

Chantiers expérimentaux

Aperçu des chantiers réalisés et des résultats obtenus



Colloque RECYBETON – Patrick DANTEC
09/03/2017





- ▶ 6 réalisations dans le cadre du PN dans les domaines du bâtiment, du génie civil et de l'aménagement
- ▶ 4 chantiers explorent les possibilités de substitution des granulats naturels supérieures aux seuils de la NF EN 206/CN et jusqu'à 100%
- ▶ Contrôle qualité : études de formulation, épreuves de convenueance et de contrôle
- ▶ Essais de caractérisation des propriétés mécaniques (R_c , module instantané et différé), du retrait (total) et de durabilité (P_{eau} , K_{gaz} , D_{app} , Carbo)
- ▶ Inspection « point zéro » et suivi dans le temps





Lieu du chantier MO/fournisseurs béton/granulats Recyclés	Date	Type de béton	% de recyclé	Quantité Béton R m ³	Type d'ouvrage
Chaponost (69) ELTS/Lafarge bétons/ GR FILLOT type 3 (CR _D)	12/13	XF2/XC4 CI 0,4 C25/30 CEMII/A LL 42,5 Lafarge S4 D20 ($E_{\text{eff}}/L_{\text{éq}} = 0,53$)	De 0 à 100% de S et G	324	Dallage parking
Chaponost (69) ELTS/Lafarge bétons Ciment Recyclé VICAT	03/17	XF2/XC4 CI 0,4 C25/30 CEM I 52,5N PM Vicat Recyclé S4 D22 ($E_{\text{eff}}/L_{\text{éq}} = 0,51$)	Ciment sable recyclé	13	Dallage parking
CNM LGV (30) Oc'Via/Bouygues TP/Unibéton/ GR LRM type 1 CR _B	07/14	XF1/XA1 C35/45 CEMI 52,5N SR3 CE PM + L S4 D22 ($E_{\text{eff}}/L_{\text{éq}} = 0,45$)	0S20G	42	Parties OA pont vélo route : Traverse supérieure Mur en retour
Genevilliers (92) EQIOM/EQIOM/ GR Clamens type 1 CR _B	02/15	CEM II/B-S 42,5 N CE CP1 NF Héming S3 D20 ($E_{\text{eff}}/L_{\text{éq}} = 0,6$)	30S30G	12	Aménagement : murs/trottoirs
Mitry-Mory (77) CD77/CEMEX/ GR CEMEX type 1 CR _B	10/15 12/15	XF1/XC4 CI 0,4 C25/30 CEMII A-L 42,4R CP2 +CV S3 D20 ($E_{\text{eff}}/L_{\text{éq}} = 0,53$)	30S50G	40	Bâtiment Classothèque : murs/dalles
Villeneuve la Garenne (92) Nacarat (Rabot- Dutilleul)/Lafarge bétons/GR Lafarge Aggneo type 1 CR _B	05/16	XC4 XF1 C25/30 CEMI 52,5N Dunkerque +Cv S3 D20 ($E_{\text{eff}}/L_{\text{éq}} = 0,54$)	0S20G	80	Bâtiment Dalle de compression terrasse

500 m³ de béton

91 tonnes de SR

184 tonnes de GR



► Objectifs

- Première réalisation en vraie grandeur à base de béton recyclé sous l'égide de Recybéton
- Evaluation du risque de fissuration par retrait de séchage empêché des structures en béton recyclé

► Structure

- Dallage (parking)
- 2100 m², 6 zones d'environ 350 m², découpées en plots de 5X5, épaisseur de 18 cm
- 6 natures de béton (de 0 à 100 % de GR, similaires aux formules de référence du PN), XC4/XF2 C25/30 S4
- Granulats recyclés de type 3 (CR_D)
- Entreprise ELTS (maîtrise d'ouvrage + mise en œuvre), PME de la région lyonnaise (CA 12 M€)
- Lafarge Bétons (mise au point et fourniture des bétons)
- Coordination avec les actions retrait-fissuration tranche 2 (prises en charge par Sigma Béton et ENS Cachan)
- CEREMA DTerCE : contrôle et suivi







0S/100G



30S/30G



100S/100G



0S/30G



► Résultats

- Dosage proche de 300 kg/m³ sauf pour les formule à 100% ($E_{\text{eff}}/C = 0,55$)
- Retardateur de prise en dose croissante en fonction du taux de substitution
- Tendence à un excès d'air dans les bétons à fort dosage de recyclé
- Augmentation du retrait en fonction du taux de recyclé (X2 par rapport au béton témoin pour la formule 100/100)
- Diminution du module d'élasticité instantané en fonction du taux de recyclé (30% pour la formule 100/100)
- Modélisation tenant compte de l'augmentation du coefficient de fluage
- Pas de fissuration in situ
- Pas d'évolution dans le temps



- ▶ Chantier en projet : 12 m³ de béton coulé avec du ciment « recyclé » Vicat prévu en mars 2017
- ▶ MO et entreprise : ELTS
- ▶ Fournisseur de béton : Lafarge Bétons





► Objectifs

- Évaluer la faisabilité technique dans le cadre d'un AO
- Evaluation de l'impact de l'introduction de granulats recyclés sur les caractéristiques des bétons et le respect des exigences de durabilité propres aux AO

► Structure

- Pont cadre, 100 m³ de béton
- Traverse et mur en retour, soit 43 m³ de béton de GBR
- CdC béton : XC4/XF1/XA1 C35/45 S4, substitution en GBR : 20% et 40% en étude, 20% sur ouvrage
- Granulats recyclés de type 1+ (CR_B)
- Oc'Via construction (groupement concepteur /constructeur),
- Setec maîtrise d'œuvre ,
- Unibéton (production des bétons),
- Lerm études en laboratoire





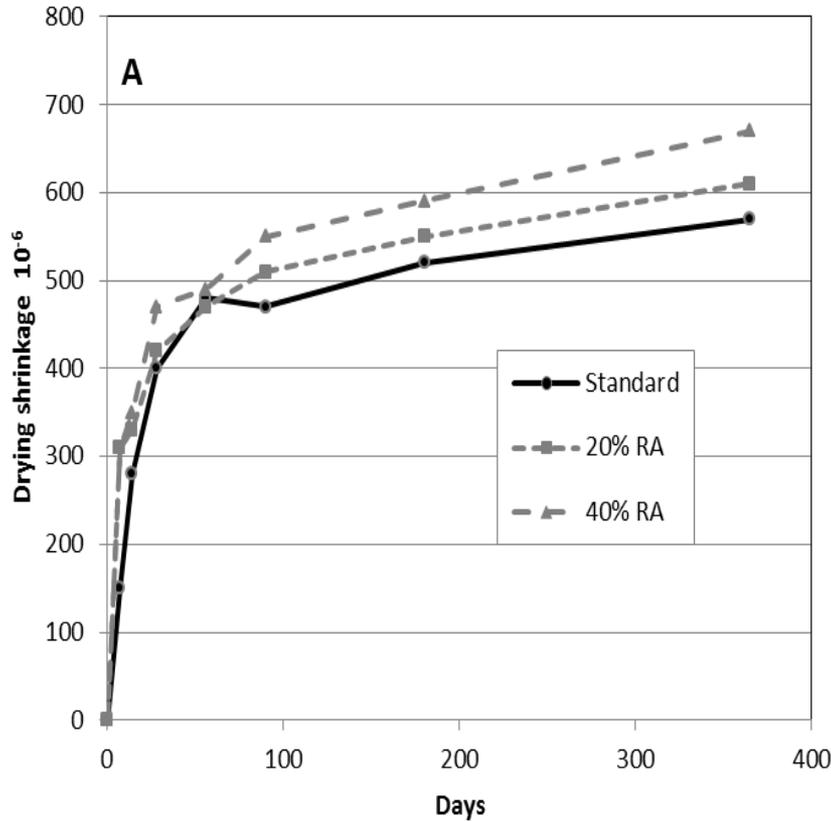
► Etude en laboratoire

- Formule témoin + deux taux de substitution 20% et 40%
- Caractérisation des bétons frais et durcis classique
- Indicateurs de durabilité
- Suivi du retrait sur 1 an

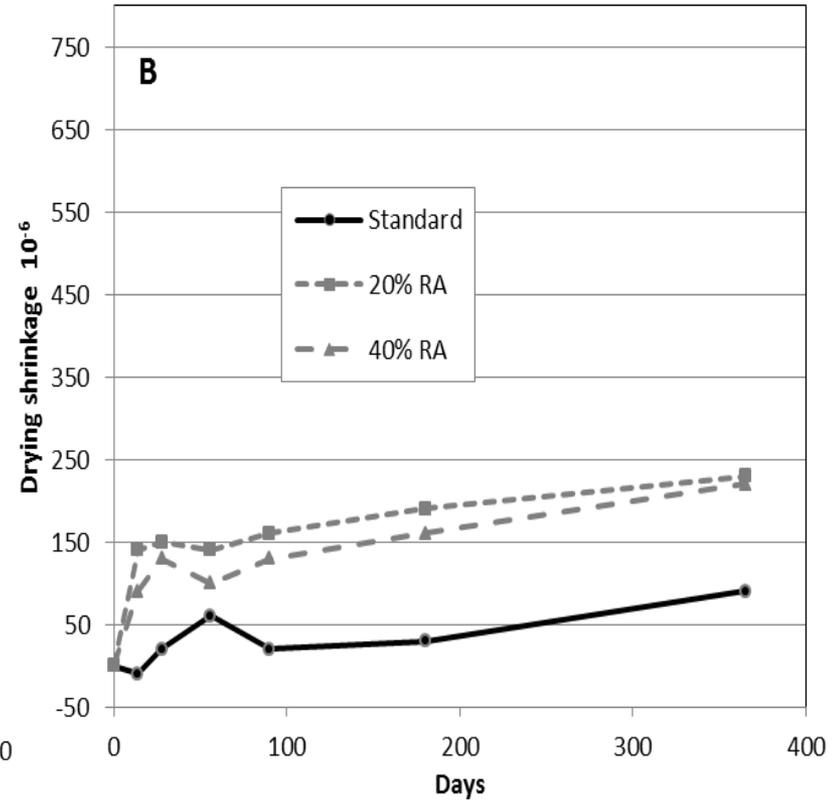
Mix	Std	20% RA	40% RA
Water porosity at 90 days (%) NF P 18-459	13,1	14.6	14.4
Oxygen permeability at 90 days (10^{-18} m^2) XP P18-463	49	213	149
Apparent chloride diffusion coefficient at 90 days ($10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) XP P18-462	8.6	9.6	8.3
Carbonation depth at 90 days (accelerated test) (mm) XP P 18-458	7.8	7.1	-
Alkali aggregate reaction test (week 52) NF P18 454 (%)	-	0.016	0.019
Drying shrinkage from 1 to 90 days (10^{-6})	470	510	550
Autogenous shrinkage from 1 to 90 days (10^{-6})	20	160	130

A noter : Dispersion des mesures de perméabilité entre les différents corps d'épreuve pour les bétons recyclés (imprécision)





Retrait de dessiccation



Retrait endogène



- ▶ Suivi dans le temps
 - Visite et prélèvements à 1 an



Aucun défaut particulier mis en évidence

- Prélèvements par carottage :
- Porosité à l'eau
 - Perméabilité au gaz
 - Profondeur de carbonatation



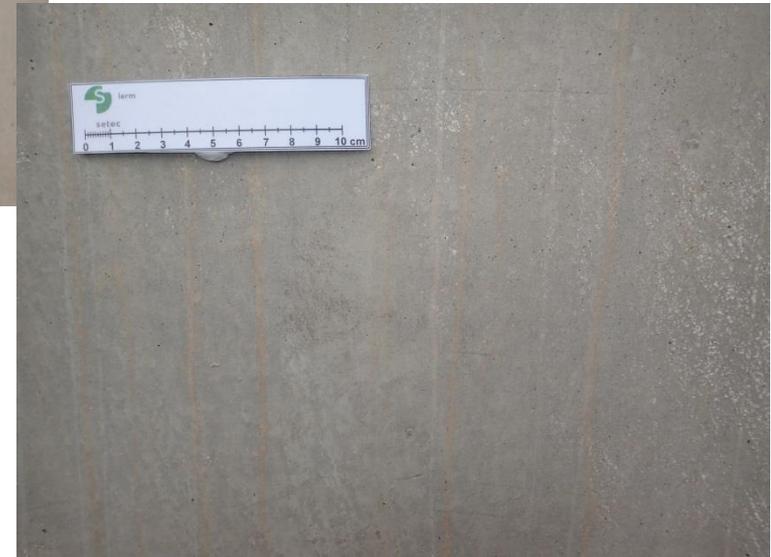
► Suivi dans le temps

Mix 20% RA	Design stage	1 year
Water porosity at 90 days(%) NF P 18-459	14.6	14,4
Oxygen permeability at 90 days (10^{-18} m^2) XP P18-463	213	141
Carbonation depth at 90 days (mm) XP P 18-458	7.1	-
Carbonation depth (mm) NF EN 14630	-	6



► Suivi dans le temps

- Visite à 2 ans ½ : aucune anomalie constatée



Prochaine visite et prélèvements :
fin juin 2017



► Conclusion

- Production et mise en œuvre sans aucune difficulté, pas d'adaptation de la formulation par rapport au témoin
- Caractéristiques à l'état frais et durci et indicateurs de durabilité des formules à 20% et à 40% conforme aux exigences requises
- Retrait de dessiccation faible et acceptable,
- Aucune anomalie constatée sur ouvrage après plus de 2 ans



- ▶ Études de 7 formules avec % de SR et GR (produits par Clamens) variables de 0 à 100%
- ▶ Formule retenue 30S/30G
- ▶ Caractérisation des variations de propriétés mécaniques et de durabilité par rapport à la formule de référence
- ▶ Utilisation => bétons d'aménagement dans une centrale BPE





2015



2017



Murets



trottoir





- ▶ Augmentation du retrait avec le taux de substitution
- ▶ Impact sur les propriétés de durabilité en particulier la P_{eau} dès les faibles taux d'incorporation (de 13,8% sur la formule de référence à 15,7% sur la 30SR/30GR mise en œuvre)
- ▶ Baisse de 10% de R_c sur la formule mise en œuvre par rapport à la formule de référence en granulats naturels
- ▶ Pas de fissuration
- ▶ Bon comportement dans le temps



▶ **Classothèque**

- Bâtiment soumis au code du travail mais pas ERP
- Maîtrise d'œuvre interne.
- Marché fractionné à bon de commande

▶ **40 m² au sol & 40 m³ de béton**

- 7 m³ de dalle
- 7 m³ de toiture terrasse
- 13 m³ de murs
- 13 m³ de fondations
- Rampe et liaison avec le bâtiment existant

▶ **Surcharge dalle plancher 750kg/m²**





essais		30S/50G Eeff/Leq 0,53 255 kg CEM II				REF Eeff/Leq 0,59 243 kg CEM II
		06/10 dalle	09/10 voile	15/10 voile	22/10 terrasse	30/10 rampe/accrotère
S (mm)		205	200	200	240	205
Rc₂₈ MPa		38,4	35	36,2	34,5	33,3
Rt₂₈ MPa		3,38	3,37	3,32	3,2	3,28
ε₂₈ (µm/m)		418				373
P_{eau_90j} (%)		18				15
K_{gaz_90j} (x10⁻¹⁸m²)		180				100
X_d (mm) Carbo accélérée	2 mois	7,5				7



Particularité du dimensionnement de la dalle plancher :

- ▶ Surcharge : 750 kg/m²
- ▶ Dimensionnement en tenant compte des dispositions de l'EN 1992-2-1, §7.4.1) qui réduisent à L/500 la flèche admissible sous charges quasi permanente de façon à ne pas endommager les éléments mobiles de stockage de la classothèque
- ▶ Coefficient d'équivalence pris égal à 27 au lieu de 15 pour tenir compte du faible module à long terme du béton à base de granulats recyclés
- ▶ Impact : doublement du treillis ST25
- ▶ Remarque : difficultés d'obtention d'une ndc acceptable ! => nécessite un contrôle des études réalisé par le Cerema



12/2015



03/2017





- ▶ Augmentation du retrait total
- ▶ Diminution du module d'élasticité instantané de 17%
- ▶ Dégradation des indicateurs de durabilité :
 - la P_{eau} passe de 15% sur la formule de base à 18%
 - la perméabilité au gaz a augmenté de 80%;
 - la profondeur de carbonatation a augmenté légèrement
- ▶ Pas de problème de mise en œuvre et de défaut imputable à la présence de granulats recyclés
- ▶ Bon comportement dans le temps
- ▶ Difficultés de prise en compte des caractéristiques mécaniques du béton de granulats recyclés dans le dimensionnement de la dalle



- ▶ Bâtiment D1 Parc de l'étoile
- ▶ Type de construction : bâtiment R+2 sur un niveau de sous-sol semi enterré
- ▶ Livraison janvier 2017 au Conseil départemental des Hauts-de-Seine, propriétaire occupant.
- ▶ 1825m², RT2012, 69 bureaux, 3 salles de réunion, 2 salles de repos, 1 PMI (Protection Maternelle Infantile) en RDC
- ▶ Maitrise d'ouvrage promoteur : Nacarat
- ▶ Architecte concepteur : Preconcept Architectes
- ▶ Entreprise de gros oeuvre : Artis Construction/ Sofialex
- ▶ Producteur de béton : Lafarge Bétons France, membre de Lafarge-Holcim





- ▶ 80m³ de béton à 20% de gravillons recyclés ont été coulés dans la dalle de compression de l'étage R+2 (terrasse)
- ▶ Béton C25/30 conforme à NF EN 206/CN
- ▶ Centrale de BPE Lafarge Bétons de Nanterre
- ▶ Gravillon recyclé AGGNEO BPE 6/20 de Type 1, conformes aux normes NF EN 12620+ A1 et NF P 18-545 en provenance de la plateforme de recyclage Lafarge Granulats de Gennevilliers
- ▶ Coulage de la dalle à la pompe en mai 2016
- ▶ Absence de difficulté de mise en œuvre



Coulage mai 2016



Photo montage bâtiment





- ▶ Objectifs : promotion des GR dans les limites autorisées par la norme, économie des ressources naturelles
- ▶ Structure visée
 - Bâtiment public
 - 3.000 m³ ?
 - Imposition d'utilisation de GR dans les limites fixées par la NF EN 201/CN (20% type 1 pour XC4, XF1)
- ▶ Partenaires
 - CG77 (maître d'ouvrage)
 - MOe : Atelier Jean-François LAURENT & 7concept
 - Bureau de contrôle : Qualiconsult
- ▶ Planning : 2014 à 2019
- ▶ Rôle du PN : AMO pour montage DCE



- ▶ Au stade de l'AO
- ▶ Recybéton intervient en AMO pour les prescriptions des bétons et la rédaction de l'appel d'offres en imposant l'utilisation des gravillons recyclés de type 1 selon les limites fixées dans le tableau NA.5 de la NF EN 206/CN

La substitution peut être réalisée selon les taux maximaux définis dans le Tableau NA.5. Le pourcentage est calculé en masse de gravillon (respectivement sable) recyclé dans le total de gravillon (resp. sable).

Tableau NA.5 — Taux maximum (%) de substitution par type de granulat recyclé

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

^a Pour les bétons de chaussées, un taux de substitution de 20 % est autorisé pour les gravillons provenant de la déconstruction des couches de base et de roulement des chaussées routières ou aéroportuaires et dont la traçabilité est assurée.
Ces taux sont vérifiés en arrondissant le taux de substitution au % le plus proche

Les gravillons recyclés de Type 2 et 3 ainsi que les sables recyclés ne peuvent être utilisés que pour des bétons de résistances inférieures ou égales à C25/30.

- ▶ Parties d'ouvrage peu sollicitées
- ▶ Recybéton : Cerema, CEMEX + EGF/BTP, SNBPE, UNPG





Nota sur le béton recyclé :

Rappel : pour ces ouvrages l'entreprise fournira les justificatifs d'intégration de granulats issus d'un processus de recyclage,

Les volumes et les proportions selon les localisations seront convenus d'un commun accord entre l'entreprise, la MOE et sous avis du bureau de contrôle

En règle générale le processus d'intégration du béton recycle doit être soumis à un certain nombre de recommandations :

En phase appel d'offres /consultations les entreprises doivent :

- 1- S'engager au respect de la NF EN 206
- 2- Intégration des granulats recyclés dans du béton destiné aux ouvrages peu sollicités (bétons coulés sur place) avec un plafonnement à 20%
- 3- Présentation avec l'offre de base 1 carnet de repérage format A3 des ouvrages dans lesquels l'intégration du béton recyclé sera effectuée
- 4- Présentation avec l'offre de base le code et nom des fournisseurs de bétons recyclés
- 5- Présentation des fiches techniques validées et certifiées par les fournisseurs cités ci-dessus faisant apparaître clairement la composition ainsi que le pourcentage exact de béton recyclé intégré
- 6- A défaut de satisfaction à une seule des conditions citées ci-dessus l'offre sera rejetée dans sa globalité

En phase DET

- 1- Engagement de l'entrepris à fournir un tableau quantitatif faisant apparaître les volumes en % de béton recyclé par ouvrage
- 2- Fournir à chaque coulage une fiche d'autocontrôle visée par le fournisseur certifiant le pourcentage des granulats recyclés dans les bétons livrés en + du béton livré
- 3- En annexe l'entreprise fournira :
 - a. *Volume béton coulé et composition des matériaux en % des granulats recyclés*
 - b. *% des granulats recyclés utilisés*
 - c. *Fiche technique des caractéristiques de résistances mécaniques du béton utilisé*

A défaut de respect des modalités et des recommandations citées ci-dessus en phase DET les ouvrages seront démolis au tort exclusif de l'entreprise



- ▶ pas de différence en termes de mise en œuvre ni ressenti des équipes entre un béton classique et un béton recyclé
- ▶ légère dégradation des propriétés lorsqu'on fait de la simple substitution (surtout retrait, module et propriété de transfert)
- ▶ aucun signe de mauvais comportement en service, à ce stade (recul maxi 3 ans sur Chaponost)
- ▶ méconnaissance du sujet des différents acteurs engendrant la peur de prendre des risques qui n'existent pas forcément finalement...et impliquant la nécessité de faire de la formation/information
- ▶ moyennant la mise à jour de quelques textes clés (EN 206, Eurocodes), la mise en place de la boucle du béton dans le béton ne devrait pas présenter de difficulté majeure au niveau des projets. Il faut juste vouloir !



Merci pour votre attention

