF EN 206/CN concerne :

- les bétons prêts à l'emploi,
- les bétons fabriqués sur chantier,
- les bétons produits dans une usine de fabrication de produits préfabriqués destinés aux bâtiments et aux ouvrages de génie civil.

Elle couvre les spécifications, la production, la livraison et le contrôle de conformité des bétons.

Elle prend en compte la notion de durabilité en s'appuyant sur la notion de classes d'exposition.

Elle définit les tâches et les responsabilités techniques du prescripteur (spécification du béton), du producteur (conformité et contrôle de production, et de l'utilisateur (mise en place du béton dans la structure).

Elle s'applique avec son Complément National lorsque le lieu d'utilisation du béton est en France.

LES GRANULATS RECYCLÉS DANS LA NORME NF EN 206/CN

La norme NF EN 206/CN autorise l'utilisation de granulats recyclés issus de la déconstruction pour la formulation des bétons en précisant les conditions et les limites d'utilisation (article NA.5.1.3 Granulats).

Les granulats recyclés doivent être obtenus par traitement de matériaux minéraux auparavant utilisés en construction et être conformes aux normes relatives aux granulats (NF EN 12620+A1 et NF P 18-545).

La norme définit (Tableau NA.2) 3 types de granulats recyclés (Type 1 à 3) à partir de leurs caractéristiques et précise pour chaque type de granulat recyclé le taux de substitution de granulats naturels maximum autorisé en fonction de la classe d'exposition à laquelle est soumis le béton.

Les granulats recyclés sont interdits pour les structures en béton précontraint.

Nota : Les 3 types de gravillons recyclés sont définis en fonction de leurs caractéristiques :

- Type 1 : toutes les caractéristiques sont CR_B
- Type 2 : toutes les caractéristiques sont CR_B ou CR_C
- Type 3 : toutes les caractéristiques sont CR_B ou CR_C ou CR_D

Code	Constituants principaux selon NF EN 12620	Constituants secondaires				Type de fréquence d'essai	
		Catégories NF EN 12620				Temporelle	Quantitative
CR _B	Rcu ₉₅		Rb ₁₀	XRg _{0,5}	FL _{0,2}	2/mois	1/2000 tonnes
CR _C	Rcu ₉₀	Rb ₁₀	Ra ₁	XRg ₁	FL ₂		
CR _D	Rcu ₇₀	Rb ₃₀	Ra ₁₀	XRg ₂	FL ₂		

Tableau NA.2 : Constituants des granulats recyclés

Éléments contenus dans un granulat recyclé :

- Rc : béton, mortier, élément de maçonnerie en béton contenus dans un granulat recyclé
- Ru : granulats non liés, pierre naturelle, granulats traités aux liants hydraulique contenus dans un granulat recyclé
- Rcu = Rc + Ru.
- Rg : verres contenus dans un granulat recyclé
- Ra : matériau bitumineux contenus dans un granulat recyclé
- Rb : éléments en argile cuite (briques, tuiles), éléments en silicate de calcium, béton cellulaire non flottant
- X : argiles, sols, métaux, bois, plastiques, caoutchouc, plâtre,
- FL : matériau flottant

Type de granulat recyclé	Classes d'exposition			
	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1, XD1, XS1	Autres classes d'exposition
Gravillon Type 1	60	30	20	0
Gravillon Type 2	40	15	0	0
Gravillon Type 3	30	5	0	0
Sable	30	0	0	0

Tableau NA.5 : Taux de substitution, par rapport à la masse totale de gravillon ou de sable, en fonction de la classe d'exposition et du type de granulat recyclé (%)

Les gravillons recyclés de type 2 et 3 ainsi que les sables recyclés ne peuvent être utilisés que pour des bétons de R ≤ à C25/30

LE PROJET NATIONAL RECYBÉTON

La filière béton s'est fortement mobilisée au sein du Projet National de recherche et développement « RECYBETON » qui avait pour objectifs de parvenir au recyclage complet des matériaux issus des bétons de déconstruction et permettre la réalisation d'ouvrages encore plus vertueux.

Les recherches visaient à :

- Réutiliser l'intégralité des matériaux issus des bétons de déconstruction, comme constituants de nouveaux bétons
- Recycler aussi ces matériaux comme matière première pour la production de ciments (clinker et ciments composés)

LES GRANULATS RECYCLÉS DANS LE FASCICULE 65

Le Fascicule 65 « Exécution des ouvrages de génie Civil en béton » spécifie dans son chapitre 8 « Bétons et opérations de bétonnage paragraphe 8.1.2 (Constituants des bétons et mortiers) les possibilités d'emploi des granulats recyclés (Article 8.1.2.2 Granulats).

« Les gravillons recyclés de type 1 (selon la norme NF EN 206/CN) issus de la déconstruction d'ouvrages d'art et dont la traçabilité est assurée peuvent être utilisés pour des bétons de classe de résistance inférieure à C35/45 en classe XC1, XC2, XC3, XC4 ou XF1 avec un taux maximum de substitution de 20 % (en masse).

LES PRINCIPALES RECOMMANDATIONS DU PN RECYBÉTON

EXTRAITS DU GUIDE DU PROJET NATIONAL RECYBÉTON :

LE RECYCLAGE COMPLET DU BÉTON

Comment recycler le béton dans le béton ?

Guide technique IREX Pages 44 à 50

Les études réalisées dans le cadre du Projet National RECYBETON et de l'ANR ECOREB confirment que les bétons peuvent être fabriqués avec des Granulats Recyclés, même à des taux de substitution importants. Les caractéristiques physico-chimiques intrinsèques des GR et leur taux de substitution sont des facteurs déterminants vis-à-vis des propriétés de durabilité du nouveau béton.

Nota : Pour les propriétés du béton frais, les études ont permis de montrer que, l'incorporation de gravillons recyclés, quel qu'en soit le taux a relativement peu d'influence sur la maniabilité et le comportement rhéologique. En ce qui concerne l'incorporation de sable recyclé, des différences significatives sur le comportement à l'état frais apparaissent même pour des taux faibles.

L'ensemble des travaux menés au sein du PN RECYBETON conduisent à proposer de nouveaux taux d'incorporation pour les gravillons recyclés de type 1 et 2, ainsi que pour les sables recyclés, présentés dans le Tableau 1 et le Tableau 2.

Des taux plus importants sont envisageables, mais devront être justifiés, par exemple en empruntant une approche performantielle de la durabilité.

Les résultats acquis par le projet RECYBETON ne justifient pas le maintien d'une valeur limite de classe de résistance en compression au-delà de laquelle l'utilisation de granulats recyclés serait à déconseiller.

Tableau 1 : taux maximum (% massique) de substitution pour les gravillons recyclés de type 1 et le sable recyclé

	X0	XC1, XC2		XC3, XC4, XF1		XD1, XS1		XF2, XD2, XD3		XS2, XS3		XF3, XF4*		XA
Gravillon recyclé type 1	60	40	60	30	50	30	50	20	40	10	30	10	30	5***
Sable recyclé**	30	10	20	10	20	10	20	10	15	10	15	5***	15	5***
Règles de formulation complémentaires		/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	

* granulats non gélifs

** sable recyclé présentant une absorption d'eau inférieure à 10%

***uniquement pour les granulats recyclés issus de bétons de retour(cf. NF EN 206/CN : 2014)

Tableau 2 : taux maximum (% massique) de substitution pour les gravillons recyclés de type 2 et le sable recyclé

	X0	XC1, XC2		XC3, XC4, XF1		XD1, XS1		XF2, XD2, XD3		XS2, XS3		XF3, XF4*		XA
Gravillon recyclé type 2	40	20	30	15	25	15	25	10	20	5	15	5	15	0
Sable recyclé**	15	5	10	5	10	5	10	5	5	5***	5	5***	5	5***
Règles de formulation complémentaires		/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	/	E_{eff}/L_{eq} max abaissé de 0,05	

* granulats non gélifs

** sable recyclé présentant une absorption d'eau inférieure à 10%

***uniquement pour les granulats recyclés issus de bétons de retour (cf. NF EN 206/CN : 2014)

Pour les gravillons de type 3, REYCBETON recommande de conserver les valeurs de la norme NF EN 206/CN : 2014.

Dans le cas de l'utilisation de prémélanges de gravillons, les taux maxima du Tableau 1 et du Tableau 2 s'entendent comme le rapport entre la masse des gravillons recyclés et la masse totale des gravillons.

La même règle s'applique pour les prémélanges de sable. Dans ce cas, les utilisateurs doivent veiller à disposer des moyens de vérifier la quantité de sable recyclé dans le prémélange.

Synthèse des recommandations pour l'obtention de la durabilité du béton

Le Projet National REYCBETON recommande, au vu des études réalisées et dans le respect des exigences de durabilité du béton :

- de prendre en compte un nouveau taux de sulfates plafond pour le granulats recyclés, en limitant plus sévèrement le taux de sulfates pour l'ensemble des granulats de la formule ;
- d'utiliser le bilan des alcalins ou l'essai à long terme pour évaluer le risque de développement de l'alcali-réaction d'une formule de béton recyclé ;
- d'utiliser des valeurs limites de taux d'incorporation des granulats recyclés supérieures aux valeurs indiquées dans la norme NF EN 206/CN:2014, pour les gravillons recyclés de type 1 ou 2, et pour les sables recyclés présentant une absorption d'eau limitée. Ces valeurs dépendent, pour chaque type de granulats recyclés considérés, de la classe d'exposition du béton et du rapport E_{eff}/L_{eq} . Ces valeurs limites sont valables quelle que soit la résistance à la compression du béton.

Synthèse des recommandations pour le dimensionnement des ouvrages

L'usage des granulats recyclés peut s'envisager non seulement pour le béton armé, mais aussi pour le béton précontraint dans des conditions cependant plus restrictives. Pour le dimensionnement des ouvrages en béton contenant des granulats recyclés, le projet national RECYBETON recommande :

- D'utiliser les règles actuelles de calcul définies dans l'Eurocode 2 lorsque le taux d'incorporation des granulats recyclés est faible, hors usage dans le béton précontraint ;
- De modifier forfaitairement certains modèles de calcul de l'Eurocode 2 pour des taux intermédiaires. Sont concernés par ces modifications : la densité, la résistance en traction, le module d'élasticité, le fluage et le retrait, la relation ($\sigma - \epsilon$) en compression pour l'analyse non-linéaire, l'analyse des effets du second ordre et certains paramètres d'état limite de service (ELS) et d'état limite ultime (ELU) ;
- Pour les dosages les plus élevés, en complément des modifications forfaitaires précédentes, de mettre en place des procédures afin de limiter la variabilité des propriétés du béton recyclé, et de contrôler expérimentalement les propriétés mécaniques critiques du matériau.

Le projet RECYBETON a vérifié que l'utilisation de bétons de granulats recyclés peut se faire sans risques dans les structures de béton armé jusqu'à une teneur de 15% de granulats recyclés sans modification des formules de dimensionnement de l'Eurocode 2.

Pour des taux plus élevés, ou pour les structures en béton précontraint, le projet recommande la recalibration forfaitaire ou expérimentale de certaines caractéristiques, pour tenir compte d'une déformabilité instantanée et différée supérieure. Il peut donc être prudent de prévoir assez tôt la détermination du module d'Young du béton de granulats recyclés, en fonction de son utilisation prévue, et d'ajuster en conséquence la spécification.

EXTRAITS DU GUIDE DU PROJET NATIONAL RECYBÉTON :

LE RECYCLAGE COMPLET DU BÉTON

Comment recycler le béton dans le béton ?

Guide technique IREX Annexe 6.4 Pages 70 à 72

Exemple de CCTP type pour utilisation de bétons à base de granulats recyclés dans une opération de construction de bâtiment

Ce texte reprend en grande partie le texte des recommandations de l'IREX

Certains ouvrages ou parties d'ouvrage à réaliser au titre du présent lot seront réalisés à base de bétons formulés avec des granulats et/ou des sables recyclés.

Caractéristiques des bétons

La formulation de ces bétons répondra aux spécifications définies dans les Recommandations du projet national RECYBETON.

Le béton mis en œuvre répondra aux caractéristiques suivantes :

- Classes d'exposition : à renseigner
- Classe de résistance : à renseigner
- Gravillons de type : à renseigner
- Diamètre maximum des granulats : à renseigner
- Part de gravillons recyclés dans la formulation : à renseigner
- Part de sables recyclés dans la formulation : à renseigner

Le tableau de définition des bétons sera complété par une colonne qui précisera pour chaque partie d'ouvrage le taux de granulats recyclés autorisés

Engagement sur la disponibilité et la qualité des matériaux recyclés et des installations de fabrication

Le titulaire du présent lot indiquera dans son offre le prestataire qu'il retient pour la fourniture des matériaux recyclés. Il s'engagera sur la fourniture des matériaux recyclés entrant dans la composition du béton conformes aux spécifications du marché et précisera les plages de dates où les cases ou silos seront disponibles en usine de production en nombre suffisant pour effectuer le stockage des matériaux, la définition de la formulation et le processus de fabrication du béton. Ces dates seront compatibles avec le planning général de l'opération.

Le plan qualité du producteur de béton sera complété par les spécificités liées à l'utilisation de granulats recyclés.

Origine des matériaux recyclés

Les granulats recyclés proviendront de stocks de « matériaux de déconstruction de structure en béton » triés en amont avant concassage. La distance de transport entre le lieu de production et de consommation des granulats recyclés ne dépassera pas 30 km (dans le cas d'un transport routier). Préciser le niveau de qualité visé au sens des normes NF EN 12620+A1 et NF EN 18-545 (type 1, type 2 ou type 3).

Le titulaire du présent lot effectuera les essais de caractérisation des matériaux prévus par la norme NF EN 206/CN dans un laboratoire accrédité COFRAC selon les fréquences prévues au paragraphe NA 5.1.3.

Définition de la formulation, convenue et élément témoin

Le titulaire définira la formulation du béton sur la base d'une étude en laboratoire et indiquera les caractéristiques mécaniques et physiques qui en découlent, pour validation par la maîtrise d'œuvre et par le bureau de contrôle. Il pourra notamment se référer aux Recommandations du projet national RECYBETON.

Les caractéristiques devront être adaptées à la destination de la construction et ne pas nécessiter plus de sujétions de mise en œuvre et de séchage qu'un béton classique.

Nota : Le marché peut prescrire en fonction des particularités de l'opération de construction (volume de béton, qualité des parements...) une qualification de la formule basée sur des épreuves de convenue permettant de vérifier la pertinence et l'adéquation des conditions de mise en œuvre proposées par l'entreprise. À cette occasion un ou des éléments témoin peuvent être bétonnés pour vérifier notamment le respect des prescriptions concernant la qualité des parements et la faisabilité de la mise en œuvre sur les parties d'ouvrage critiques (densité des armatures, géométrie du coffrage...)

Contrôle

Suivant l'importance de l'opération de construction, le marché spécifiera la catégorie du chantier, et donc les niveaux de contrôle, en référence aux dispositions du DTU21 et aux particularités de l'opération de construction.

Le titulaire réalisera les épreuves de contrôle sur les bétons. Elles concerneront notamment la réalisation des essais suivants :

- Température de départ centrale,
- Masse volumique du béton frais,
- Consistance et teneur en air occlus le cas échéant (1 essai par bétonnage),
- Résistance à la compression à 28 jours (R_{C28j}) (3 éprouvettes sur centrale et 3 éprouvettes sur chantier par bétonnage).

Selon le cas (au sens des présentes recommandations) :

- R_{C28j} (résistance à la traction par fendage) (3 éprouvettes sur chantier par bétonnage),
- Retrait total (NFP 18-427) (3 essais par formule)
- Module instantané
- Fluage en compression pour un chargement à 28 jours

- Porosité accessible à l'eau, perméabilité au gaz, carbonatation accélérée (1 essais par formule)
- Teneur en alcalins actifs (selon norme FD P18-464).

Le titulaire réalisera les essais en centrale et sur chantier. Les rapports de contrôle seront transmis à la maîtrise d'œuvre et au bureau de contrôle pour visa.

Dimensionnement des ouvrages

Les notes de calculs seront réalisées selon les modalités définies dans les Recommandations du projet national RECYBETON.

Traçabilité de l'origine des bétons

Le titulaire du présent lot précisera, sur les ouvrages concernés par le béton à base de matériaux recyclés, les quantités mises en œuvre, les références des bons de livraison, l'origine du béton, la désignation de la formule, les résultats des essais, et éventuellement le site de production des granulats recyclés.

Tout ouvrage ou partie d'ouvrage qui ne sera pas réalisé avec la formulation de béton validée, ou réalisé avec du béton traditionnel à la place du béton comportant des matériaux recyclés, ou réalisé avec un béton n'ayant pas les caractéristiques attendues sera démoli aux frais et risques du titulaire.

DOCUMENT DE REFERENCE

LE BETON RECYCLE sous la direction de François DE LARRARD et Horacio COLINA