



0008-8846(95)00086-0

MODELISATION DU COMPORTEMENT DES MORTIERS DE REMBOURRAGE A LA FILTRATION

Abdelkrim AMOURA, Jean AMBROISE et Jean PERA

Laboratoire des Matériaux Minéraux

INSA de Lyon - 20, Avenue Albert Einstein,
69621 - Villeurbanne Cedex - France.

(Communicated by M. Moranville-Regourd)

(Received April 21, 1995)

ABSTRACT

In most applications the fundamental requirements of a flowable backfill are that it can be poured or pumped into voids in a structure or the interstices of another material and that it will set as a coherent mass which fills the entire space. The fresh properties of grouts are possibly more important than the workability of concrete as the filled region will usually be inaccessible to visual inspection. Thus, in backfill specifications much emphasis tends to be placed on flow behaviour and bleeding prior to set.

In the present study, the filtration of flowable fills is analyzed and modelized. A physical parameter is defined which allows the characterization of the pumpability of fills and their water retention.

RESUME

Dans la plupart des applications, les propriétés fondamentales que doit présenter un mortier de rembourrage concernent son aptitude à être injecté ou pompé dans les vides d'une structure tout en remplissant totalement la cavité. Ses propriétés à l'état frais sont au moins aussi importantes que la façon avec laquelle il se met en place car il est souvent inaccessible à une inspection visuelle. Une attention particulière doit donc être portée sur sa fluidité et son ressusage plutôt qu'à sa prise.

Dans l'étude présentée ci-après, la filtration de mortiers fluides est analysée et modélisée. Un paramètre physique est défini pour permettre la caractérisation de la pompabilité de tels mortiers et de leur capacité de rétention d'eau.

Introduction

Le mortier de rembourrage est un matériau destiné à combler le vide annulaire des ouvrages souterrains [1]. Il est formulé à base d'une suspension de ciment dans l'eau (coulis) à laquelle on ajoute une charge (sable, ou gravier fin). Les caractéristiques requises pour

l'utilisation de ce matériau sont: une bonne fluidité, une durée de vie modulable en fonction des exigences du chantier, un faible ressuage, une faible filtration, une pompabilité sur de longues distances (50 à 1000 m), un faible retrait, et une résistance à la compression voisine de celle du terrain naturel (0,3 à 0,5 MPa à 3 jours).

Le blocage des mortiers ou coulis d'injection dans les tuyaux lors du pompage, est un problème permanent qui conditionne l'injectabilité de ces matériaux. Des études récentes ont permis de modéliser le comportement d'une suspension soumise à une pression de pompage. La vitesse d'écoulement d'une suspension dans un tuyau diminue jusqu'à s'annuler [2] à l'approche d'une fine couche lubrifiante qui sépare la suspension de la paroi du tuyau [3, 4]. De ce fait, la filtration des mortiers sous l'effet de la pression de pompage augmente les résistances à l'écoulement ce qui provoque le blocage du matériau dans le tuyau lors de l'injection [5].

L'objectif de la présente étude est de déterminer deux paramètres rhéologiques spécifiques au matériau pompé, permettant de caractériser sa capacité de rétention d'eau et l'évolution de sa filtration dans le temps sous l'effet de la pression d'injection. Pour ce faire, une formulation de mortier à base de ciment, cendres volantes, et sable fin a été prise en compte.

Formulation du mortier

La formule de mortier utilisée est la suivante:

- ciment LK30 (75% laitier + 25% clinker) : 90 kg / m³
- cendres volantes silico-alumineuses (classe F selon la norme ASTM C618-78) : 450kg / m³
- sable 0/3 siliceux : 1400kg /m³

Procédure expérimentale

Pour caractériser la capacité de rétention d'eau et la filtration d'un mortier, on essore celui-ci dans un filtre presse BAROID, sous une pression P, pour différentes échéances. Les résultats obtenus permettent de tracer la courbe caractéristique de l'évolution du filtrat en fonction du temps (FIG 1).

La mesure du seuil de cisaillement se fait à l'aide d'un rhéomètre malaxeur CAD. Le principe consiste à mesurer l'évolution du couple de cisaillement en fonction de la vitesse de rotation du malaxeur. La vitesse de malaxage varie de 50 à 300tr/mn avec un pas de 30 secondes. Le temps de chargement (vitesse croissante) et de décharge (vitesse décroissante) est de 3 minutes. Après la phase ascendante, le mortier est soumis à un temps de repos d'une minute (vitesse de malaxage nulle). La dernière phase de l'essai consiste à mesurer le couple qui s'exerce sur la pale du malaxeur avec une vitesse décroissante (temps de décharge). La durée expérimentale totale de l'essai est de 7 minutes (FIG 2).

Le seuil de cisaillement est déduit des modèles rhéologiques des fluides de Bingham ou des fluides rhéoépaississants [6]:

* Fluide de BINGHAM

$$\sigma = \sigma_c + \alpha \epsilon$$

*Fluide rhéoépaississant

$$\sigma = \sigma_c + \alpha \epsilon^n \quad n > 1$$

avec: σ : couple de cisaillement, σ_c : seuil d'écoulement, α : viscosité plastique, ϵ : vitesse de malaxage.

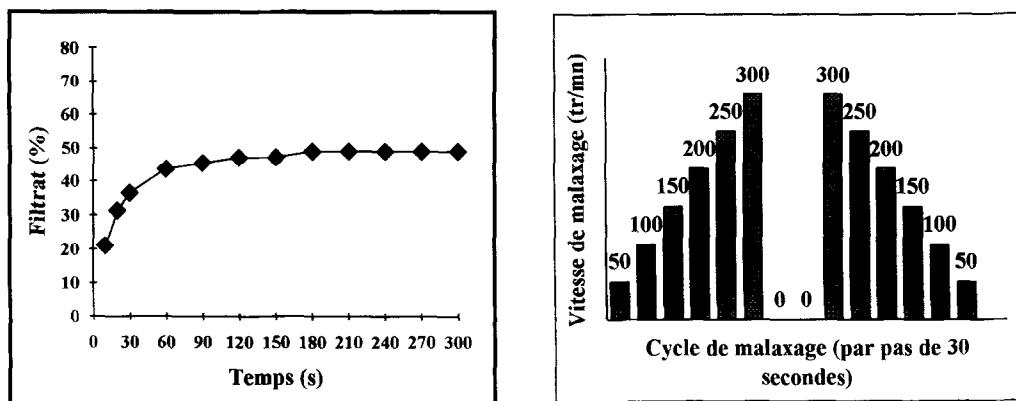


FIG 1: Représentation schématique de l'évolution du filtrat en fonction du temps.

FIG 2: Cycle de malaxage du rhéomètre CAD

Résultats et discussion

Influence du taux de gâchage sur le seuil de cisaillement

TABLEAU I : Influence du taux de gâchage sur la rhéologie du mortier.

E/L	σ_c (N.m)	Observations
0.6	6.53	Bingham
0.65	2.90	Bingham
0.7	1.35	Rhéoépaississant

Les résultats du TABLEAU I montrent que l'augmentation du taux de gâchage E/C réduit le seuil de cisaillement du mortier. On passe d'un seuil de cisaillement de 6.53 N.m pour un taux de gâchage E/C=0.6 à 1.35 N.m pour un taux de gâchage E/C=0.7, soit une diminution de 80%.

La figure 3 montre que sous l'influence de l'augmentation du taux de gâchage, le comportement rhéologique du mortier varie. Avec $E/C=0.7$, la courbe "couple de cisaillement-vitesse de malaxage" est décrite par l'équation des liquides rhéoépaississants, alors que pour $E/C=0.6$ ou $E/C=0.65$, la courbe "couple de cisaillement-vitesse de malaxage" est décrite par l'équation d'état des fluides de Bingham.

Etude du comportement des mortiers à la filtration :

La courbe expérimentale représentant l'évolution du filtrat en fonction du temps (FIG 1), peut être approximée par la relation suivante :

$$Y = 1/C_r \operatorname{Arctg}(\beta t)$$

Y: filtrat (%), C_r: coefficient de rétention d'eau, β: coefficient de correction, t: temps (s)

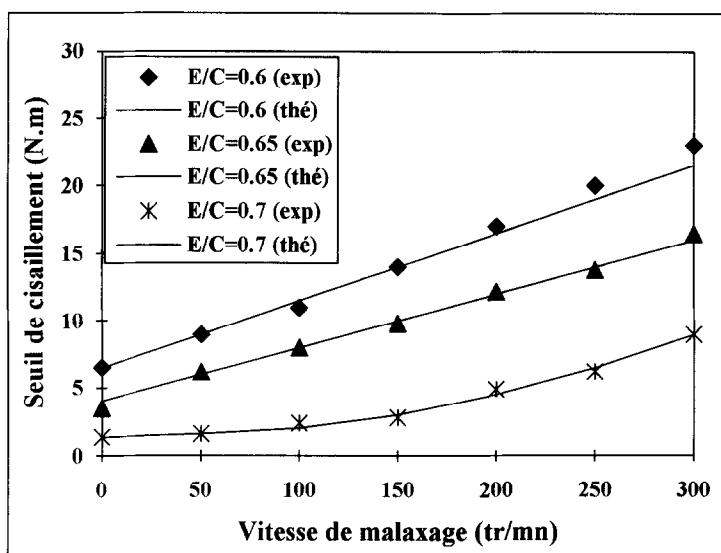


FIG 3: Evolution du comportement rhéologique des mortiers

Le coefficient de rétention d'eau (Cr), caractérise la capacité intrinsèque d'une suspension à se maintenir en stabilité au cours de l'injection sous l'effet de la pression de pompage.

Le coefficient de correction (β) permet de corriger l'asymptote horizontale de la courbe théorique par rapport à l'asymptote expérimentale.

En examinant les courbes de filtration des mortiers, on observe un bon accord entre la courbe expérimentale et la courbe théorique définie par l'équation précédente.

Le TABLEAU II montre que le résidu maximum est de 2.5 pour le mortier dosé avec un $E/C=0.65$ et soumis à une pression de filtration de 0.68 MPa. Le plus faible résidu (0.36) est obtenu avec le mortier dosé avec un $E/C=0.6$ et soumis à une pression de filtration de 0.68 MPa .

Les essais ainsi effectués montrent que quand $t>5\text{mn}$, le filtrat tend à se stabiliser, de ce fait, on définit un nouveau paramètre caractérisant la filtration des mortiers: le seuil de filtration "Sf".

Le seuil de filtration (Sf) caractérise la perte en eau que subit un mortier du fait de sa filtration sous l'effet de la pression de pompage. Il caractérise la teneur en eau du mortier en place et les gains de résistance à la compression qui en découlent.

$$Sf = \lim [(1/Cr)\operatorname{Arctg}(\beta t)] \quad \text{quand "t=30mn"}$$

Sf : quantité maximale de filtrat recueillie au cours de l'essai

Au cours des essais, le filtrat se stabilise à partir de $t=5\text{mn}$, néanmoins, pour plus de sécurité, on préconise le calcul de Sf pour $t=30\text{mn}$.

Evolution du coefficient de rétention d'eau en fonction de la pression:

En augmentant la pression de filtration, le coefficient de rétention d'eau diminue, puis se stabilise. Dans le cadre des essais, le coefficient de rétention d'eau "Cr" se stabilise à partir d'une pression $P = 1.02 \text{ MPa}$ (TABLEAU III).

TABLEAU II : Récapitulatif des résultats.

Pression (MPa)	E/C	σ_c	Cr	β	Sf (%)	Résidu
0.68	0.6	6.53	1.80	0.08	50	0.36
	0.65	2.90	1.31	0.12	70	2.48
	0.7	1.35	1.31	0.13	70	2.33
0.34	0.7	1.35	1.35	0.08	70	1.78
0.68			1.31	0.13	70	2.33
1.02			1.29	0.18	70	1.46
1.36			1.28	0.22	70	1.51

TABLEAU III : Influence de la pression de filtration sur le coefficient de rétention d'eau.

Pression (MPa)	E/C	σ_c	Cr
0.34	0.7	1.35	1.35
0.68			1.31
1.02			1.29
1.36			1.28

Evolution du coefficient de rétention d'eau en fonction du seuil de cisaillement :

Pour une pression de filtration constante, le coefficient de rétention d'eau augmente quand le seuil de cisaillement augmente (TABLEAU IV).

TABLEAU IV : Influence du seuil de cisaillement sur le coefficient de rétention d'eau.

Pression (MPa)	E/C	σ_c	C _r
0.68	0.6	6.53	1.80
	0.65	2.90	1.31
	0.7	1.35	1.31

Cette évolution suit la loi mathématique suivante:

$$C_r = A\sigma_c^n + C_{r0}$$

A : coefficient caractérisant la pression de filtration. Il est inversement proportionnel à la pression.

C_{r0} : coefficient de rétention d'eau d'un mortier présentant un seuil de cisaillement proche de zéro.

Application au coulis d'injection:

Le coulis utilisé est une suspension de cendres volantes dans l'eau avec un E/C=1.5. Le seuil de cisaillement, le coefficient de rétention d'eau et le seuil de filtration sont donnés dans le TABLEAU V.

TABLEAU V : Caractéristiques rhéologiques du coulis de cendres volantes.

Formule	E/C	σ_c (N.m)	C _r	β	Sf (%)	Rés
100% C.V	1.5	1.12	1.25	0.24	70%	1.36

Conclusion

La modélisation proposée s'applique à tout mortier fluide ou plastique, présentant un seuil de cisaillement non nul (supérieur à zéro).

Le coefficient de rétention d'eau caractérise la capacité intrinsèque d'une suspension à se maintenir en stabilité au cours de l'injection sous l'effet de la pression de pompage.

Le seuil de filtration "S_f" caractérise la perte en eau que subit le mortier lors de sa mise en place, et nous renseigne sur les gains de résistance à la compression qui en découlent.

Références

1. B.de Lorenzi, Tramway de l'agglomération Strasbourgeoise, Dossier technique mortier de rembourrage, Bouygues-Kesser, Juin 1992.
2. A.N. Ede, The resistance of concrete pumped through pipelines, Mag. Concr. Res, 27, Nov, pp 129-140 (1967).
3. R.D. Browne and P. Bamforth, Tests to establish concrete pumpability, J. Am. Concr. Inst., 19, May, pp 197-202 (1977).
4. F. Loadwick, Some factors affecting the flow of concrete through pipeline, Proc. Ist Int. Conf. Hydraulic transport of solids in pipes, British Hydromechanics Research Association, Bedford, D1-32 (1970).
5. T.H. Cook, Concrete pumping and spraying, A. practical guide, pp. 53-65 (1990).
6. G. Couarraz and J.L. Grossiord, Initiation à la rhéologie, Chap 3, Ed Lavoisier, pp. 52-72 (1991).