

Propriétés de transfert des bétons de granulats recyclés

ANR ECOREB – tâche 3 « Durabilité »

J. Mai-Nhu, P. Rougeau, L. Schmitt, A. Tegguer, M. Saillio

DT-DMTB-2015-105

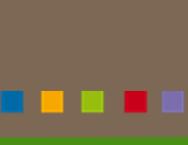
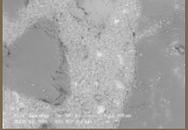


Colloque RECYBETON – J. MAI-NHU

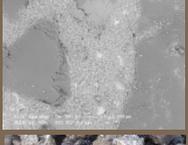
16/06/2015

Impacts énergétiques,
environnementaux et
sanitaires





- ▶ Contexte
- ▶ Positionnement de l'étude dans le projet
- ▶ Tâche 3 « Durabilité » du projet ANR ECOREB
- ▶ Indicateurs de durabilité
 - Compositions des bétons d'étude
 - Porosité accessible à l'eau
 - Coefficient de diffusion apparent des ions chlorure
 - Essai de carbonatation accéléré
 - Distribution de la taille des pores
- ▶ Modélisation de la durabilité des bétons recyclés



- ▶ **Propriétés physiques des granulats recyclés**
 - Forte dépendance de la qualité de la pâte cimentaire entourant les granulats concassés
 - Faible densité
 - Coefficient d'absorption d'eau élevée

- ▶ **Influence de la variabilité des propriétés des granulats sur les propriétés de durabilité des bétons recyclés ?**



- ▶ Le Projet National est organisé autour de six grandes thématiques :
 - **Thème 1 : Technologies et procédés**
 - T1.1 : Concassage et tri sélectif
 - T1.2 : Ciment incorporant des recyclés
 - T1.3 : Bétons incorporant des recyclés
 - **Thème 2 : Matériaux et structure**
 - T2.1 : Granulats et fines recyclés
 - T2.2 : Bétons recyclés à l'état frais et durcissant
 - T2.3 : Bétons recyclés à l'état durci –comportement mécanique
 - **T2.4 : Durabilité des bétons recyclés à l'état durci**
 - T2.5 : Bétons recyclés – feu, thermique
 - **Thème 3 : Développement durable**
 - T3.1 : Aspects socio-économiques
 - T3.2 : Aspects environnementaux et sanitaires
 - **Thème 4 : Aspects réglementaires et normatifs**
 - **Thème 5 : Valorisation**
 - **Thème 6 : Mélanges granulats recyclés / naturels**



► Tâche 3.1 : Paramètres contrôlant la corrosion des armatures et le dimensionnement des enrobages

■ Objectifs de l'étude

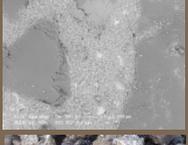
- Caractériser le comportement des bétons vis-à-vis de la carbonatation et de la migration des chlorures
- Analyse des enrobages nécessaires

■ Programme expérimental

- Réalisation d'essais accélérés de carbonatation et migration des chlorures

■ Modélisation

- Prise en compte de la variabilité des granulats (lien avec le thème 1)
- Réalisation de calculs prédictifs de la durée de vie des ouvrages
- Mener une réflexion sur les enrobages des armatures : détermination des indices de fiabilité pour plusieurs couples béton/enrobage



► Tâche 3.2 : Résistance des bétons au gel/dégel

■ Objectifs de l'étude

- Déterminer l'influence de la variabilité des caractéristiques des granulats issus de la démolition
- Vérifier la pertinence des valeurs seuils associées aux indicateurs de durabilité et utilisées pour les bétons traditionnels

■ Programme expérimental

- Réalisation d'essais accélérés de gel/dégel
- Réalisation d'essais d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline





► Tâche 3.3 : Indicateurs de durabilité

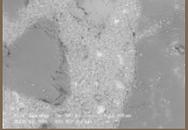
■ Objectifs de l'étude

- Détermination de la valeur des indicateurs de durabilité des bétons d'étude
- Analyse comparative par rapport à un béton référence à base de granulats traditionnels

■ Programme expérimental

- Absorption d'eau
- Porosité accessible à l'eau
- Carbonatation accélérée
- Suivi des variations dimensionnelles
- Coefficient apparent de diffusion des ions chlorure
- Perméabilité au gaz
- Porosimétrie mercure





► Tâche 3.4 : Étude de la microstructure des bétons

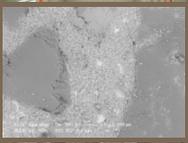
■ Objectifs de l'étude

- Caractériser l'évolution à long terme de la microstructure des bétons à base de granulats recyclés
- Préciser si l'effet de la cure interne est significatif ou non sur des paramètres importants liés à la durabilité

■ Programme expérimental

- Analyse de la microstructure à différentes échéances
- Observations au microscope optique
- Observations au microscope électronique à balayage
- Analyse par diffraction de rayons X





► Composition des bétons d'étude

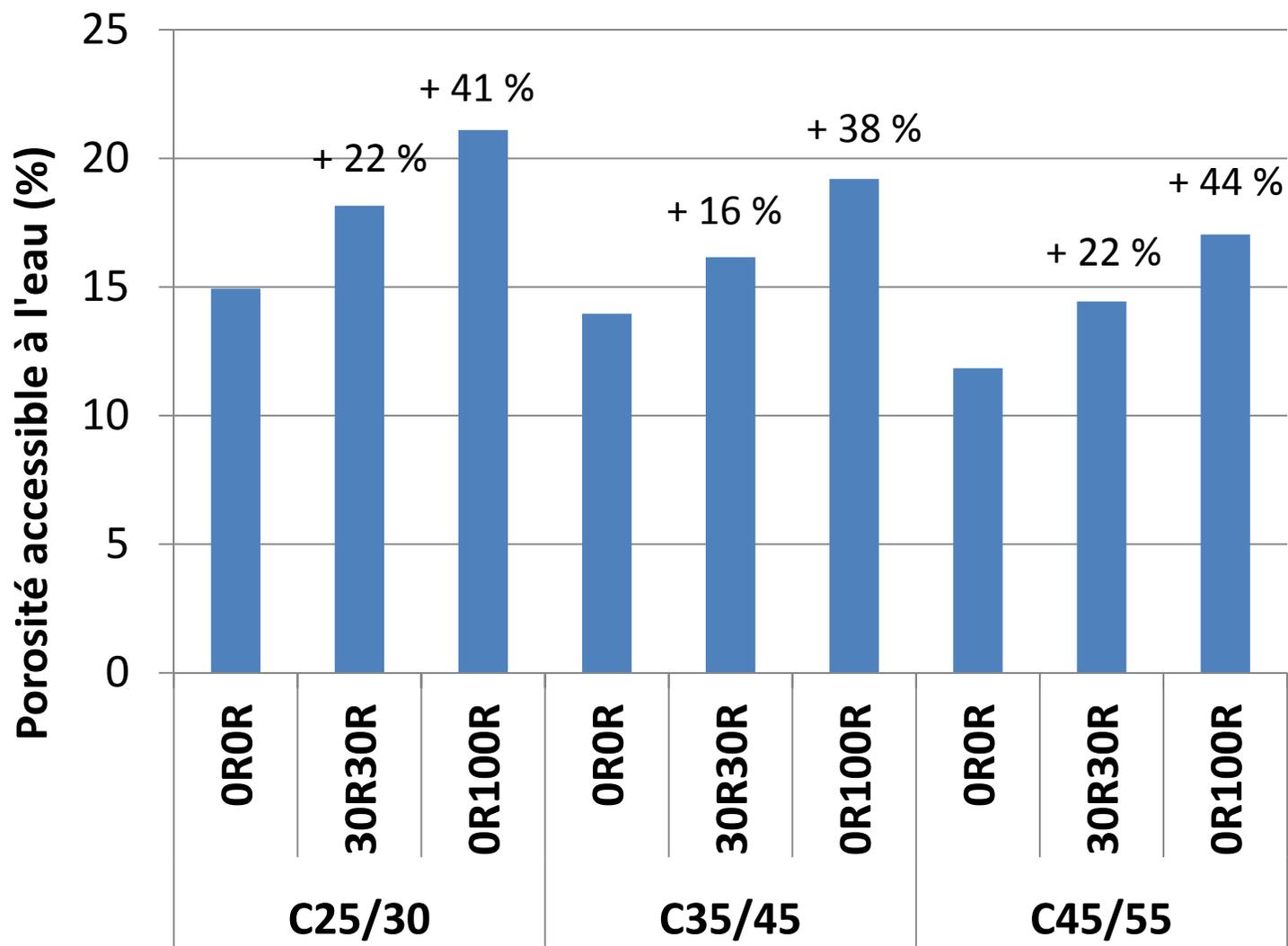
- **3 bétons C25/30 à base de ciment CEM II**
 - Sable 100 % N, Gravillon 100 % N (noté 0R/0R)
 - Sable 100 % N, Gravillon 100 % R (noté 0R/100R)
 - Sable 30 % R, Gravillon 30 % R (noté 30R/30R)

- **3 bétons C35/45 à base de ciment CEM II**
 - Sable 100 % N, Gravillon 100 % N (noté 0R/0R)
 - Sable 100 % N, Gravillon 100 % R (noté 0R/100R)
 - Sable 30 % R, Gravillon 30 % R (noté 30R/30R)

- **3 bétons C45/55 à base de ciment CEM II**
 - Sable 100 % N, Gravillon 100 % N (noté 0R/0R)
 - Sable 100 % N, Gravillon 100 % R (noté 0R/100R)
 - Sable 30 % R, Gravillon 30 % R (noté 30R/30R)

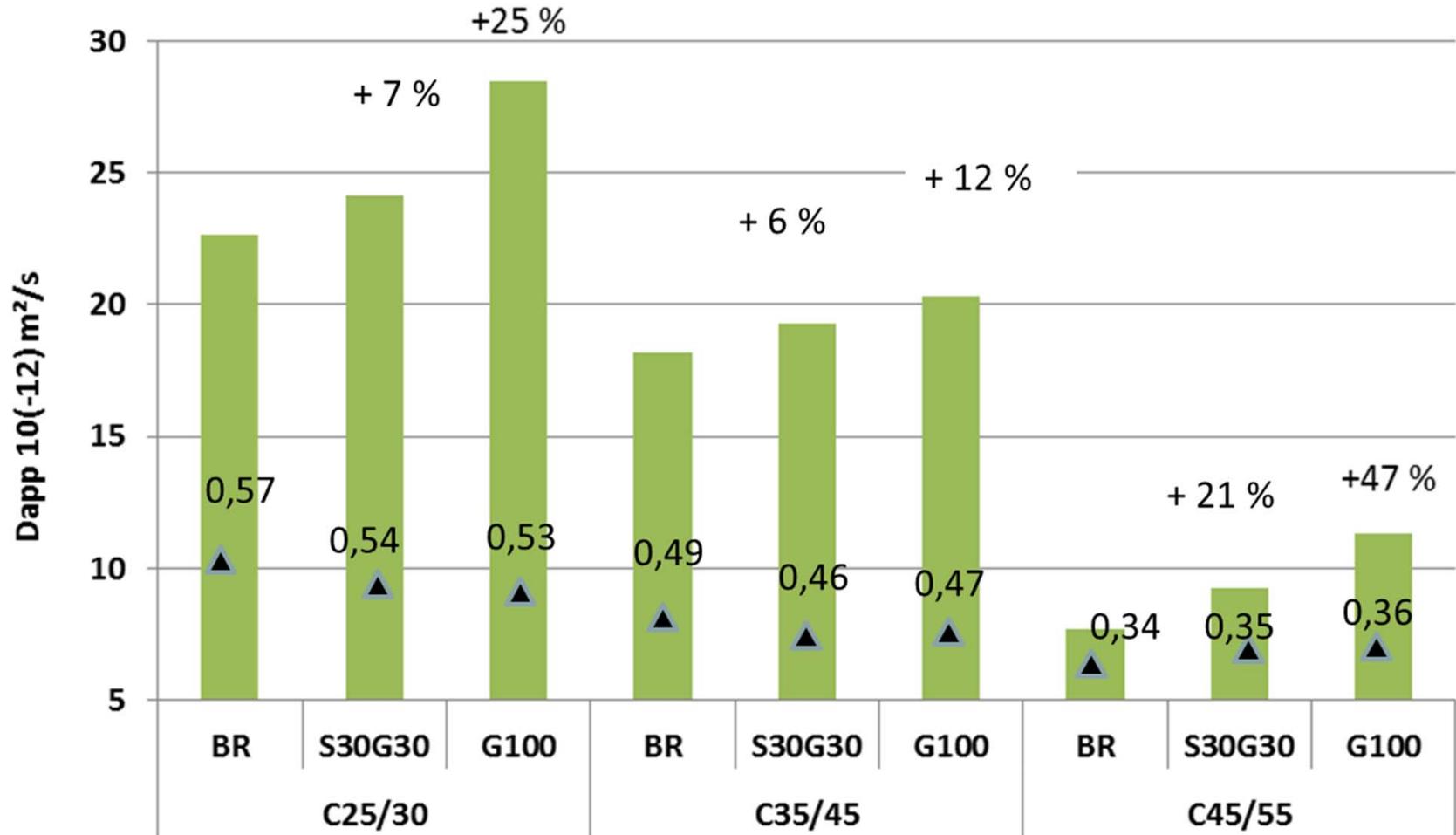


► Porosité accessible à l'eau (90 jours)





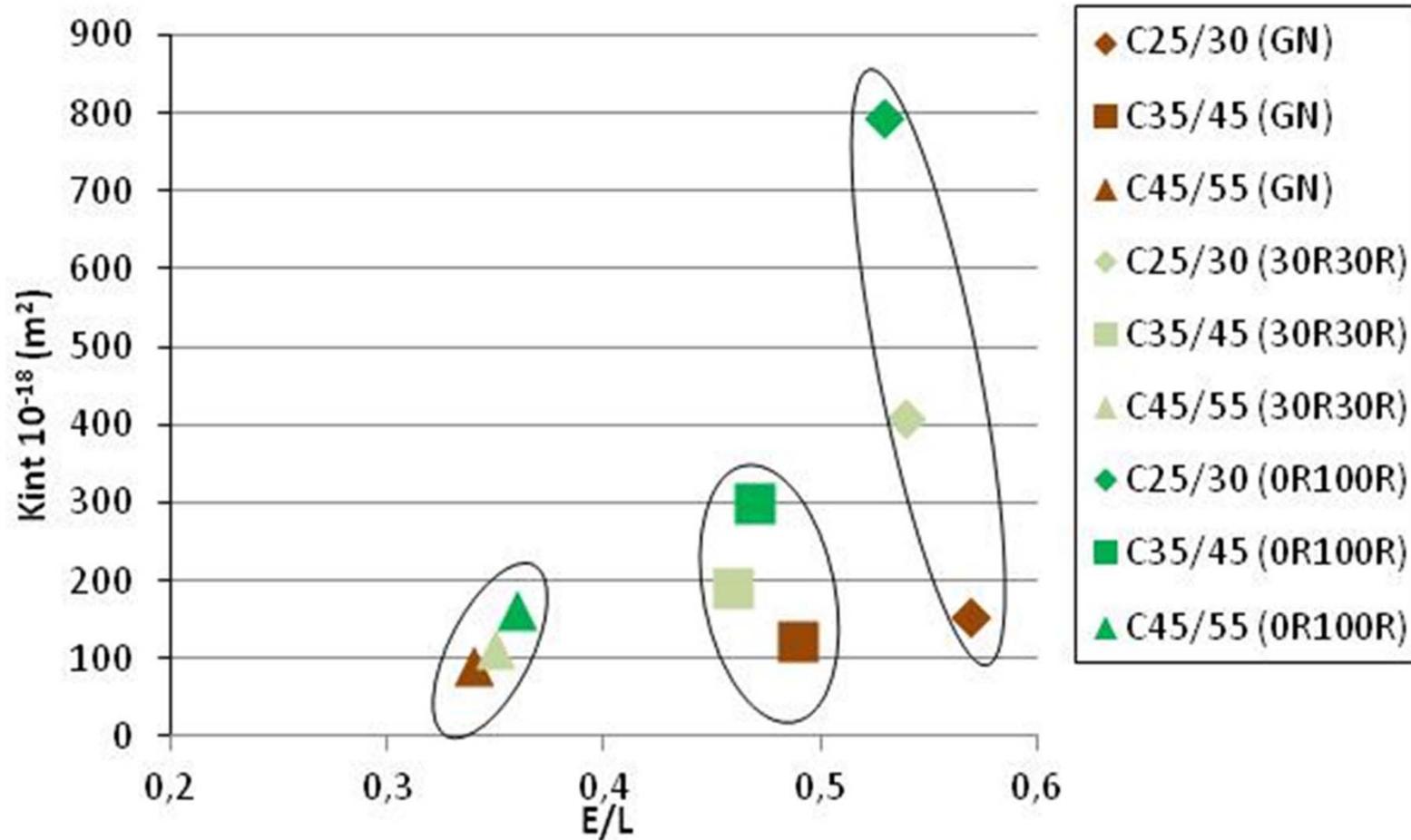
► Coefficient de diffusion apparent des ions chlorure (90 jours)



▲ Rapports E_{eff}/L

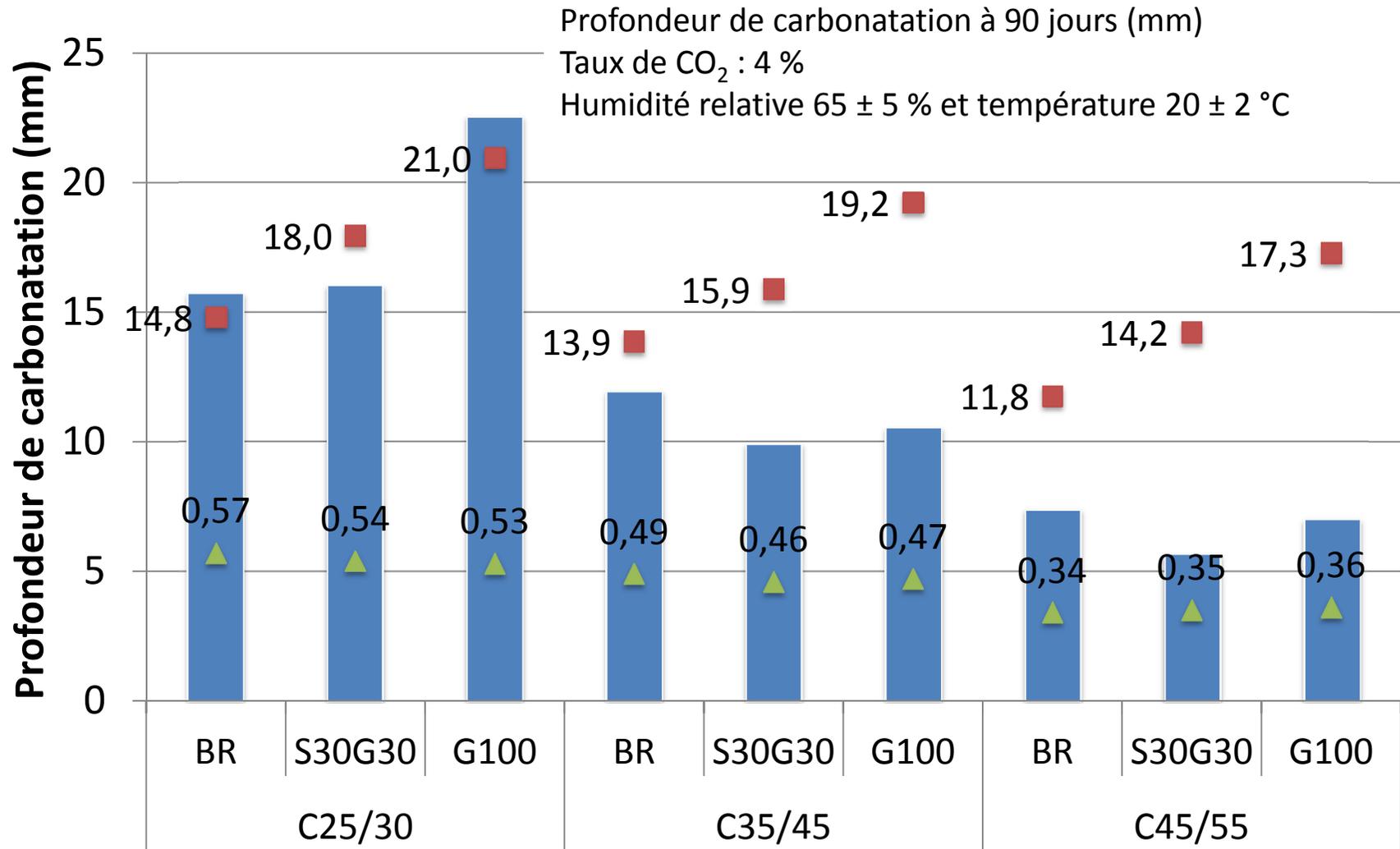


► Perméabilité au gaz (90 jours)



L'effet des granulats recyclés sur la perméabilité au gaz des bétons dépend fortement du rapport E_{eff}/L

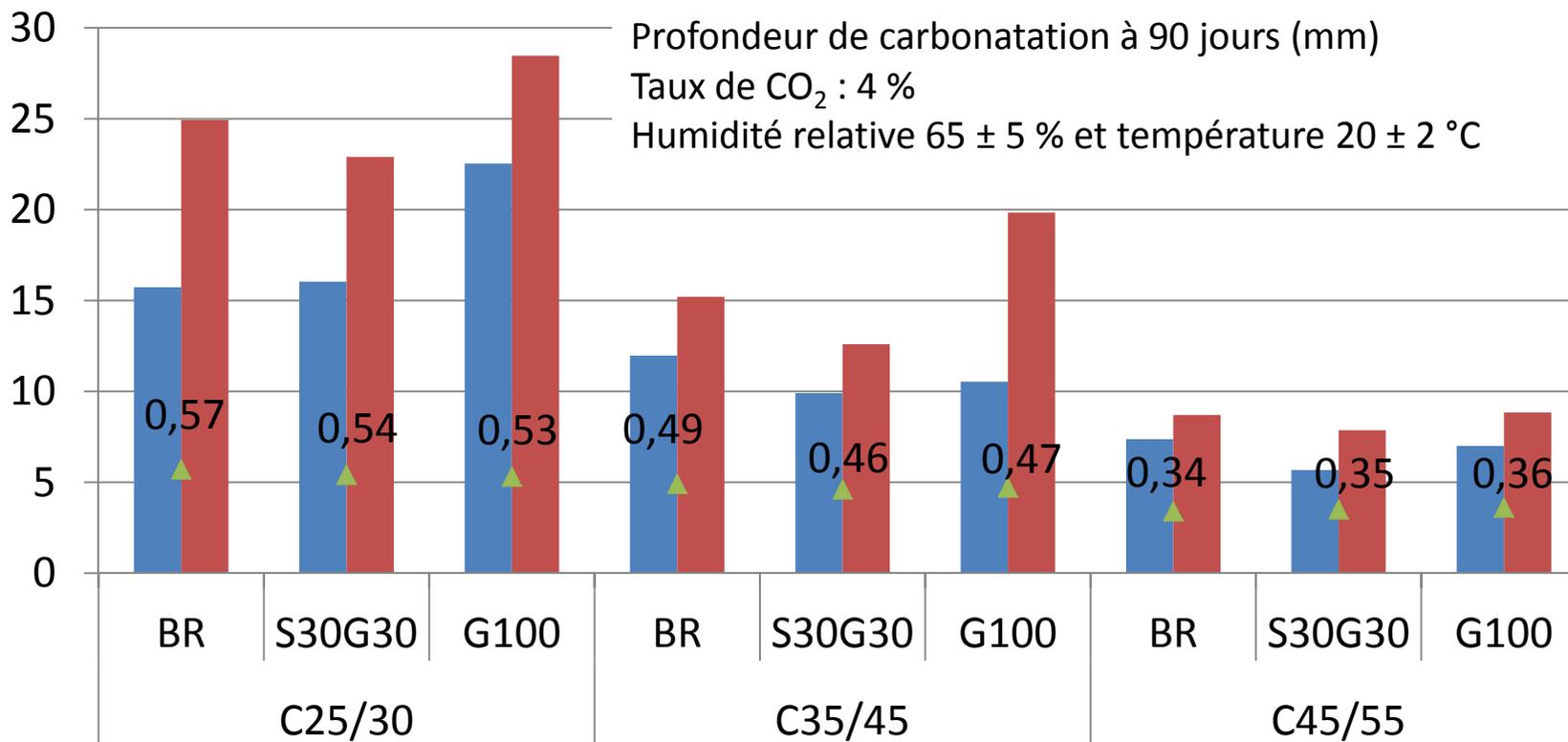
► Essai de carbonatation accéléré



■ Cure humide (90 jours dans l'eau, T = 20 °C) ■ Porosité (%) ▲ E/L



► Essai de carbonatation accéléré

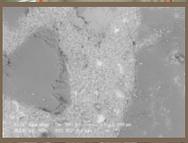


■ Cure humide (90 jours dans l'eau, T = 20 °C)

■ Cure sèche (3 jours dans l'eau puis 87 jours HR 50 %, T = 20 °C)

▲ E/L





► Modèles

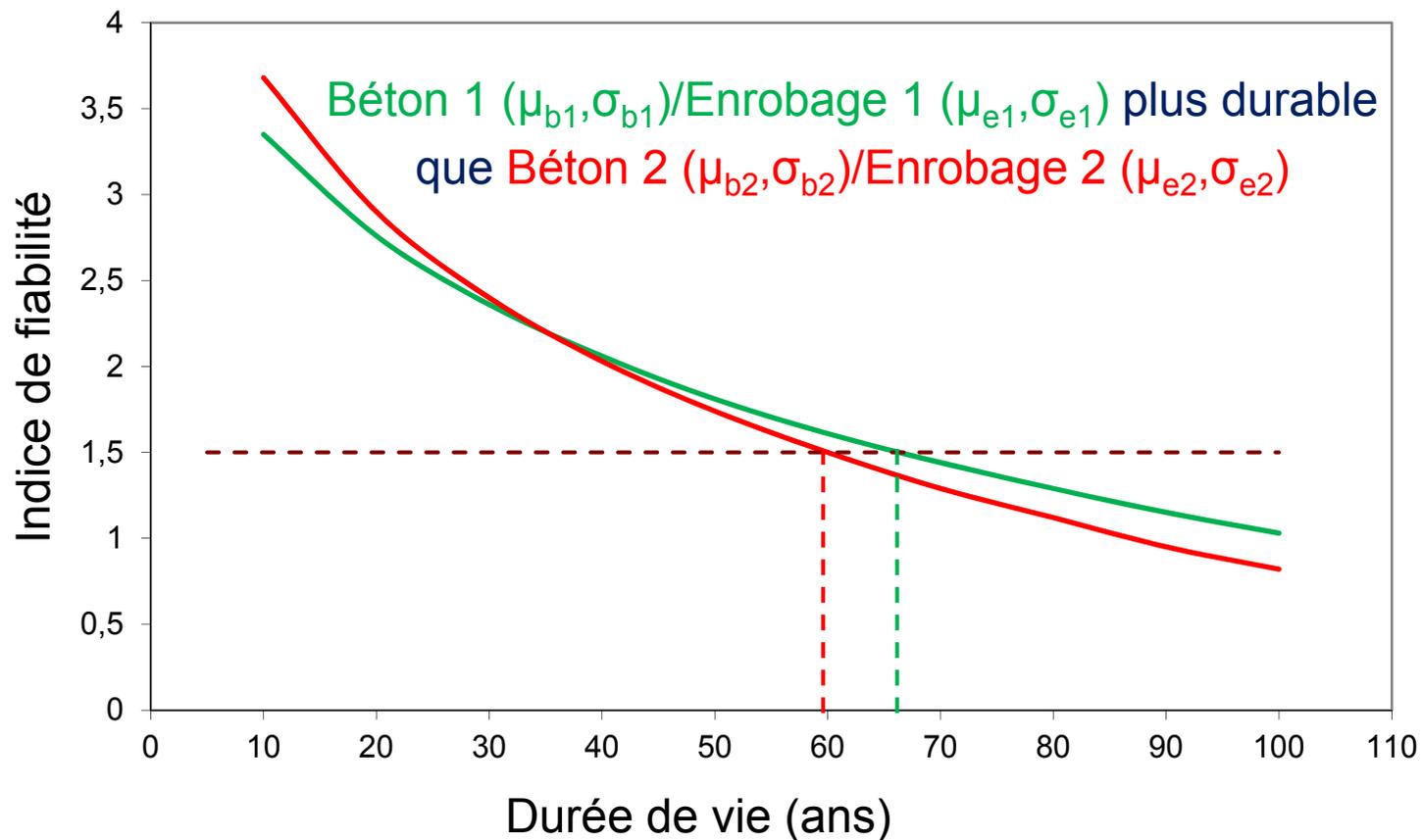
- **Model Code *fib***
 - Carbonatation
 - Chlorures
- **SDReaM-CRETE**
 - Couplage carbonatation/chlorures
 - Corrosion

► Méthodologie

- Réalisation de calculs prédictifs de la durée de vie des ouvrages
- Détermination des indices de fiabilité pour plusieurs couples béton/enrobage
- Réflexion sur les enrobages des armatures : déterminer l'ajustement des épaisseurs d'enrobage permettant de compenser l'éventuelle perte de durabilité des bétons recyclés



► Modélisation de la durée de vie de couple « béton/enrobage »



- *Modèle Hyvert, Mai-Nhu, CERIB/LMDC*

- *Travaux du projet ANR APPLET*





- ▶ Les essais de durabilité permettent d'évaluer l'impact des granulats recyclés sur les propriétés de transfert et les performances des bétons vis-à-vis des agressions physico-chimiques extérieures
- ▶ L'incorporation de granulats recyclés dans les bétons conduit à une augmentation de la porosité. Pour les autres propriétés de durabilité, l'impact des granulats recyclés dépend de la compacité de la matrice cimentaire
- ▶ Une optimisation de la compacité de la matrice cimentaire (diminution du rapport E_{eff}/L) permet de compenser l'éventuel impact des granulats recyclés et de maintenir de bonnes propriétés vis-à-vis de la durabilité (carbonatation, chlorures, perméabilité)

