

---

# Influence des paramètres de formulation du mortier sur les aspects de parements

Edgar Chuta<sup>1</sup>, Jena Jeong<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Paris-Est, Institut de Recherche en Constructibilité, ESTP-Paris, 28 Avenue Président Wilson, 94234 Cachan

---

*RÉSUMÉ. Les principaux paramètres influençant la variation de la couleur (luminance= $L^*$ ) dans les bétons ont été identifiés, tel que la variation du rapport eau sur ciment (E/C) et la rugosité de surface. Dans la littérature, les auteurs ont des différents avis divergents à propos de l'influence du rapport E/C et de la rugosité de surface sur la luminance. Donc, nous avons réalisé des essais expérimentaux pour déterminer la relation qu'il existe entre la luminance de surface du mortier en fonction du rapport E/C et la rugosité, pour ensuite, réaliser de simulations numériques pour déterminer la relation qu'il existe entre la rhéologie de mortier frais et l'état de surface final. En effet, nous avons déterminé que la formulation est l'un de facteur qui détermine la rhéologie de béton. La rhéologie de béton va nous permettre de prédire l'état de surface à l'état durci de béton, et cet état de surface peut être mesuré en termes de luminance. L'article se déroule en 3 sections : Dans une première partie, nous allons identifier les principaux défauts de parements et étudier la rhéologie du béton frais. Dans la section 2, nous allons présenter les résultats des essais expérimentaux réalisés pour déterminer la relation existante entre la luminance et la rugosité, pour ensuite étudier le comportement du mortier en utilisant un rhéomètre pour déterminer la viscosité et le seuil de cisaillement. Finalement, dans la troisième partie, nous allons utiliser les résultats précédents dans notre simulation numérique réalisée via « **Computational Fluid Dynamics** » (CFD) en prenant un cas réel comme le remplissage d'une moule métallique d'un mortier frais normalisé.*

*ABSTRACT. The main parameters influencing the variation of the color (luminance =  $L^*$ ) in the concrete were identified, such as the variation of the water cement ratio (W/ C) and the surface roughness. In the literature, the authors have different opinions on the influence of the W / C ratio and the surface roughness on the luminance. Therefore, experimental tests were carried out to determine the relationship between the mortar surface luminance as a function of the W / C ratio and the roughness, and then carry out numerical simulations to determine the relationship between the rheology of fresh mortar and the final surface state. Indeed, we have determined that the formulation is one of the factors that determines the rheology of mortar. The rheology of concrete will allow us to predict the surface state in the hardened state of concrete, and this surface state can be measured in terms of luminance. The article is divided into 3 sections: In the first part, we will identify the main faults of siding and study the rheology of fresh concrete. In Section 2 we will present the results of the experimental tests carried out to determine the existing relationship between luminance and roughness and then study the behavior of the mortar using a rheometer to determine the viscosity and the yield stress. Finally, in the third part, we will use the previous results in our numerical simulation carried out via Computational Fluid Dynamics (CFD) taking a real case like filling a metal mold of a standardized fresh mortar.*

*MOTS-CLÉS: Mortier, Rhéologie, modélisation numérique, parement, luminance, rugosité*

*KEYWORDS: Mortar, numerical modelisation, luminance, roughness.*

---

## 1. Introduction

Le parement, est la face d'un élément de construction conçue pour rester apparente, qui peut faire l'objet de nombreux traitements mécaniques ou chimiques. Parmi les défauts d'aspect de surfaces étudié dans la littérature, on distingue des défauts liés à la teinte (couleur). Le but de notre travail est de déterminer la relation entre la luminance de surface de matériaux cimentaires et son état de surface. Ainsi que déterminer l'état de surface durci du mortier par simulation numérique de la rhéologie.

### 1.1. Facteurs déterminant la teinte de parements

L'aspect perçu du parement résulte de l'action de la lumière sur le béton et de la perception de l'œil de l'observateur (Fig. 1). Après avoir consulté plusieurs références bibliographiques nous avons pu identifier les principaux paramètres influençant sur la variation de la couleur des bétons et ses effets selon les zones claires et sombres. Selon Izoret (1992), Fig. 1-gauche, le rapport E/C a une influence sur la teinte de surface du béton. Quand le rapport E/C est grand la surface de béton est plus sombre. Le même auteur a trouvé que la luminance de surface de béton est grande quand la rugosité de la surface de béton est grande. Mais ces résultats sont divergente avec les avis des autres auteurs.



Figure 1. Aspect de parements

## 1.2. Rhéologie du béton frais

Le béton frais est un matériau multiphasique considéré comme un fluide non-newtonien avec des suspensions concentrées qui a un seuil de cisaillement dû au frottement entre les granulats et les particules du ciment, pour lequel une contrainte minimale (seuil)  $\tau_0$  est nécessaire afin de provoquer leur écoulement, au-delà duquel la contrainte  $\tau$  augmente avec la déformation. Au-dessous du seuil de cisaillement le béton se comporte comme un solide et au-dessus du seuil, il se comporte comme un fluide. La rhéologie du béton dépend de la formulation du béton (nature et granulométrie de granulats, rapport E/C ou l'effet de différentes additions des constituants du béton). Pour décrire le comportement du béton, plusieurs modèles semi-empiriques ont été développés pour trouver une relation entre la contrainte de cisaillement et le taux de cisaillement. Parmi ces modèles les plus utilisés est le modèle de Bingham:

$$\tau = \tau_0 + \mu\gamma \quad [1]$$

Avec :  $\tau$  : Contrainte de cisaillement, (Pa);  $\tau_0$  : Seuil de cisaillement, (Pa);  $\mu$  : Viscosité constante, (Pa.s);  $\gamma$  : Taux de déformation.

Pour les champs des flux généraux, il est nécessaire de développer des techniques numériques pour repérer le passage des zones avec seuil vers celles sans seuil. Ainsi Papanastasiou (1987), a proposé une régularisation exponentielle de l'équation de Bingham idéal, en introduisant un paramètre  $m$ , qui contrôle la croissance exponentielle de la contrainte. Le modèle proposé appelé généralement comme modèle de Bingham-Papanastasiou a la forme suivante:

$$\tau = \tau_0[1 - \exp(-m\gamma)] + \gamma\mu \quad [2]$$

Avec  $m$  : Paramètre de régularisation (si  $m=0$  fluide newtonien, si  $m \rightarrow \infty$ , fluide Bingham idéal). La relation entre la viscosité apparente  $\eta$  (Pa.s) et le taux de déformation  $\dot{\gamma}$  peut être déduite :

$$\eta = \mu + \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} [1 - \exp(-m\dot{\gamma})] \quad [3]$$

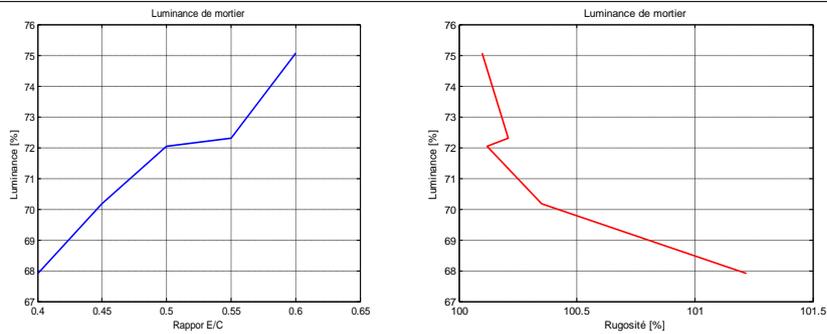
Nous allons appliquer l'équation 3 pour simuler l'écoulement du mortier. Mais avant cela, nous allons réaliser des essais expérimentaux pour déterminer la relation entre la luminance et la rugosité en fonction de rapport E/C, ainsi que déterminer la viscosité et le seuil de cisaillement.

## 2. Partie expérimentale

Dans notre étude, nous avons fabriqué des mortiers avec des formulations différentes et décrit selon la norme NF EN 196-1. Nous avons fabriqué de mortier avec E/C de 0.45, 0.50, 0.55 et 0.60 pour les essais des luminances, et des mortiers de 0.50 pour l'essai de rhéologie.

### 2.1. Luminances des mortiers

L'objectif de cette partie est de déterminer la variation de la luminance en fonction de rapport E/C et de la rugosité de la surface durcie des mortiers. Les luminances ont été mesurées en utilisant le spectrocolorimètre Minolta CM-508i et pour la rugosité nous avons utilisé le microscope numérique Keyence VHX-2000E du laboratoire Mécanique et Technologie de l'ENS de Cachan (LMT-Cachan).



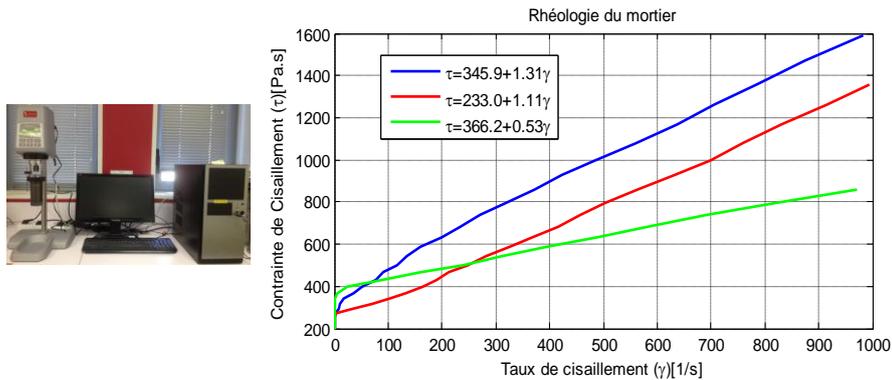
**Figure 2.** Variation de la luminance en fonction de rapport E/C et de la rugosité de pâtes de ciment

D’après les graphes illustrés dans la figure 2, nous pouvons conclure que:

1. La variation du rapport E/C a une influence sur la luminance du matériau cimentaire.
2. La variation de la luminance est directement proportionnelle au rapport E/C.
3. Il y a une relation inverse entre luminance et rugosité.

## 2.2. Rhéologie du mortier

L’objectif de cette partie est de déterminer la viscosité et le seuil de cisaillement des mortiers. Nous avons utilisé un rhéomètre à rotation «RheolabQC » à l’IRC de l’ESTP, pour dessiner les courbes de contrainte de cisaillement ( $\tau$ ) en fonction du taux de déformation ( $\dot{\gamma}$ ) des mortiers normalisés avec un rapport E/C de 0.50.



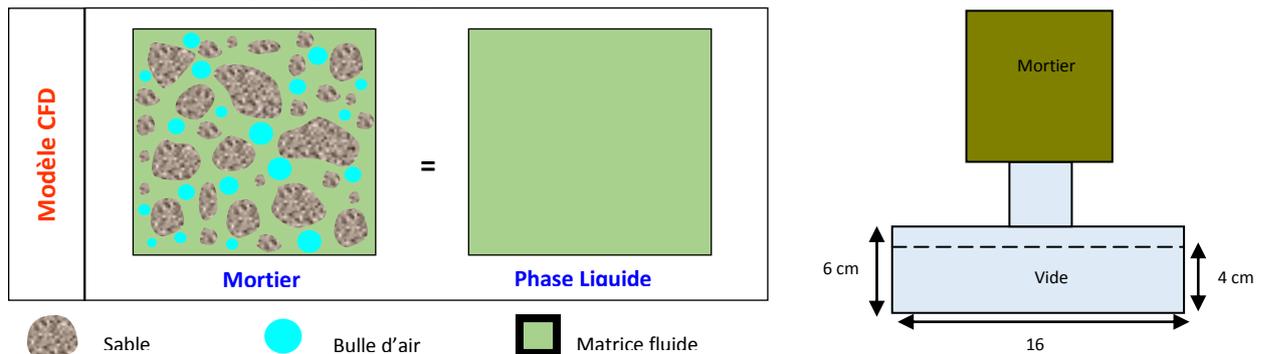
**Figure 3.** Tracé de différentes courbes rhéologiques d’un mortier obtenu avec le rhéomètre

Le seuil de cisaillement présenté dans la figure 3 varie entre 233 et 366 Pa, et la viscosité varie entre 0,53 et 1.31. Nos résultats sont en accord avec la littérature.

## 3. Simulation de la rhéologie de mortier par CFD

### 3.1. Introduction

Pour cette partie, nous avons utilisé le logiciel COMSOL Multiphysic avec le module CFD pour prédire l’écoulement du mortier dans une moule (bétonnage). Pour la simulation nous avons considéré le mortier comme un fluide homogène. Nous avons introduit la loi d’écoulement non Newtonien de type Bingham-Papanastasiou avec  $m=1$  afin d’assurer l’écoulement du mortier dans le moule métallique de dimensions :  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$  (Fig 4 b). Les valeurs numériques appliquées pour la simulation sont décrites dans le tableau 1.



**Figure 4.** Proposition de model monophasique pour la simulation (Gauche) et son géométrie (Droite)

**Tableau 1.** Propriétés rhéologiques du mortier utilisé pour la simulation

Propriétés	Masse volumique	Seuil de cisaillement	Viscosité	Gravité	Parois
Valeur	1700 Kg/m <sup>3</sup>	233 Pa	1.1 Pa.s	9.81 m/s <sup>2</sup>	glissant

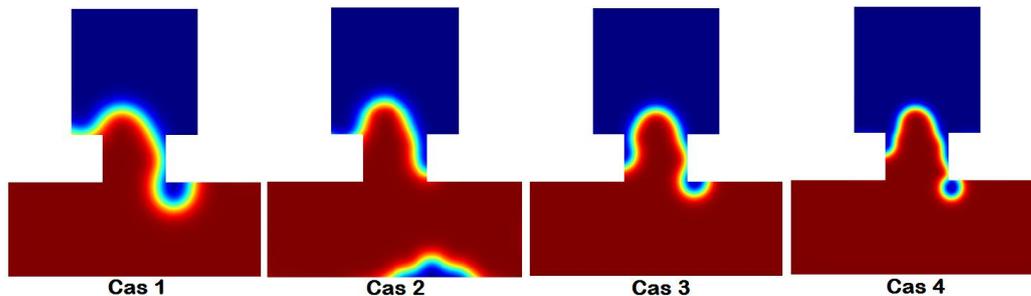
La simulation a été lancée dans le réseau Cloud de l'ESTP avec une mémoire RAM de 128 Gb et 16 processeurs, en utilisant le solveur PARDISO sur COMSOL Multiphysics.

### 3.2. Effet de maillage

Un bon maillage permet d'avoir des résultats proches de la réalité. Cependant un grand nombre de mailles et de nœuds nécessite une grande puissance et un long temps de calcul, ce qui ne valorise pas nécessairement la qualité des résultats, et dans certains cas ils peuvent être dégradés. Dans notre cas le but est de trouver le meilleur compromis entre la symétrie de l'écoulement et le temps de calcul. Nous avons lancé quatre simulations avec différents nombres de maille. Les résultats sont résumés dans le tableau 2.

**Tableau 2.** Résultats de l'écoulement de mortier selon différentes nombre d'éléments

	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
Nombre de mailles (frontières)	1173 (124)	1788 (156)	2592 (186)	4580 (248)
Taille max de maille	0.6 cm	0.5 cm	0.4 cm	0.3 cm
Temps de calcul	37 min	57 min	1h 20 min	4h 51 min

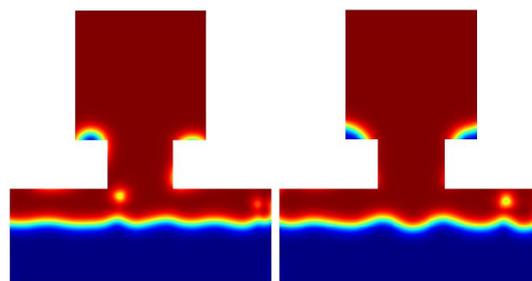


**Figure 5.** Comparaison de l'écoulement du mortier selon le nombre de mailles après 30 secondes.

D'après la figure 5, l'écoulement du mortier est presque symétrique dans le cas 3 et 4. La taille de surface de mortier déplacé est plus petite quand le nombre de maille est grand

### 3.3. Effet de la masse volumique

Nous avons simulé l'effet de la masse volumique sur l'écoulement dans un mortier frais en utilisant les valeurs du tableau 1 avec une masse volumique de 1700 Kg/m<sup>3</sup> pour le premier cas et 2200 Kg/m<sup>3</sup> pour le deuxième. Les résultats sont présentés dans la figure 6 après remplissage total du mortier.



**Figure 6.** Ecoulement du mortier selon leur masse volumique: 1700 Kg/m<sup>3</sup> (gauche) et 2200 Kg/m<sup>3</sup> Cas 2 (droite).

---

Dans le premier cas, le temps d'écoulement est environ de 190 secondes et dans le deuxième est environ de 102 secondes. Donc, plus le mortier est lourd (masse volumique plus grande), et moins le temps est nécessaire pour remplir la moule.

### **3.4. Relation entre la rugosité, la luminance et la rhéologie de mortier.**

Au niveau de la rugosité après écoulement total du mortier, la rugosité est plus importante quand la masse volumique est grande. D'après nos résultats expérimentaux, la variation de la luminance est directement proportionnelle au rapport E/C et inversement proportionnelle à la rugosité. Sachant que la densité de mortier est plus importante quand l'eau de formulation est moins importante, la luminance est plus importante pour les mortiers légers. Donc, la rugosité de mortiers lourds est plus importante par rapport au mortiers légers. C'est ce que nous avons trouvé dans nos résultats de simulation numérique (Figure 6).

## **4. Perspectives**

Nous avons trouvé un rapport entre la rhéologie et l'état de surfaces final des mortiers. Comme perspective, nous allons réaliser de simulation numérique diphasique de mortier homogène avec de bulles d'air, afin de pouvoir déterminer le comportement de l'écoulement du mortier et identifier l'aspect final de la surface du mortier lié aux présences de bulles.

## **5. Bibliographie**

1. Lallement, Hétérogénéités de teinte des parements en béton: caractérisation et identification des mécanismes, Thèse Université de Cergy Pontoise 2001
2. G. Lemaire, Contribution à la maîtrise de la qualité des parements de béton, Thèse Université Toulouse 2003.
3. M. Martin, Etude de la texture de la surface coffrée des parements verticaux en béton, Thèse Université de Cergy Pontoise 2007.
4. L. Izoret. Caractérisation de la teinte des parements, Recherche associative ATILH, 1992.
5. Olafur Haraldsson et al, rheology as a tool in concrete science: The use of rheographs and workability boxes, cement and concrete research, 41 (2011)
6. David A; Williams et al, The influence of mixing on the rheology of fresh cement paste, cement and concrete research, 29 (1999)
7. Aleksandra Kostrzanowska-Siedlarz , Jacek Gołaszewski. Rheological properties and the air content in fresh concrete for self. Construction and Building Materials, 2015Compacting high performance concrete.
8. Evan Mitsoulins, Flows of viscoplastic materials: Models and computations, Rheology reviews 2007. British Society of Rheology.
9. Phil Banfill et al. Comparison of concrete rheometers: International tests at LCPC (Nantes, France) in October, 2000.
10. E. Bingham fluidity and plasticity. 1922
11. Sergiy Shyshko, Numerical simulation of the rheological behavior of fresh concrete, An der Fakultät