

Jean-Luc ANDRE*
Richard SAINTILAN

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées,
Saint-Brieuc, France

* AUTEUR À CONTACTER :

Jean-Luc ANDRE
jean-luc.andre@developpement-
durable.gouv.fr

Étalonnage des caissons QAB

PRINCIPE

La pratique de l'essai quasi-adiabatique sur béton (essai QAB) nécessite de connaître avec précision le coefficient de déperdition thermique totale α et la capacité thermique μ des calorimètres employés, paramètres qui peuvent être déterminés par étalonnage.

La méthode, adaptée de la norme NF EN 196-9 « Méthodes d'essais des ciments – Partie 9 : chaleur d'hydratation – méthode semi-adiabatique » consiste à remplacer l'échantillon d'essai dans le calorimètre à étalonner par un cylindre d'étalonnage de dimensions équivalentes et muni d'une résistance électrique. En appliquant à la résistance électrique, une différence de potentiel connue pour provoquer son échauffement, la quantité d'énergie électrique appliquée correspond à l'échauffement dans le calorimètre et à la chaleur dissipée vers l'atmosphère. La déperdition thermique est alors calculée à partir de l'énergie électrique nécessaire au maintien d'une température constante.

La capacité thermique est ensuite déterminée par la mesure de la vitesse de baisse de température dans le calorimètre suite à la déconnexion de la source électrique.

APPAREILLAGE

Pour appliquer la méthode, l'appareillage suivant est nécessaire :

- un multimètre numérique, utilisé pour mesurer la résistance du cylindre d'étalonnage et les tensions d'essai ;
- une chaîne de mesure des températures à base de sondes Pt100 4 fils ;
- une alimentation stabilisée ;
- un cylindre d'étalonnage (**figure 2b**) constitué d'une éprouvette d'aluminium de forme identique à celle de l'éprouvette d'essai ($\varnothing 16 - H 32$ cm), munie d'une résistance chauffante d'environ 2 500 ohms à très faible coefficient de résistivité électrique (fil de constantan ou de manganin). Les fils de connexion de la résistance ont une petite section (0,05 mm² au maximum) pour éviter les fuites thermiques ;
- un calorimètre utilisé comme témoin pourvu d'un cylindre inerte de conception identique au cylindre d'étalonnage mais sans résistance chauffante ;
- une salle climatisée dont la température est comprise entre 19 et 21 °C et qui doit rester stable à $\pm 0,5$ °C.

MODE OPÉRATOIRE

■ Conditions préalables

Le calorimètre à étalonner est placé à proximité immédiate du calorimètre témoin, dans la salle climatisée (**figure 1**). Ils sont posés sur une table pour éviter l'influence des conditions d'échange thermique au ras du sol qui peuvent être très différentes d'une salle d'essai à l'autre.

figure 1

Vue des deux calorimètres.



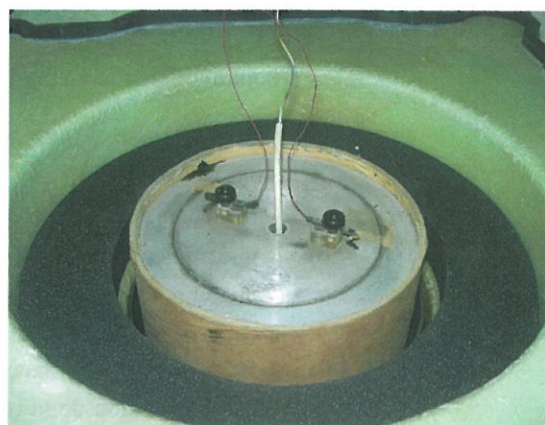
Un cylindre d'étalonnage, relié à l'alimentation, est placé dans le calorimètre à vérifier, tandis qu'un cylindre inerte est placé dans le calorimètre témoin. Une sonde à résistance de platine est placée au centre de chaque cylindre.

figure 2

*a) vue du calorimètre à étalonner avec sa résistance chauffante ;
b) vue agrandie.*



a | b



L'orifice du couvercle du calorimètre (presse étoupe) (**figures 1 et 2a**), permettant le passage des fils de connexion du cylindre d'étalonnage et de la sonde à résistance, est calfeutré hermétiquement afin d'éviter les courants de convection entre l'intérieur du calorimètre et le milieu ambiant.

■ Détermination du coefficient de déperdition thermique totale α

L'application d'une différence de potentiel aux bornes de la résistance du cylindre d'étalonnage provoque un échauffement de ce cylindre par effet Joule.

Le coefficient de déperdition thermique totale α du calorimètre s'obtient par la mesure, en régime permanent établi, de :

- la quantité de chaleur dégagée par effet Joule dans le cylindre d'étalonnage ;
- l'échauffement de ce cylindre par rapport à la température du cylindre inerte placé dans le calorimètre témoin.

Lorsque le régime permanent est atteint (le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre thermique est d'environ 14 jours), la chaleur fournie est entièrement dissipée vers le milieu extérieur.

L'équation des déperditions s'écrit alors :

$$P = V^2 \cdot R^{-1} = \alpha \cdot \theta$$

d'où $\alpha = V^2 \cdot R^{-1} \cdot \theta^{-1}$ (en $W \cdot ^\circ C^{-1}$)

ou encore $\alpha = 3600 V^2 \cdot R^{-1} \cdot \theta^{-1}$ (en $J \cdot h^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)

avec :

V (V) = tension d'alimentation aux bornes de la résistance

R (Ω) = résistance de l'enroulement chauffant

P (W) = puissance dissipée

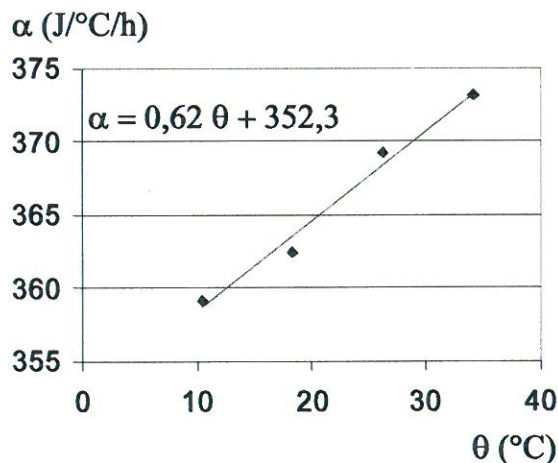
θ ($^\circ C$) = différence de température entre le cylindre d'étalonnage et le cylindre inerte

α ($J \cdot h^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$) = coefficient de déperdition thermique totale du calorimètre à la température θ .

Le coefficient α est déterminé pour quatre valeurs d'échauffements θ couvrant l'étendue des températures observées lors des essais. On obtient alors une variation linéaire de α avec θ (droite d'étalonnage) : $\alpha = a + b \cdot \theta$.

Les termes constants a et b sont calculés par la méthode des moindres carrés, le coefficient de corrélation linéaire devant être supérieur à 0,97. La **figure 3** présente un exemple de résultat.

figure 3
Exemple de droite
d'étalonnage.



Détermination de la capacité thermique μ

La mesure de la capacité thermique μ du calorimètre s'effectue par la méthode du refroidissement spontané lorsque l'on connaît l'expression du coefficient de déperdition thermique totale α .

Après avoir déterminé la capacité thermique C_T du calorimètre contenant un cylindre de capacité thermique C_E connue (cylindre d'étalonnage), on en déduit la capacité thermique du calorimètre vide μ .

Au cours du refroidissement (après avoir coupé l'alimentation), l'équation d'échange de chaleur s'écrit :

$$-C_T d\theta = \alpha \theta \cdot dt = (a + b\theta) \theta \cdot dt$$

$$\text{d'où } C_T = \frac{a \cdot t}{\log_e \frac{\theta_0 \alpha_t}{\theta_t \alpha_0}}$$

avec : t (heure) = temps de refroidissement à partir de l'instant initial

θ_0, α_0 = échauffement et coefficient de déperdition thermique totale au temps initial

θ_t, α_t = échauffement et coefficient de déperdition thermique totale au temps t

Quatre mesures de θt sont effectuées pour des durées de refroidissement de 24, 26, 28 et 30 heures.

Après avoir déterminé les valeurs de C_T correspondantes, la capacité thermique du calorimètre vide a pour valeur :

$$\mu = 1/4 \sum_{i=1}^4 \mu_i$$

avec : $\mu_i = C_{Ti} - C_E$

μ est exprimé en joules par degré Celsius.

PÉRIODICITÉ

Pour tenir compte de la dégradation des caractéristiques isolantes des calorimètres, leur vérification doit être renouvelée tous les 4 ans. Elle s'impose dans tous les cas si le calorimètre a été modifié ou remis à neuf.

EXEMPLE

La **figure 4** présente un exemple de PV d'étalonnage d'un calorimètre QAB.

