

# Influence de la géométrie des granulats recyclés sur le captage de CO<sub>2</sub> par carbonatation accélérée et sur l'évolution de leur absorption

Braymand Sandrine<sup>1</sup>, Roux Sébastien<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ICUBE, UMR 7357, Université de Strasbourg, CNRS, Illkirch, Cedex, France

<sup>2</sup> ILL, UMR 7198, Université de Lorraine, CNRS, Nancy, France

**RESUME** Cet article explore l'effet de la géométrie (taille et distribution) des granulats de bétons recyclés (GBR) sur leur capacité à capter le CO<sub>2</sub> via un procédé de carbonatation accélérée. L'étude s'inscrit dans le cadre du Projet National FastCarb. Les GBR étudiés sont fabriqués à partir de mortiers de référence moulés ou concassés (MR), puis soumis à différentes conditions de carbonatation (durée, taux d'humidité). L'efficacité du captage de CO<sub>2</sub> est évaluée par calcimétrie, gain de masse et évolution de l'absorption d'eau. Ainsi les échantillons concassés présentent une capacité de captage plus élevée que les billes moulées, en raison d'une meilleure accessibilité aux pores. Une durée prolongée de traitement améliore le taux de carbonatation, mais avec une carbonatation incomplète et un ralentissement observé sur le CO<sub>2</sub> capté et ses effets. La taille des billes impacte également le captage, les plus petites étant plus performantes (en g/kg), ces résultats étant à rapprocher du front de carbonatation et de la surface des billes. La carbonatation réduit globalement l'absorption d'eau W24 qui reste incomplète pour les billes et avec une efficacité supérieure pour le mortier le plus fin. Une corrélation est confirmée entre gain de masse et captation de CO<sub>2</sub> pour des MR de même composition. La pré-humidification s'avère un facteur clé dans l'efficacité du procédé mais les résultats sont contrastés.

**Mots-clés** granulats de bétons recyclés, carbonatation accélérée, absorption, calcimétrie

## I. INTRODUCTION

Les granulats de béton recyclé (GBR) sont de plus en plus utilisés comme constituants dans les bétons. Néanmoins, leurs propriétés souvent dégradées, ainsi que leur forte variabilité, limitent leur emploi généralisé dans les formulations courantes. Leur composition entraîne des différences de propriétés avec les granulats naturels (GN) et une large plage de variations de ces propriétés, notamment en ce qui concerne l'absorption d'eau. De plus, l'industrie du ciment contribue à 5 à 7 % des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde (D. Zhang et al., 2016). Le captage des émissions industrielles de CO<sub>2</sub> permet de diminuer l'empreinte carbone de cette industrie. Une solution pour traiter ces deux aspects consiste à capter le CO<sub>2</sub> dans les GBR ce qui conduit à améliorer la qualité des granulats en obstruant leur porosité. C'était l'un des objectifs du projet national français FastCarb (Fastcarb) qui a étudié la carbonatation accélérée des GBR.

La carbonatation du béton, qui implique la réaction des hydrates de ciment (principalement la portlandite et les C-S-H) avec le CO<sub>2</sub>, est un phénomène étudié depuis longtemps car il influence la durabilité d'un matériau et la durée de vie d'une structure. (Vichot et al., 2008)

Dans le cas de la carbonatation de GBR, la littérature rapporte que ce traitement est efficace pour la séquestration du CO<sub>2</sub>, mais qu'il est influencé par de nombreux paramètres, tels que la nature du matériau à carbonater ou le processus de carbonatation (teneur en eau, concentration en CO<sub>2</sub>, etc, ...) (B. Zhan et al., 2014 ; L. Li et al., 2017). Il a été constaté que dans des conditions de laboratoire, il était possible de capturer 56% du potentiel de carbonatation des GBR (B. Zhan et al., 2014), mais cela dépend fortement de la composition des GBR, en particulier de leur matrice cimentaire.

Les paramètres influençant l'absorption de CO<sub>2</sub> lors d'un processus de carbonatation accélérée sont : la durée du traitement, la pression totale et l'humidité relative dans la chambre, la pression partielle de CO<sub>2</sub>, le flux éventuel de gaz à travers la chambre, le mouvement éventuel des agrégats, etc,... (B. Zhan et al., 2014 ; F. Brück et al., 2018 ; E.-E. Chang et al., 2012).

Les propriétés des GBR à traiter et leur conditionnement avant carbonatation exercent également une influence majeure sur l'efficacité des techniques de carbonatation : état de carbonatation antérieur, degré de saturation en eau, granulométrie, porosité, caractéristiques du matériau de base (nature du ciment, nature des granulats parents), etc. (B. Zhan et al., 2014 ; Simoes dos Reis et al., 2020). Certaines recherches recommandent la mise en œuvre de méthodes de prétraitement des granulats recyclés avant l'application du processus de carbonatation de façon à augmenter le stockage du CO<sub>2</sub> et avoir des effets bénéfiques sur les propriétés physiques et mécaniques des GBR traités. (B. Zhan et al., 2014 ; F. Brück et al., 2018 ; E.-E. Chang et al., 2012 ; G. Pan et al., 2017).

Dans des conditions similaires, les fines atteignent un taux de carbonatation plus élevé que les agrégats grossiers en raison d'une surface spécifique plus élevée (Fernandez bertos M. et al, 2008).

Certains auteurs ont basé leurs études sur la mesure du gain de masse au cours de la carbonatation (B. Zhan et al., 2014 ). Djerbi suppose que la masse de CO<sub>2</sub> fixée pendant la carbonatation est corrélée au gain de masse sèche (Djerbi A. et al., 2022). Cette approche sous-estime le taux de captage du CO<sub>2</sub> de 5 à 10%, mais cette erreur est supposée systématique pour un granulats recyclé donné (L. Evangelista et al., 2007).

Ce travail analyse l'influence de la carbonatation accélérée sur l'évolution des propriétés et sur le captage du CO<sub>2</sub> pour des mortiers de référence de composition définie, fabriqués en laboratoire puis conservés en environnement contrôlé. L'utilisation d'un mortier de référence permet de travailler sur un matériau modèle et ainsi de s'affranchir de l'hétérogénéité de composition des GBR. L'utilisation de billes moulées permet l'étude de l'influence de la taille des particules indépendamment des hétérogénéités liées au concassage. Le travail sur des granulats concassés complète cette étude en introduisant l'effet du concassage sur la forme des particules et leur distribution granulaire. Plusieurs géométries d'échantillons ont été mises en œuvre : billes de 15, 20 et 40 mm et sables et gravillons concassés (1/4 et 4/16 mm respectivement). Dans la suite de l'étude, le terme « géométrie » regroupe les différences de taille et de forme. Différents paramètres de carbonatation accélérée ont été appliqués aux échantillons (pré-humidification, durée, ...). L'efficacité de la carbonatation est contrôlée par le suivi de la prise de masse et de l'évolution de la teneur en CaCO<sub>3</sub> au cours de celle-ci. L'influence de la carbonatation accélérée sur les propriétés des GBR est évaluée sur la base des essais d'absorption.

## II. MATÉRIAUX ET MÉTHODES

### A. Granulats de béton recyclé à carbonater

Les GBR ont été fabriqués en laboratoire en 2020 à partir de mortiers de référence (MR20) de composition connue à base de CEM I et de sable siliceux normalisé (voir Tableau 1).

Les échantillons MR20-m sont obtenus directement par moulage sous forme de billes (qui ne sont pas des sphères parfaites mais avec un méplat) de 3 dimensions : 15 mm, 20 mm et 40 mm (voir Fig.1). Les échantillons MR20-c sont obtenus par broyage en laboratoire puis tamisage pour obtenir les 2 classes granulaires 1-4mm et 4-16 mm.

**TABLEAU 1:** Compositions des MR20 et procédé de fabrication

Réf.	Granulat	Type Ciment*	E/C	Ciment (%m)	Procédé	Äge mortier**	Age MR20***
MR20-m	siliceux	CEM I-52.5N 98%K	0,5	27	moulé	-	17 mois
MR20-c	siliceux	CEM I-52.5N 98%K	0,5	27	concassé	13 mois	17 mois

\* Ciments commerciaux \*\*âge lors du concassage \*\*\*âge lors de la carbonatation

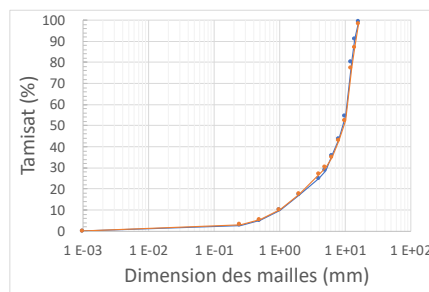
Dans le cas des matériaux concassés en laboratoire, une opération de quartage a été effectuée après le concassage afin d'obtenir un matériau représentatif, deux concassages à deux dates différentes ont été effectués avec (voir Fig.3.) un contrôle de la granulométrie obtenue, les mortiers 1/4 et 4/16 mm sont obtenus par tamisage à partir du mortier 0/16. Tous les échantillons ont été conservés sous vide après leur fabrication. (voir Fig.2)



**FIGURE 1.** Échantillonnage de billes moulées MR20-m (15 mm)



**FIGURE 2.** Quartage des mortiers concassés et mise sous vide MR20-c



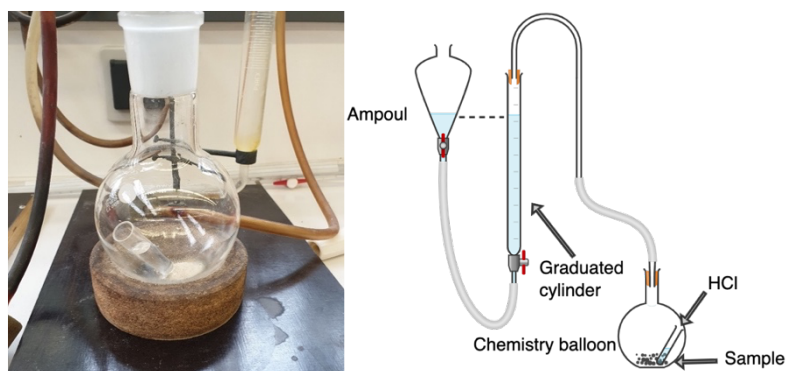
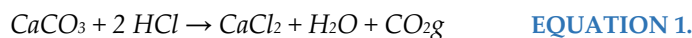
**FIGURE 3.** Distribution granulométrique des MR20-c 0/16 mm (2 échéances)

### B. Procédé de carbonatation accélérée

Les MR20 ont été séchés à 60°C jusqu'à stabilisation de la masse (1 ‰), puis conservés dans un dessiccateur fermé pendant un minimum de 6 heures avec du gel de silice. Une teneur en eau a ensuite été imposée à 0%, 50% ou 75% du coefficient d'absorption d'eau initial mesuré (W24). Ensuite, les MR20 ont été stockés dans un récipient hermétique pendant 7 jours afin d'assurer l'équilibrage de la teneur en eau. Les conditions de carbonatation accélérée sont les suivantes : 15% CO<sub>2</sub>, 60% HR, 20°C, pression atmosphérique. Deux durées de carbonatation ont été étudiées : 24 h et 72 h. À l'issue de la carbonatation les matériaux ont été séchés comme précédemment.

### C. Analyse des matériaux carbonatés

La quantité de CO<sub>2</sub> capté pendant la carbonatation est déterminée en comparant l'état initial du matériau avec son état post-carbonaté. Un calcimètre Bernard (cf. Fig. 4) est utilisé pour mesurer le volume de CO<sub>2</sub> libéré par l'action de l'acide chlorhydrique sur les carbonates d'un échantillon (équation 1). Le HCl doit être surdosé pour assurer une réaction complète.



**FIGURE 4.** Cellule de réaction acide-échantillon (calcimètre Bernard)

Des tests d'absorption (W24) ont été réalisés sur les MR non carbonatés et carbonatés selon la norme NF EN 1097-6. L'augmentation de masse en termes de gain entre les MR non carbonatés et les MR carbonatés a été mesurée.

## III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### A. Influence de la taille des MR et de la durée de carbonatation

Les valeurs données tableau 2 sont exprimées en pourcentage de la masse initiale d'échantillon sec. Ainsi, les résultats expérimentaux mettent en évidence que la carbonatation est incomplète à 72h quelle que soit la taille ou la forme de l'échantillon. En effet, alors que le matériau est de même composition initiale, les valeurs obtenues pour les billes et le mortier 4-16 mm ne sont pas identiques à celles obtenues pour le mortier 1-4 mm (captage du CO<sub>2</sub> mesuré le plus élevé). Les échantillons concassés présentent des taux de captage de CO<sub>2</sub> et d'évolution de propriétés bien meilleures, ce qui s'explique non seulement par leur surface spécifique plus élevée (taille des grains de 1 à 4 mm) mais également par une fracturation partielle favorisant la pénétration du CO<sub>2</sub>.

**TABLEAU 2.** CO<sub>2</sub> capté des MR20 (carbonatation accélérée teneur en eau à 75% de l'absorption).

MR20	Durée C [h]	MR Non-carbonaté		MR carbonaté		Δ CaCO <sub>3</sub> (%m)	CO <sub>2</sub> capté (g/kg)
		CaCO <sub>3</sub> (%m)	σ (%)	CaCO <sub>3</sub> (%m)	σ (%)		
m-15 a	24	4,50	0,27	5,64	-	1,14	5,01
m-15 b	72	4,50	0,27	6,96	0,18	2,46	10,82
m-20-a	24	4,37	-	5,26	-	0,89	3,91
m-20-b	72	4,37	-	5,46	-	1,09	4,79
m-40-a	24	4,25	-	5,13	-	0,88	3,87
m-40-b	72	4,25	-	5,86	-	1,61	7,07
c-1-a	24	3,56	-	9,44	-	5,88	25,84
c-1-b	72	3,56	-	12,1	-	8,54	37,53
c-4-a	24	3,68	-	8,12	-	4,44	19,52
c-4-b	72	3,68	-	11,22	-	7,54	33,15

Cependant, même pour cet échantillon 1-4 mm, les valeurs n'atteignent pas le potentiel de carbonatation théorique de ces billes qui peut être considéré égal à 76 g de CO<sub>2</sub> par kg de mortier, selon Claude et al. (Claude et al., 2024). Cette valeur est calculée à partir des quantités de calcium provenant de la portlandite et des CSH estimées avec le modèle de Kolani (Kolani et al., 2012). Les valeurs expérimentales n'atteignent pas non plus les taux de carbonatation obtenus par simulation numérique dans cette étude de Claude et al. qui sont respectivement de 46 g/kg pour la bille de 15mm et 37 g/kg pour la bille de 40 mm. Ces simulations (modèle SDReam-crete basé sur un couplage du phénomène de carbonatation et de pénétration des ions chlorure dans le béton en tenant compte des cycles hydriques) étant effectuées pour des conditions expérimentales et durée de carbonatation accélérée à 3 jours sur billes identiques à celle de notre étude. On peut cependant noter que la quantité de CO<sub>2</sub> capté sur mortier à 72h se rapproche de ces valeurs de simulation.

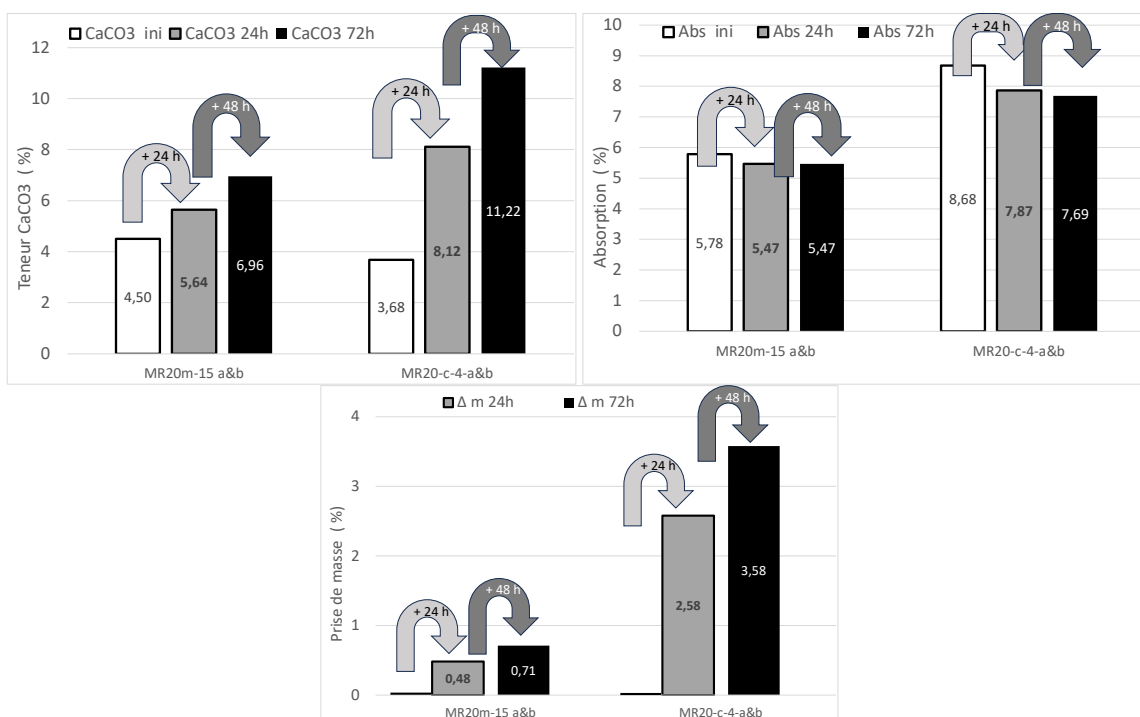
Cette non-complétude de la carbonatation (valeur expérimentale versus valeur théorique) fonction de la géométrie se retrouve dans l'observation de l'évolution de l'absorption et la prise de masse.

**TABLEAU 3.** ΔW24- Δmasse des MR20 (carbonatation accélérée teneur en eau à 75% de l'absorption)

MR20	Durée C [h]	MR Non-carbonaté		MR carbonaté		Δ W24(%)	Δ W24 rel.** (%)	Δ m (%m)
		W24 (%)	σ (%)	W24 (%)	σ (%)			
m-15 a	24	5,78	0,13	5,47	0,30	0,31	5,4	0,48 +/- 0,12
m-15 b	72	5,78	0,13	5,47	0,27	0,31	5,4	0,71 +/- 0,25
m-20-a	24	6,19	0,33	5,98	0,96	0,21	3,4	0,36 +/- 0,03
m-20-b	72	6,19	0,33	5,76	0,32	0,43	6,7	0,63 +/- 0,03
m-40-a	24	7,24	0,04	6,81	0,19	0,43	5,9	0,35 +/- 0,05
m-40-b	72	7,24	0,04	6,68	0,11	0,56	7,7	0,64 +/- 0,02
c-1-a	24	10,85	1,82	7,81	-	3,04	28,0	2,58*
c-1-b	72	10,85	1,82	6,99	-	3,86	35,5	3,58*
c-4-a	24	8,68	0,1	7,87	-	0,81	9,3	2,58*
c-4-b	72	8,68	0,1	7,69	-	0,99	11,4	3,58*

\* carbonatation faite sur le 1/16 ; \*\* Δ W24/W24 avant carbonatation (donné en %)

En effet, l'évolution (entre 0, 24h puis 72h) des propriétés étudiées diffère selon la taille des billes ou la granulométrie du mortier tel que présenté tableau 3. Les matériaux étant de composition identique, seule la géométrie peut influencer ces résultats : l'efficacité du procédé de carbonatation est fonction de ce paramètre. Il est à noter que l'absorption des billes à 24 h (W24-valeur conventionnelle) n'est pas complète, elle est uniquement utilisée ici comme valeur de comparaison avant et après carbonatation, tel un indicateur d'efficacité. Une analyse plus approfondie des résultats indique qu'un ralentissement de la carbonatation et de ses effets est observé puisque les cinétiques d'évolution du CO<sub>2</sub> capté (ou CaCO<sub>3</sub> formé), de l'absorption et de la prise de masse ne sont pas linéaires en fonction du temps (cf Figure 5). Ceci est plus marqué en ce qui concerne l'évolution de l'absorption : même si la carbonatation se poursuit encore, l'effet sur la baisse de l'absorption n'est pas aussi marqué et pour les billes de 15 mm, aucune évolution de l'absorption n'est observée entre une carbonatation à 24 h et 72 h, un effet de seuil est donc visible dans ce cas.



**FIGURE 5.** Mise en évidence du ralentissement des évolutions de la teneur en CaCO<sub>3</sub>, de l'absorption et de la prise de masse - Exemple pour les billes de 15 mm et le mortier 4/16 mm

Cette évolution différente de l'absorption et de la carbonatation est confirmée par une corrélation non significative entre l'évolution de l'absorption et celle du CaCO<sub>3</sub> formé représentée Figure 6. Au contraire une bonne corrélation est observée entre la prise de masse et l'évolution de la teneur en CaCO<sub>3</sub>, ce qui confirme les résultats de la littérature (Djerbi et al., 2022). Cependant cette bonne corrélation n'est pas généralisable à des matériaux à carbonater de compositions différentes (Braymand et al., 2025).

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces résultats. La teneur en CaCO<sub>3</sub> évolue au cours du temps selon un front de carbonatation. Ainsi les "petites" billes et le mortier atteignent plus vite un seuil de carbonatation (lié aux conditions expérimentales) par rapport aux billes de 40 mm, ce qui est confirmé par le test à la phénolphthaléine réalisé sur des billes de 20 mm et 40 mm (fig.7).

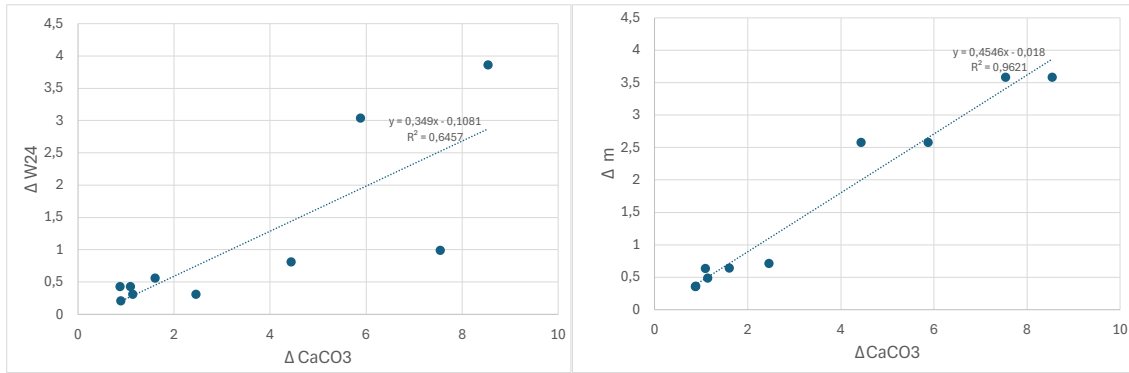


FIGURE 6. Étude des corrélations entre les évolutions de CaCO<sub>3</sub> (%), de W24 et de la prise de masse.

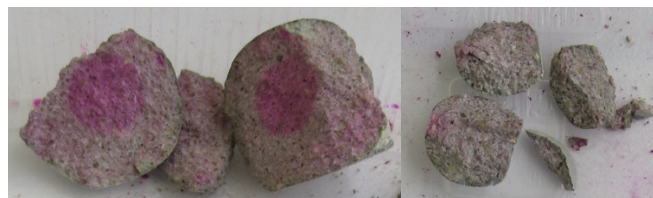


FIGURE 7. Contrôle de l'avancement de la carbonatation après 24h. pour les billes de 40mm et de 20 mm

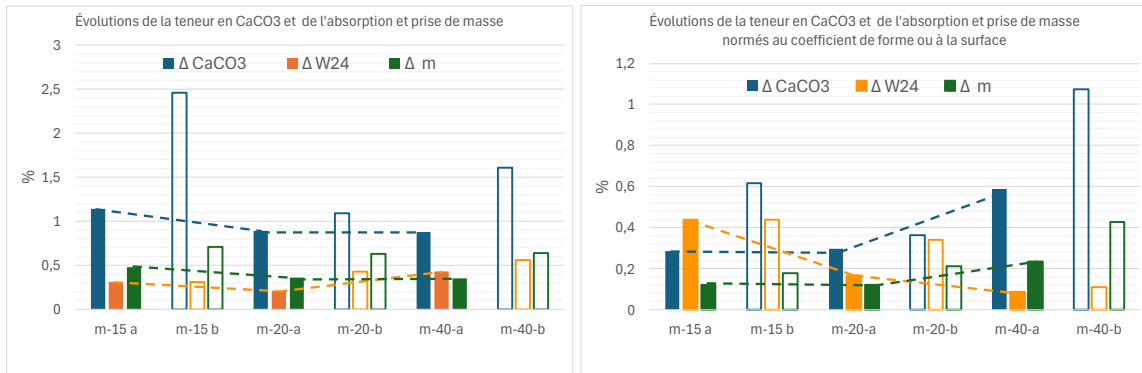
Il a donc été choisi de présenter les résultats sans les rapporter à la masse initiale d'échantillon mais en les normant par rapport à la surface d'échantillon. L'équation 2 justifie que cela revient à normer les valeurs des tableaux 2 et 3 par le coefficient de forme pour le CaCO<sub>3</sub> formé (à la masse volumique sèche près, identique pour les différents mortiers et égale à 2065 kg/m<sup>3</sup>). L'équation 2 est également valable pour la prise de masse.

$$\frac{m(\text{CaCO}_3 \text{ formé})}{S} = \frac{\%m(\text{CaCO}_3 \text{ formé}) \times \rho \times V}{S} = \frac{\%m(\text{CaCO}_3 \text{ formé}) \times \rho}{c} \quad \text{EQUATION 2.}$$

Avec c = coefficient de forme = rapport surface sur volume

Concernant l'évolution de l'absorption, les valeurs sont directement normées par rapport à la surface des billes. Dans un souci de simplification, pour normer les valeurs précédentes, les billes ont été considérées sphériques et le méplat négligé. Ainsi, les facteurs de forme des billes de 1,5, 2 et 4 cm sont respectivement de 4, 3 et 1,5 cm<sup>-1</sup> et leurs surfaces respectivement de 7, 13 et 50 cm<sup>2</sup>. Les valeurs de coefficients de forme expliquent en partie les écarts observés entre les billes pour les valeurs initiales d'absorption. Cette normalisation conduit à une bonne homogénéisation des valeurs pour les billes de 15 mm et 20 mm mais pas pour celles de 40 mm qui, normées par rapport au coefficient de forme indiquent une meilleure efficacité pour le captage de CO<sub>2</sub> (ou CaCO<sub>3</sub> formé) et de prise de masse mais au contraire une moindre efficacité pour l'absorption (fig. 8). Ces résultats s'expliquent de plusieurs façons. Concernant l'évolution de l'absorption (stabilisation marquée entre 24 h et 72h et efficacité moindre en valeur normée pour les billes de 40 mm), l'hypothèse d'une probable saturation en surface et donc d'une accessibilité moindre au réseau poral peut être émise. Concernant la meilleure efficacité de captage du CO<sub>2</sub> et de prise de masse pour les billes de 40 mm comparativement à celles de 15 et 20 mm, les résultats sont à rapprocher du volume du front de carbonatation. En effet le volume situé entre la surface et une profondeur donnée (assimilable à une

"croûte") n'évolue pas linéairement avec cette dernière. Ainsi à 25% de profondeur, cette "croûte" représente 60% du volume et à 75% de profondeur plus de 99%. Lorsque la carbonatation n'est pas complète (au maximum de sa capacité en conditions expérimentales), c'est ce volume de front de carbonatation qui est à considérer. Un suivi de celui-ci au cours du temps contribuerait donc à compléter cette étude. Cette analyse est partagée par les simulations réalisées par Claude et al. (Claude et al., 2024).



**FIGURE 7.** Évolutions en valeur brutes et normées de CaCO<sub>3</sub>, de W24 (x10 en valeur normée) et de la prise de masse.

*B. Influence de la teneur en eau de préhumidification*

Les essais complémentaires menés sur les billes de 15mm afin d'étudier l'influence du taux de pré-humidification sont présentés tableau 5.

**TABLEAU 5.** ΔW24- Δmasse des MR20 (carbonatation accélérée à différentes teneurs en eau)

MR20-15-a	pré- h. (%W24)	MR Non-carbonaté		MR carbonaté		Delta W24(%)	Delta m (%)
		W24 (%)	σ (%)	W24 (%)	σ (%)		
0%	0%	5,78	0,13	5,84	0,21	-0,06	0,40
50%	50%	5,78	0,13	5,62	0,23	0,16	1,27
75%	75%	5,78	0,13	5,40	0,16	0,38	0,94

Vis à vis de la prise de masse, le taux de pré-humidification optimal se situerait plutôt autour de 50% de la valeur initiale de l'absorption. Cependant ce résultat ne se retrouve pas pour la baisse d'absorption. Les effets contrastés de l'influence de la préhumidification et donc du taux de saturation dans la bille au cours de l'essai sont partagés par d'autres études. Ainsi Claude et al. conclut que la préhumidification à 75 % ne permet pas d'aboutir à un état de saturation uniforme avec le protocole utilisé. (Claude et al., 2024) il est probable que ce soit également le cas pour le taux de 50%. Les résultats sont donc difficiles à corréler et la valeur optimale de la préhumidification égale à 75% de la valeur d'absorption initiale ne peut pas être confirmée à ce stade de l'étude.

**III. CONCLUSION**

L'influence de la géométrie et de la forme des granulats recyclés de mortier de référence (MR) sur leur capacité à capter le CO<sub>2</sub> via un procédé de carbonatation accélérée a été étudiée. Il a été montré,

entre autres, que la carbonatation est incomplète à 72 h notamment pour les billes de 40 mm. Une durée prolongée de carbonatation permet de capter plus de CO<sub>2</sub> mais il est observé un ralentissement de l'efficacité de la carbonatation, les évolutions de propriétés ne sont pas linéaires en fonction du temps. Dans le cas du mortier recyclé concassé, une baisse significative de l'absorption a été constatée à la suite de la carbonatation accélérée notamment pour les échantillons 1- 4 mm. Cependant, même pour ces échantillons, le taux de captage du CO<sub>2</sub> n'atteint pas la moitié du potentiel carbonatable théorique (teneurs en portlandite et CSH). Cette non-complétude de la carbonatation et de son efficacité est confirmée par les résultats expérimentaux de l'évolution de l'absorption et la prise de masse différentes selon les échantillons.

L'influence de la géométrie et de la taille des échantillons sur la capacité à capter du CO<sub>2</sub> à une échéance donnée est complexe à analyser notamment en raison de surfaces de grains et de morphologie différentes, mais aussi du volume du front de carbonatation qui n'évolue pas linéairement avec le volume du grain.

La carbonatation, sans avoir atteint son potentiel maximal théorique (basé sur la composition du mortier), ni son potentiel simulé (modélisé selon SDR<sub>ream-crete</sub> pour les billes), présente un fort ralentissement à 72h et semble avoir atteint son influence maximale sur l'évolution de l'absorption des billes de 15 mm et des mortiers au contraire des billes de 40mm.

Une bonne corrélation entre la prise de masse et l'évolution de la teneur en CaCO<sub>3</sub> est confirmée pour ces échantillons de composition égale. La corrélation entre l'évolution de l'absorption et la quantité de CaCO<sub>3</sub> formé n'est pas linéaire ni directement démontrée, en raison d'une réduction probable de la taille des pores en surface de la bille n'empêchant pas la carbonatation de se poursuivre mais limitant la diffusion de l'eau dans le matériau (saturation en surface).

Enfin l'influence du taux de préhumidification sur le captage du CO<sub>2</sub> et l'évolution des propriétés doit être approfondi, par une connaissance fiable du réel taux de saturation au cœur du matériau.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le Ministère Français de la Transition Écologique et l'IREX pour le financement de cette étude menée dans le cadre du Projet National FastCarb.

## REFERENCES

D. Zhang, X. Cai, Y. Shao, 2016. Carbonation curing of precast fly ash concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(11), 1-9, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001649](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001649)

FastCarb, <https://fastcarb.fr/en/home/>

A.Vichot, J.-P. Ollivier., 2008, La durabilité des bétons, Bases scientifiques pour la formulation de bétons durables dans leur environnement, *Collectif Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et chaussées*, Paris, France

B. Zhan, C.S. Poon, Q. Liu, S. Kou, C. Shi, 2014, Experimental study on CO<sub>2</sub> curing for enhancement of recycled aggregate properties, *Construction and Building Materials*, 67(part A), 3-7, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.008>

L. Li, C.S. Poon, J. Xiao, D. Xuan, 2017. Effect of carbonated recycled coarse aggregate on the dynamic compressive behavior of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, 151, 52-62, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.043>

F. Brück, K. Schnabel, T. Mansfeldt, H. Weigand, 2018, Accelerated carbonation of waste incinerator bottom ash in a rotating drum batch reactor, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 5259-5268, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.024>

E.-E. Chang, S.-Y Pan., Chen Y.-H., Tan C.-S., Chiang P.-C., 2012 Accelerated carbonation of steelmaking slags in a high-gravity rotating packed bed, *Journal of Hazardous materials*, 227-228, 97-106, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.05.021>

Simoés dos Reis, G., Cazaglui B.G., R. Artoni, J.-M. Torrenti, 2020, Effect of the accelerated carbonation treatment on the recycled sand physico-chemical characteristics through the rolling carbonation process, *Journal of CO2 utilization*, 39, 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101181>

G. Pan, M. Zhan, M. Fu, Y. Wang, X. Lu, 2017, Effect of CO2 curing on demolition recycled fine aggregate enhance by calcium hydroxide pre-soaking, *Construction and Building Materials*, 154, 810-818, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.079>

M. Fernández Bertos, S.J.R Simons, C.D. Hills, P.J Carey, 2004, A review of accelerated carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO2. *Journal of hazardous materials*, 112 (3), 193-205, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.04.019>

A.Djerbi, B. Cazacliu, M. Sereng, G. Simões dos Reis, O.M.Othman, J.Jeong, J. Colin, J.-M. Torrenti, 2022, Stockage du CO2 dans les granulats recyclés : développement des procédés de carbonatation accélérée, *Academic Journal of Civil Engineering*, 40(3), 1-19, <https://doi.org/10.26168/ajce.40.3.2>

L. Evangelista, J. De Brito, 2007, Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates, *Cement and Concrete Composites*, 29(5), 397-401, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>

P. Claude, P. Turcry, M. Vouzelaud, J. Mai-Nhu, T. Pernin, B. Huet, & S. Braymand, 2024, Piégeage du CO2 par carbonatation de granulats recyclés : modélisation de l'influence de la taille et de l'état hydrique à l'échelle d'un grain. *Academic Journal of Civil Engineering*, 42(1), 519-530. <https://doi.org/10.26168/ajce.42.1.46>

B Kolani, Laurie Buffo-Lacarri.re, Alain Sellier, G Escadeillas, L Boutillon, L Linger. (2012), Hydration of slag-blended cements, *Cement and concrete composite*, 34(9), 1009-1018. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.05.007>

S. Braymand, H. Mercado Mendoza, S. Roux, Statistical analysis of a database collecting properties, *Concrete structures : extend lifetime, limit impacts, Proceedings of the 2025 fib International Symposium*, Antibes, France, 411-422