
Estimation du volume élémentaire représentatif associé à la détermination d'isothermes de désorption sur bétons

Qier Wu

LML – Laboratoire Mécanique de Lille - UMR 8107 CNRS – Polytech Lille – - 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, qier.wu@polytech-lille.fr

Prix Jeunes Chercheurs « René Houpert »

RÉSUMÉ. L'objectif de ce travail est de développer un protocole expérimental pour estimer la taille du Volume Élémentaire Représentatif (VER) liée à l'obtention des isothermes de désorption de vapeur d'eau dans les bétons. Afin de garantir que les résultats expérimentaux puissent être considérés comme statistiquement représentatifs du béton étudié, une grande quantité de disques de trois épaisseurs (1 mm, 2 mm et 3 mm) ont été désaturés. L'épaisseur de disque n'a pas d'influence claire sur la totalité de perte relative de masse à une humidité relative imposée dès lors que la stabilisation de masse est atteinte. Une méthode d'analyse statistique est proposée pour estimer le VER lié à l'obtention des isothermes de désorption. Les résultats montrent qu'un volume de $7d^3$ peut être considéré comme un VER du béton pour obtenir les isothermes de désorption (d étant la taille du plus gros granulat).

MOTS-CLÉS : béton, effet de taille, isotherme de désorption, VER.

ABSTRACT. The aim of the present study is to develop an experimental method to estimate the Representative Volume Element (RVE) size related to the desorption isotherm of concrete. In order to ensure that experimental results can be statistically considered representative, a great amount of sliced samples of a concrete with three thicknesses (1 mm, 2 mm and 3 mm) have been de-saturated. The slice thickness had no clear influence on the relative mass loss once mass stabilization was reached. A method based on statistical analysis of water content and water saturation degree is proposed to estimate the RVE for water desorption experiment of concrete. The results show that a sample with the volume $7d^3$ may be considered as the RVE of concrete related to the desorption isotherm (d is the largest aggregate size).

KEYWORDS: concrete, size effect, desorption isotherm, RVE.

1. Introduction

Dans le cadre de la gestion des déchets radioactifs en France par l'Andra, l'évaluation des propriétés de rétention d'eau du béton est nécessaire pour comprendre, prédire et améliorer la durabilité des structures en béton. Les isothermes de désorption sont de première importance pour la connaissance du comportement vis-à-vis de ces propriétés de rétention (Baroghel-Bouny 2007), ainsi que dans la base de données qu'elles constituent pour la modélisation des phénomènes couplés thermo-hydro-mécaniques.

En raison des différentes tailles, des orientations et des formes de granulats noyés dans la matrice cimentaire, le béton démontre macroscopiquement une variabilité et une complexité très importantes. Afin de limiter l'effet de variabilité entre les différents échantillons d'un même béton, la meilleure méthode pour obtenir les isothermes de désorption de béton consiste à suivre les mêmes échantillons sur tout le processus de désaturation. Le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre de gaz-liquide-solide est très long (plusieurs années) lorsque l'expérience est effectuée avec des échantillons de grandes dimensions (Poyet 2009). Afin de réduire la durée d'expérience de désorption, des échantillons de dimensions réduites sont généralement utilisés : des disques minces, des échantillons broyés ou en poudre. Cependant, un compromis doit être trouvé entre la durée de l'expérience et la représentativité des échantillons. De nombreuses tentatives ont été menées afin de déterminer la taille du Volume Élémentaire Représentatif (VER) des matériaux cimentaires (Sebsadji et Chouicha 2012 ; Stroeven et al. 2004). Conventionnellement, la taille du VER de béton doit être au moins 3-5 fois la taille du plus gros granulat lorsque les propriétés mesurées concernant les comportements mécaniques. Toutefois, la taille du VER n'est pas nécessairement unique pour un matériau composite (Gitman et al. 2007), car il est sensible aux propriétés considérées (mécaniques, physiques...). Très peu d'études ont porté sur la détermination du VER associé au béton pour l'obtention d'une isotherme de sorption, et plus généralement du processus de désaturation-

resaturation. Les travaux présentés ici s'attachent à proposer un protocole assurant à la fois représentativité du matériau et rapidité d'obtention d'une mesure fiable.

2. Programme expérimental

2.1. Matériau étudié et préparation des échantillons

Un béton sur la base d'un ciment CEM I, dénommé « béton CEM I » et envisagé par l'Andra pour le stockage des déchets radioactifs, est étudié dans ce travail. Sa formulation est présentée dans le Tableau 1. De nombreux résultats d'isothermes de ce béton ont déjà été obtenus avec des échantillons cylindriques de grande taille (diamètre 37,5 mm, hauteur 30 – 50 mm), permettant de comparer avec les résultats de ce travail.

Tableau 1. Formulation du béton de référence Andra CEM I.

Composants	Nature	Provenance	Quantité
Ciment	CEM I 52,5 R	Lafarge	400 kg/m ³
Sable	Calcaire lavé 0/4mm	Carrière du Boulonnais	858 kg/m ³
Gravillons	Calcaire lavé 5/12mm	Carrière du Boulonnais	945 kg/m ³
Superplastifiant	Glénium 27	BASF	10 kg/m ³
Eau	-	-	171 kg/m ³
Rapport E/C	0,43	-	-

Les cylindres de béton CEM I (diamètre 37,5 mm) sont obtenus à partir du carottage d'une même poutre entreposée sous eau saturée en chaux dans un local à 20±2 °C pendant 4 mois. Au bout de deux mois de maturation supplémentaire, sept cylindres sont sciés en disques minces avec trois différentes épaisseurs de 1 mm, 2 mm et 3 mm, et sont ensuite placés à nouveau sous eau saturée en chaux pendant quatre mois avant l'expérience de désorption. Le carottage et le sciage sont réalisés sous eau de sorte que la dessiccation soit négligeable au cours de la préparation des disques. Tous les disques sont numérotés par le numéro du cylindre duquel ils sont extraits et l'ordre de sciage, ce qui permettra a posteriori de reconstituer virtuellement l'éprouvette après sciage (aux épaisseurs de découpe près). Le détail des échantillons est listé dans le Tableau 2 (cylindres de BI 1 à BI 8, le cylindre BI 4 a été écarté en raison de défauts superficiels très importants).

Tableau 2. Détail des échantillons.

Numéro de cylindre	BI 1	BI 2	BI 3	BI 5	BI 6	BI 7	BI 8
Épaisseur de disque (mm)	3	3	2	2	1	1	1
Quantité de disque	20	20	30	30	40	40	40

2.2. Procédure expérimentale

L'expérience de désorption de vapeur d'eau du béton CEM I est effectuée à une température fixe de 20 °C. Une gamme d'humidité relative est imposée successivement avec les valeurs HR= [95%; 90%; 80%; 65%; 50%; 30%; 12%]. La température et l'humidité relative sont contrôlées au moyen d'une enceinte climatique. Les mesures de masse sont effectuées à un jour, 4 jours et 7 jours après le changement de palier d'humidité relative, puis la fréquence est réduite à une mesure par semaine. Ces mesures sont rapidement effectuées dans une salle climatisée à 20±2 °C avec une humidité relative d'environ 40±5%. La résolution de balance utilisée est 0,1 mg. Afin d'éviter des perturbations fréquentes et importantes de l'environnement dans l'enceinte climatique, à chaque fois une boîte de 10 disques est sortie de l'enceinte climatique pour la mesure de masse. Dès que les masses de disques sont mesurées, ils sont replacés dans l'enceinte climatique. Ainsi, chaque disque n'est pas exposé à des conditions atmosphériques non contrôlées plus de 90 secondes pendant les mesures de masse. Cela limite la carbonatation de disques causée par le CO₂ atmosphérique et la variation de masse supplémentaire due à la variation d'humidité relative. Une injection en continu d'azote dans l'enceinte climatique est maintenue durant toute l'expérience de désorption afin d'éviter la carbonatation des disques. En outre, de l'azote additionnel y est injecté après chaque série de mesures. La stabilisation de masse à chaque humidité relative permet de calculer la teneur en eau massique w et le degré de saturation en eau S_w qui s'expriment par :

$$w(HR) = \frac{m(HR) - m_{sec}}{m_{sec}} \quad [1]$$

$$S_w(HR) = \frac{m(HR) - m_{sec}}{m_{sat} - m_{sec}} \quad [2]$$

où $m(HR)$ est la masse d'échantillon à la stabilisation à l'humidité relative HR ; m_{sec} la masse de l'échantillon sec et m_{sat} la masse de l'échantillon totalement saturé

3. Résultats et discussions

3.1 Cinétique de désaturation

Les courbes moyennes de cinétique de séchage de chaque cylindre étudié sont établies avec tous les disques issus de ce cylindre et présentées dans la Figure 1. En général, le temps nécessaire pour atteindre la stabilisation de masse à chaque humidité relative est d'environ 30 jours. Ce temps est notablement réduit avec le protocole expérimental actuel, en particulier aux faibles humidités relatives, par rapport à l'expérience avec des échantillons cylindriques (plus d'un an à l'humidité relative de 30%, diamètre 37,5 mm, hauteur 50 mm) (Brue et al. 2012). L'épaisseur de disque n'a pas d'influence claire sur la totalité de perte relative de masse à une humidité relative imposée dès lors que la stabilisation de masse est atteinte, car il n'y a pas d'étalement des résultats en fonction de l'épaisseur. Ceci permet de mettre en évidence que les effets du ratio surface/volume du disque sur la masse à l'équilibre sont faibles.

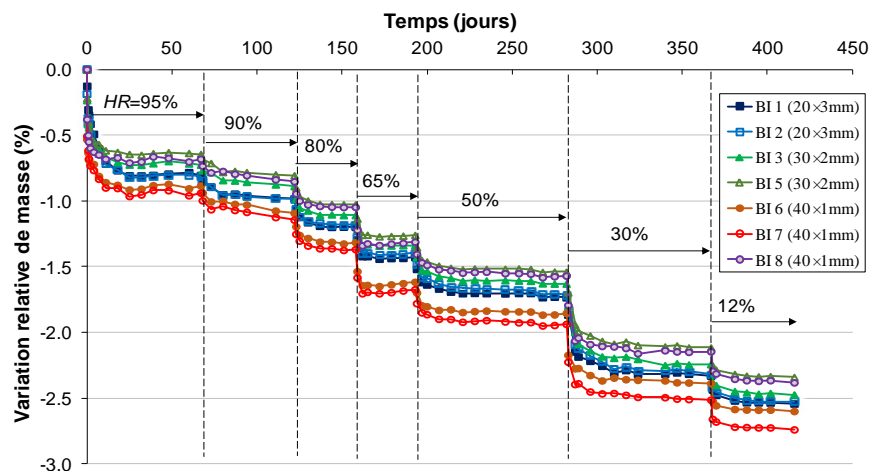


Figure 1. Evolution de variation relative de masse du béton CEM I en fonction du temps de désaturation.

3.2 Distribution de teneur en eau

Puisque tous les disques minces sont numérotés et marqués par l'ordre de sciage indiquant leur position dans le cylindre à partir duquel ils ont été sciés, il est possible d'analyser la distribution de la teneur en eau liée à la position des disques.

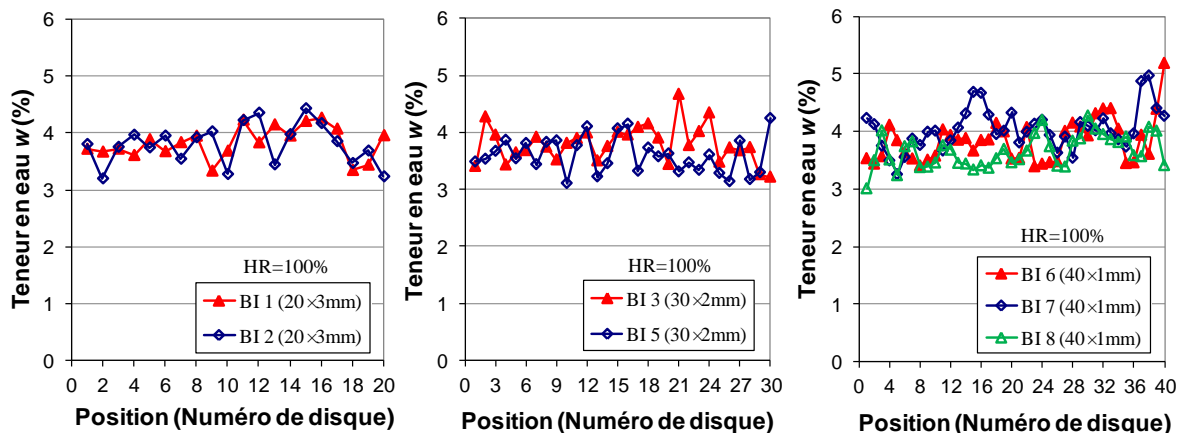


Figure 2. Distribution de teneur en eau à l'état totalement saturé en fonction de la position du disque.

La Figure 2 présente la distribution de teneur en eau à l'état totalement saturé (HR=100%) en fonction de la position du disque dans les cylindres. La différence de teneur en eau pourrait être attribuée à la différence de fraction volumique de granulats dans chaque disque (la quantité de perte d'eau dépendant principalement de la quantité de matrice cimentaire), sachant que la plus grande taille de granulats dans le béton CEM I est de 12 mm (beaucoup plus grande que l'épaisseur de disque). Une variation de teneur en eau d'environ 25% peut être constatée entre des disques voisins. Si plusieurs disques consécutifs sont choisis ensemble pour calculer la moyenne de teneur en eau, la différence entre ces moyennes devient beaucoup plus faible car il n'existe pas de larges zones dans les cylindres où toutes les teneurs en eau sont notablement plus élevées ou plus faibles. Cela implique l'existence du VER lié à la teneur en eau pour le béton CEM I, VER ayant une taille inférieure à celle du cylindre. Ce VER est également lié à la représentativité de la proportion de granulats. Il est alors possible de réduire le temps nécessaire à la fabrication d'échantillons et à la mesure de masse en sciant quelques disques consécutifs à partir d'un même cylindre de béton pour obtenir des résultats représentatifs du matériau.

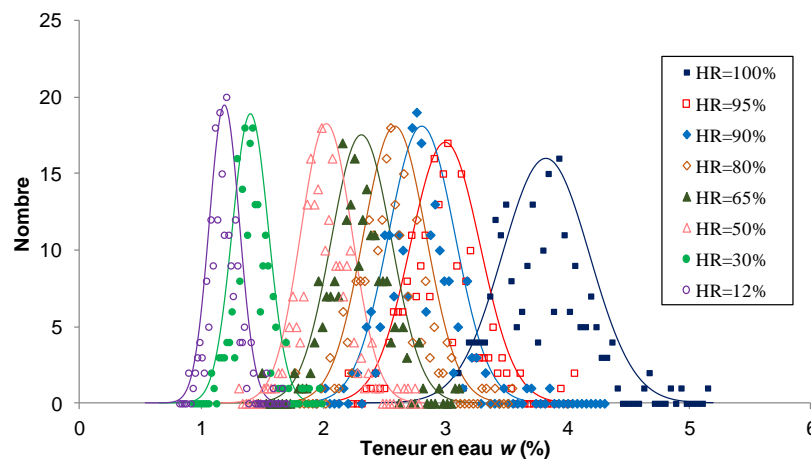


Figure 3. Distribution de teneur en eau en fonction de l'humidité relative.

La Figure 3 présente la distribution de teneur en eau de 220 disques en fonction de l'humidité relative. Toutes les distributions présentent une distribution quasi-gaussienne. La valeur moyenne de teneur en eau w , l'écart-type σ et le coefficient de variation cv calculés à partir de la distribution de teneur en eau pour chaque humidité relative sont donnés dans le Tableau 3. L'écart-type diminue avec l'humidité relative, mais le coefficient de variation reste à peu près constant, ce qui tend à indiquer la fiabilité du protocole expérimental sur toute la désorption (régulation de l'humidité relative qui n'induit pas, dans certaines gammes d'humidité relative, des dispersions plus importantes, ...) et l'absence de variabilité notable du réseau poreux du matériau (il n'y a pas d'échantillon où des pores d'un certain type sont très sur- ou sous-représentés).

Tableau 3. Paramètres de distribution de teneur en eau.

Paramètre	Humidité relative							
	100%	95%	90%	80%	65%	50%	30%	12%
w (%)	3,800	2,981	2,791	2,568	2,295	2,013	1,413	1,180
σ (%)	0,358	0,286	0,273	0,259	0,248	0,212	0,147	0,124
cv (%)	0,094	0,096	0,098	0,101	0,108	0,106	0,104	0,105

3.3 Estimation du VER lié à l'isotherme de désorption

Les paragraphes précédents ont montré une dépendance des résultats au disque retenu pour mesurer une isotherme ou une teneur en eau, liée à la taille relativement restreinte de l'échantillon comparativement aux granulats.

Une grande quantité de données sur la teneur en eau, le degré de saturation en eau et la variation relative de masse obtenue peuvent être utilisées ici pour estimer le VER lié à l'isotherme de désorption. L'isotherme de désorption de béton peut être exprimé en termes de teneur en eau et de degré de saturation en eau. Une méthode basée sur l'analyse statistique de ces données est proposée dans cette partie. Puisque le degré de saturation en eau

peut être déduit à partir des données de teneur en eau, il est tout d'abord choisi de travailler sur ces derniers pour estimer le VER lié à l'isotherme de désorption du béton.

La méthode d'estimation du VER basés sur la teneur en eau se compose des étapes suivantes :

(i) Calculer la moyenne de teneur en eau à une humidité relative imposée

La moyenne de teneur en eau de tous les disques minces issus d'un certain cylindre à une humidité relative imposée HR vaut :

$$\bar{w}(HR) = \frac{1}{j} \sum_{k=1}^j w_k(HR) \quad [3]$$

où $w_k(HR)$ est la teneur en eau de k -ième disque issu de ce cylindre à une humidité relative imposée HR; $j=20, 30, 40$ (nombre de disques de respectivement 3 mm, 2 mm, et 1 mm sciés dans un cylindre).

(ii) Calculer la moyenne estimée de teneur en eau de n disques consécutifs issus du même cylindre à une humidité relative imposée

Pour un certain cylindre scié en j disques, lorsque n disques consécutifs sont choisis pour estimer la moyenne de teneur en eau de ce cylindre, on peut obtenir $j-n+1$ moyennes estimées de teneur en eau, qui est un vecteur ayant $j-n+1$ composantes:

$$\vec{w}(HR, n) = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n w_k(HR), \frac{1}{n} \sum_{k=2}^{n+1} w_k(HR), \dots, \frac{1}{n} \sum_{k=p}^{p+n-1} w_k(HR), \dots, \frac{1}{n} \sum_{k=j-n+1}^j w_k(HR) \right) \quad (n \leq j) \quad [4]$$

(iii) Calculer la déviation relative maximale $\varepsilon_{\max}(n)$ et le coefficient de variation maximal $c_{\max}(n)$ de la moyenne estimée de teneur en eau d'un certain cylindre pour un n choisi

La déviation relative maximale à une humidité relative imposée $\varepsilon(HR, n)$ pour un n choisi est définie par :

$$\varepsilon(HR, n) = \max \left(\left| \frac{w(HR, n)_1 - \bar{w}(HR)}{\bar{w}(HR)} \right|, \dots, \left| \frac{w(HR, n)_p - \bar{w}(HR)}{\bar{w}(HR)} \right|, \dots, \left| \frac{w(HR, n)_{j-n+1} - \bar{w}(HR)}{\bar{w}(HR)} \right| \right) \quad [5]$$

où $w(HR, n)_p$ est la p -ième composante du vecteur $\vec{w}(HR, n)$.

L'écart-type corrigé à une humidité relative imposée $\varepsilon(HR, n)$ est défini par :

$$\sigma(HR, n) = \sqrt{\frac{1}{j-n} \sum_{p=1}^{j-n+1} (w(HR, n)_p - \bar{w}(HR))^2} \quad [6]$$

Le coefficient de variation à une humidité relative imposée $c(HR, n)$ est défini comme le rapport entre l'écart-type corrigé et la moyenne de teneur en eau calculé par l'équation [3]:

$$c(HR, n) = \frac{\sigma(HR, n)}{\bar{w}(HR)} \quad [7]$$

Les teneurs en eau sont obtenues pour huit paliers d'humidité relative 100%, 95%, 90%, 80%, 65%, 50%, 30% et 12%. $\varepsilon(HR, n)$ et $c(HR, n)$ peuvent être calculés pour toutes ces huit humidités relatives.

La déviation relative maximale $\varepsilon_{\max}(n)$ de la moyenne estimée de teneur en eau d'un certain cylindre pour un n choisi est défini par :

$$\varepsilon_{\max}(n) = \max(\varepsilon(100\%, n), \dots, \varepsilon(65\%, n), \dots, \varepsilon(12\%, n)) \quad [8]$$

Le coefficient de variation maximal $c_{\max}(n)$ de la moyenne estimée de teneur en eau d'un certain cylindre pour un n choisi est défini par :

$$c_{\max}(n) = \max(c(100\%, n), \dots, c(65\%, n), \dots, c(12\%, n)) \quad [9]$$

La Figure 4 présente l'évolution de ε_{\max} et c_{\max} de teneur en eau en fonction de la quantité de disques n choisie pour estimer la moyenne de teneur en eau de chaque cylindre. Il est à noter que ε_{\max} et c_{\max} diminuent avec l'augmentation de n . En général, plus n est grand, plus l'estimation de moyenne de teneur en eau calculée par n disques consécutifs choisis approche la moyenne de teneur en eau de tous les disques issus d'un certain cylindre.

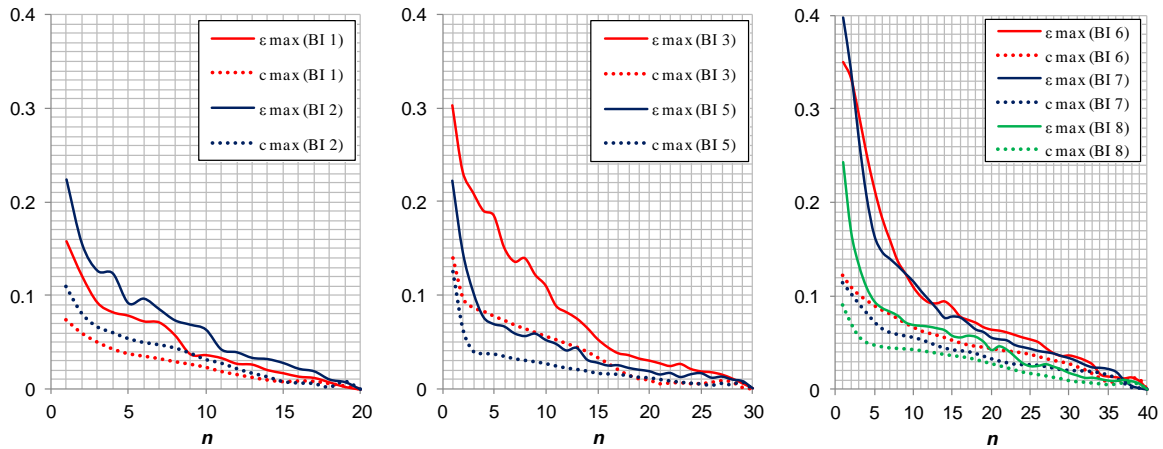


Figure 4. Evolution de ϵ_{\max} et c_{\max} de teneur en eau en fonction de la quantité de disques n .

(iv) Choisir un seuil t de ϵ_{\max} et c_{\max} de teneur en eau pour déterminer la valeur minimale n_{\min} afin de calculer l'épaisseur totale minimale d'échantillon H_{\min}

Afin d'estimer le VER lié à la teneur en eau, un seuil t de ϵ_{\max} et c_{\max} est nécessaire pour obtenir la valeur minimale n_{\min} . Il est à noter que, avec le même seuil t , n_{\min} obtenu à partir de la Figure 4 est toujours plus grand pour ϵ_{\max} . En fait, l'évaluation selon la déviation relative maximale avec un même seuil t , ce qui signifie qu'aucune moyenne estimée de teneur en eau n'est hors de l'intervalle $(1 \pm t)\bar{w}(HR)$, est plus restrictive que l'évaluation selon le coefficient de variation maximal c_{\max} .

Une fois qu'on obtient n_{\min} qui répond aux besoins, il est supposé que chaque élément du vecteur $\bar{w}(HR, n)$ est représentatif de $\bar{w}(HR)$. L'épaisseur totale minimale $H_{\min} = n_{\min}h$ (h est l'épaisseur d'un disque) peut être considérée comme l'épaisseur du VER pour le cylindre concerné. Puis le VER pour l'isotherme de désorption du béton peut être déduit à partir de toutes les épaisseurs totales minimales H_{\min} obtenues pour différents cylindres étudiés dans l'expérience de désorption.

Tableau 4. Obtention de n_{\min} avec un même seuil $t=5\%$ pour ϵ_{\max} et c_{\max} de teneur en eau.

Cylindre	h (mm)	$\epsilon_{\max} \leq 5\%$		$c_{\max} \leq 5\%$	
		n_{\min}	H_{\min} (mm)	n_{\min}	H_{\min} (mm)
BI 1	3	8	24	4	12
BI 2	3	11	33	6	18
BI 3	2	16	32	12	24
BI 5	2	11	22	3	6
BI 6	1	27	27	16	16
BI 7	1	23	23	12	12
BI 8	1	20	20	5	5

Dans le projet APPLÉT (Aï-Mokhtar et al. 2013) concernant la variabilité de propriétés de bétons, un coefficient de variation de teneur en eau de 10% a été obtenu pour les humidités relatives entre 33% et 100% pour trois échantillons d'une même gâchée. Ce coefficient peut atteindre 20% pour une humidité relative de 12%. Ici, un seuil t de 5% est tout d'abord choisi pour déterminer n_{\min} . Le Tableau 4 présente les n_{\min} obtenus à partir de la Figure 4 avec le même seuil $t=5\%$ pour ϵ_{\max} et c_{\max} de teneur en eau. Toutes les épaisseurs totales minimales H_{\min} nécessaires pour satisfaire le critère $\epsilon_{\max} \leq 5\%$ sont entre 20 mm et 33 mm. Quant à $c_{\max} \leq 5\%$, toutes les épaisseurs totales minimales H_{\min} obtenues sont de moins de 24 mm.

Le Tableau 5 présente les ϵ_{\max} et c_{\max} de teneur en eau obtenus à partir de la Figure 4 avec une épaisseur totale minimale H_{\min} de 12 mm (correspondant à la taille du plus gros granulat) pour chaque cylindre. Une déviation relative maximale entre 6,7% et 15,1 % et un coefficient de variation maximal entre 3,5% et 7,3 % sont obtenus. De ce fait, l'estimation de la teneur en eau avec des disques ayant une épaisseur totale de 12 mm serait acceptable.

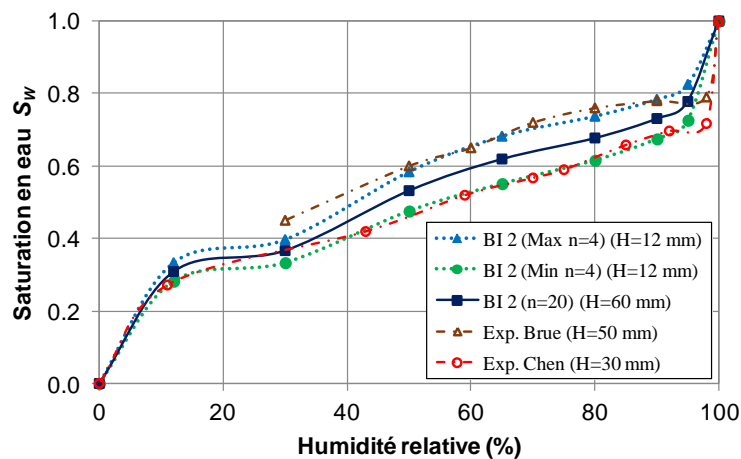
Tableau 5. Obtention de ε_{\max} et c_{\max} de teneur en eau avec $H=12$ mm.

Cylindre	h (mm)	H (mm)	n	ε_{\max}	c_{\max}
BI 1	3	12	4	8,3%	4,3%
BI 2	3	12	4	12,3%	6,0%
BI 3	2	12	6	15,1%	7,3%
BI 5	2	12	6	6,6%	3,5%
BI 6	1	12	12	9,3%	6,0%
BI 7	1	12	12	9,6%	5,0%
BI 8	1	12	12	6,7%	4,0%

La méthode proposée peut également être appliquée pour estimer le VER lié au degré de saturation en eau. Le Tableau 6 présente les ε_{\max} et c_{\max} de degré de saturation en eau obtenus avec une épaisseur totale de 12 mm pour chaque cylindre. Une déviation relative maximale inférieure à 10,9% et un coefficient de variation maximal inférieur à 6,7% sont obtenus.

Tableau 6. Obtention de ε_{\max} et c_{\max} de degré de saturation en eau avec $H=12$ mm.

Cylindre	h (mm)	H (mm)	n	ε_{\max}	c_{\max}
BI 1	3	12	4	5,0%	3,0%
BI 2	3	12	4	10,9%	6,7%
BI 3	2	12	6	8,5%	4,6%
BI 5	2	12	6	7,1%	4,5%
BI 6	1	12	12	7,3%	3,9%
BI 7	1	12	12	9,4%	5,5%
BI 8	1	12	12	2,6%	1,2%

**Figure 5.** Fuseau des isothermes de désorption estimé par 4 disques consécutifs du cylindre BI 2.

La Figure 5 montre le fuseau d'isothermes de désorption délimité par deux courbes en pointillé issues des valeurs moyennes maximale et minimale, lorsque 4 disques consécutifs du cylindre BI 2 ($H=12$ mm) sont choisis pour estimer le degré de saturation en eau. Par rapport aux isothermes de désorption des bétons CEM I ayant la même formulation dans la littérature (Brue et al. 2012 ; Chen et al. 2012) obtenues avec des échantillons cylindriques de même diamètre, l'estimation avec 4 disques consécutifs du cylindre BI 2 est acceptable, sachant en outre qu'il s'agit des cas limites. Par conséquent, des disques d'un diamètre de 37,5 mm et une épaisseur totale de 12 mm peuvent être considérés comme un VER du béton CEM I lié à l'isotherme de désorption, correspondant à la taille du plus gros granulat $d=12$ mm. Le volume total de l'échantillon peut être calculé par la suite: $V \approx \pi(3d)^2 d / 4 \approx 7d^3$, de fait l'erreur commise est inférieure à la variabilité intrinsèque du matériau et les effets de différentes gâchées. Néanmoins, il semble préférable de garder deux dimensions suffisamment grandes devant la taille du plus gros granulat afin de limiter la perte d'information sur la structure poreuse (par nature

tridimensionnelle). Un VER encore plus petit pourrait être retenu si l'exigence de précision est moindre, ou inversement un VER plus grand si on souhaite diminuer la dispersion des estimations.

Les trois épaisseurs de disque choisies dans cette étude n'ont pas d'influence sur la précision expérimentale avec la même épaisseur totale ($H=12$ mm), comme indiqué dans le Tableau 5 et le Tableau 6. Il est préférable d'effectuer les expériences de désorption du béton CEM I avec 4 disques de 3 mm, car le temps nécessaire à la stabilisation de masse ne varie pas beaucoup entre les disques de 3 mm et 1 mm. Dans ce cas-là le volume de l'échantillon est suffisant et la durée de l'expérience est réduite par rapport à un disque de 12 mm. Le temps nécessaire à la fabrication des échantillons et la mesure de masse est réduite par rapport à 12 disques de 1 mm et l'influence de carbonatation est limitée (les disques plus minces étant plus sensibles à la carbonatation, ce qui pourrait modifier le réseau de pores et la masse de l'échantillon et donc perturber l'obtention de l'isotherme).

4. Conclusions

Un protocole expérimental est développé et une méthode basée sur l'analyse statistique des données expérimentales de teneur en eau et de degré de saturation en eau est proposée pour estimer le VER lié à l'obtention des isothermes expérimentales de désorption de béton. L'épaisseur de disque n'a pas d'influence claire sur la totalité de perte relative de masse à une humidité relative imposée dès lors que la stabilisation de masse est atteinte. Il n'existe pas de larges zones dans les cylindres où toutes les valeurs sont notablement plus élevées ou plus faibles pour la distribution de la teneur en eau en fonction de la position des disques dans le cylindre à partir duquel ils ont été sciés. Cela implique l'existence du VER lié à la teneur en eau pour le béton CEM I, ayant une taille inférieure à celle du cylindre. L'analyse statistique basée sur la teneur en eau et le degré de saturation en eau par la méthode proposée suggère que le volume des disques ayant un diamètre de 37,5 mm et une épaisseur totale de 12 mm peut être suffisant pour effectuer l'expérience de désorption, correspondant au diamètre du plus gros granulat $d=12$ mm. Ce volume de $7d^3$ peut être considéré comme un VER du béton pour obtenir les isothermes de désorption.

5. Bibliographie

- [AÏ 13] AÏ-MOKHTAR A., BELARBI R., BENBOUDJEMA F., BURLION N., CAPRA B., CARCASSÈS M., COLLIAT J.B., CUSSIGH F., DEBY F., JACQUEMOT F., DE LARRARD T., LATASTE J.F., LE BESCOP P., PIERRE M., POYET S., ROUGEAU P., ROUGELOT T., SELIER A., SÉMÉNADISSE J., TORRENTI J.M., TRABELSI A., TURCRY P., YANEZ-GODOY H., «Experimental investigation of the variability of concrete durability properties », *Cement and Concrete Research*, vol. 45, 2013, p. 21-36.
- [BAR 07] BAROGHEL-BOUNY V., «Water vapour sorption experiments on hardened cementitious materials. Part II: Essential tool for assessment of transport properties and for durability prediction », *Cement and Concrete Research*, vol. 37, 2007, p. 438-454.
- [BRU 12] BRUE F., DAVY C.A., SKOCZYLAS F., BURLION N. BOURBON X., «Effect of temperature on the water retention properties of two high performance concretes », *Cement and Concrete Research*, vol. 42, n°2, 2012, p. 384-396.
- [CHE 12] CHEN W., LIU J., BRUE F., SKOCZYLAS F., DAVY C.A., BOURBON X., TALANDIER J., «Water retention and gas relative permeability of two industrial concretes », *Cement and Concrete Research*, vol. 42, n°7, 2012, p. 1001-1013.
- [GIT 07] GITMAN I.M., ASKES H., SLUYS L.J., «Representative volume: Existence and size determination », *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 74, n°16, 2007, p. 218-2534.
- [POY 09] POYET S., «Experimental investigation of the effect of temperature on the first desorption isotherm of concrete », *Cement and Concrete Research*, vol. 39, n°7, 2009, p. 1052-1059.
- [STR 04] STROEVEN M., ASKES H., SLUYS L.J., «Numerical determination of representative volumes for granular materials », *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 193, n°16, 2004, p. 3221-3238.
- [SEB 07] SEBSADJI S.K., CHOUICHA K., «Determining periodic representative volumes of concrete mixtures based on the fractal analysis », *International Journal of Solids and Structures*, vol. 49, 2012, p. 2941-22950.