

---

# Influence de la nature du superplastifiant sur la rhéologie des coulis de ciment au laitier

Ahmed LAICHAOUI <sup>1,2</sup>, Ratiba KETTAB <sup>2\*</sup>, Abderrahim BALI <sup>2</sup>

<sup>1</sup>. Département de Génie Civil, Université A. MIRA, Béjaïa, Algérie.

<sup>2</sup>. Laboratoire Construction & Environnement, École Nationale Polytechnique, Alger, Algérie.

[laichaoui\\_ahmed@yahoo.com](mailto:laichaoui_ahmed@yahoo.com), [mitiche\\_rdz@yahoo.fr](mailto:mitiche_rdz@yahoo.fr), [balianl@yahoo.fr](mailto:balianl@yahoo.fr)

\* E-mail de l'auteur de correspondance ; [mitiche\\_rdz@yahoo.fr](mailto:mitiche_rdz@yahoo.fr)

---

**RÉSUMÉ :** La mise en œuvre et les performances des matériaux cimentaires ont été améliorées par l'utilisation des adjuvants polymères (les superplastifiants) dans les formulations. L'étude, expérimentale, s'est intéressée à deux familles de superplastifiants (Polycarboxilates et Poly-Mélatamine Sulfonate) et une addition minérale (Le laitier). Les paramètres considérés sont la meilleure teneur en superplastifiant et le pourcentage optimal de la substitution minérale.

Les résultats obtenus montrent que la nature du superplastifiant a une grande influence sur la variation des paramètres rhéologiques à savoir viscosité plastique et contrainte de cisaillement des coulis de ciment étudiés. Par ailleurs, le pourcentage de l'addition minérale (Laitier) est en forte relation avec la nature du superplastifiant.

Cette étude a aussi pour objectif, la valorisation d'un déchet industriel (le laitier), par son incorporation dans les formulations à des pourcentages considérables, sans perte des propriétés rhéologiques des coulis et des bétons en présence de superplastifiants.

**ABSTRACT:** The implementation and the performances of cementing materials were improved by the use of the polymeric additives (superplasticizers) in the formulations. The study, experimental, was interested in two families of superplasticizers (Polycarboxilates and Poly-Melamine Sulphonate) and a mineral addition (the slag). The parameters considered are the best content while superplasticizer and the optimal percentage of mineral substitution.

The results obtained show that the nature of superplasticizer has a great influence on the variation of the rheological parameters to knowing plastic viscosity and shear stress of studied cement grouts. In addition, the percentage of the mineral addition (Slag) is in strong relationship to the nature of superplasticizer.

This study also aims at, the valorization of an industrial waste (the slag), by its incorporation in the formulations with considerable percentages, without loss of the rheological properties of the grouts and the concretes in the presence of superplasticizers.

**MOTS-CLÉS :** Superplastifiant, laitier, coulis de ciment, viscosité, seuil de saturation.

**KEYWORDS :** Superplasticizer, slag, cement grouts, viscosity, threshold of saturation

---

## 1. Introduction

Les ingénieurs cherchent à avoir des bétons à hautes performances, mais sans négliger la rhéologie du matériau frais qui est un paramètre technologique très important.

Le béton est un matériau composite dans lequel les granulats (gravier et sable) sont liés par une pâte de ciment hydratée. La quantité d'eau requise pour les réactions d'hydratation représente environ 25 % de la masse de ciment. Cependant, une quantité d'eau supplémentaire (au moins le double) est nécessaire afin d'obtenir une ouvrabilité satisfaisante du béton frais lors des opérations de mise en place. Dans le long terme, l'excès d'eau s'évapore, laissant des vides dans le béton. Dans une pâte de ciment Portland de rapport Eau/Ciment de 0.5, la porosité totale représente entre 25 et 30 % du volume et la taille des pores varie du nanomètre à quelques millimètres (Moranville-Regourd, 1992). La porosité du matériau diminue sa résistance mécanique et sa durabilité. Le béton est donc un matériau composite poreux, dont les performances varient en fonction de sa porosité capillaire et donc de l'excès d'eau nécessaire à la maniabilité du béton frais (Perche, 2004).

La nécessité d'améliorer les performances des bétons, et de réduire la quantité d'eau de gâchage pour diminuer la porosité, amène à utiliser de nouveaux matériaux, les superplastifiants. Lorsqu'ils sont ajoutés en petites quantités (habituellement de 0,5 à 2 % de la masse du ciment), ces derniers permettent de réduire considérablement (30 % et plus) la quantité d'eau nécessaire pour obtenir des propriétés rhéologiques satisfaisantes pour une bonne mise en oeuvre du béton (P.F.G, 2003).

Dans notre étude, nous avons choisi deux types de superplastifiants de natures chimiques différentes « Polycarboxilate et Poly-mélamine sulfonate (PMS) ». Dans un souci écologique, nous avons incorporé un ajout minéral (le laitier), qui est un déchet de la fabrication de la fonte, à différents pourcentages en substitution de la masse du ciment. Nous avons tout d'abord déterminé le point de saturation en Polycarboxilate et en PMS avec un ciment CPJ, puis on a cherché le pourcentage optimal en laitier qui donne de meilleures caractéristiques rhéologiques des coulis.

## 2. Caractérisation du ciment, du laitier et des superplastifiants

Les analyses chimiques et les nombreux essais de lixiviation ont démontré que les Laitiers en provenance de crassiers ne donnent lieu à aucune contre-indication quant à leur utilisation dans les diverses applications en construction (Amini, 2010).

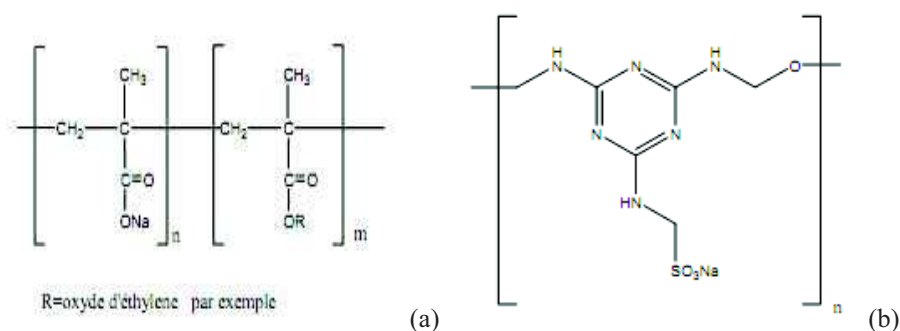
Les essais pour la détermination de la composition chimique sont réalisés selon les normes NF EN 196-4, le tableau 1 présente les résultats.

**Tableau 1.** Composition chimique du CPJ et du Laitier

Produit Oxydes	CPJ (%)	Laitier (%)
CaO	59.24	45
SiO <sub>2</sub>	18.99	34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.2	2.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.78	12.4
MgO	3.9	8.6
MnO	0.09	0.29
SO <sub>3</sub>	1.74	0.097

### 2. 1. Superplastifiants

Les superplastifiants sont des polyélectrolytes organiques, appartenant à la catégorie des dispersants polymériques. Dans notre travail, on a employé deux types de superplastifiants, les polycarboxilates et les PMS, leurs motifs de formules chimiques sont illustrés sur la figure 1.



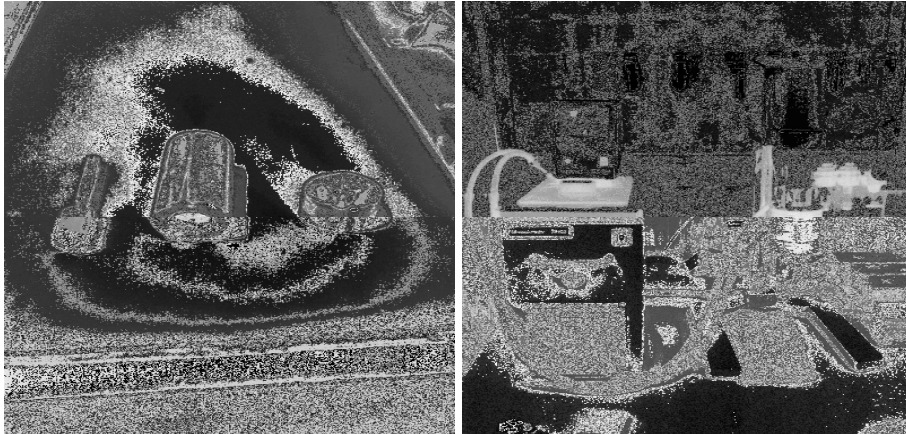
**Figure 1.** (a) Polycarboxilates, (b) PMS

## 3. Partie expérimentale

### 3. 1. Le matériel

Dans cette partie, Les mesures rhéologiques ont été réalisées à l'aide d'un viscosimètre à cylindres rotatifs en régime permanent (HAAKE - Viscotester VT550 avec le dispositif de mesure SV DIN). Il est raccordé à un cryostat piloté par un ordinateur, qui maintient la température de l'échantillon de l'expérience à 20°C.

L'acquisition des données par ordinateur génère des courbes d'écoulement (contrainte de cisaillement) et de viscosité pour un taux de cisaillement donné (gradient de vitesse).



**Figure 2.** Le dispositif SV DIN et le viscosimètre VT550 utilisés

Le principe consiste à cisailer la suspension entre une surface au repos et une surface mobile. Le fluide à analyser est placé entre deux cylindres de révolution coaxiaux. Les mouvements laminaires de cisaillement sont obtenus en communiquant à l'un des cylindres (cylindre intérieur) un mouvement de rotation uniforme, l'autre cylindre restant immobile (Figure 2).

Ce viscosimètre travaille à gradient de vitesse imposé. Les courbes obtenues sont traitées selon le modèle de Bingham.

### 3. 2. Composition des mélanges étudiés

La description des dosages et mélanges étudiés est la suivante :

- CPJ.....un coulis de CPJ sans superplastifiant ou addition minérale
- CPJ+x%POLY.....un coulis de CPJ + x % de Polycarboxilates
- CPJ+x%PMS.....un coulis de CPJ + x % de PMS
- CPJ+1%POLY+y%Slag : un coulis de CPJ + 1 % de Polycarboxilates + y % de laitier
- CPJ+1.2%PMS+y%Slag : un coulis de CPJ + 1.2 % de PMS + y % de laitier

Les pourcentages 1 % POLY et 1.2 % PMS, sont les pourcentages optimums. Le rapport E/C utilisé en présence des superplastifiants est égal à 0.35.

#### 4. Résultats et discussion

La première partie des essais consiste en la détermination du pourcentage optimal des superplastifiants pour lequel les coulis de ciment présentent un meilleur comportement rhéologique.

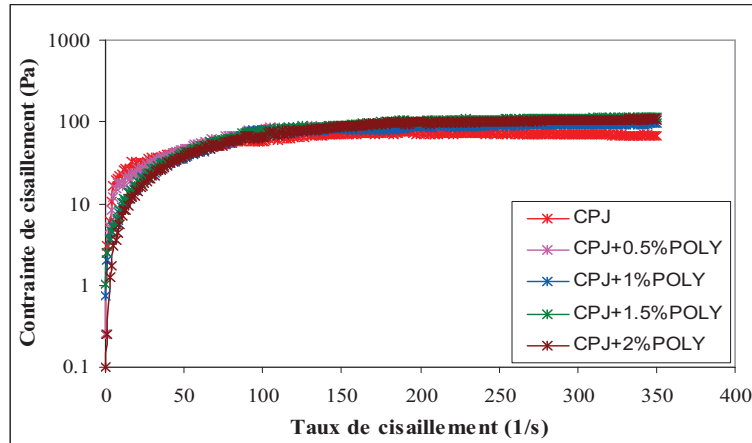


Figure 3. Contrainte de cisaillement en fonction du taux de cisaillement pour un CPJ sans et avec différents pourcentages de Polycarboxylates avec  $E/C = 0.35$

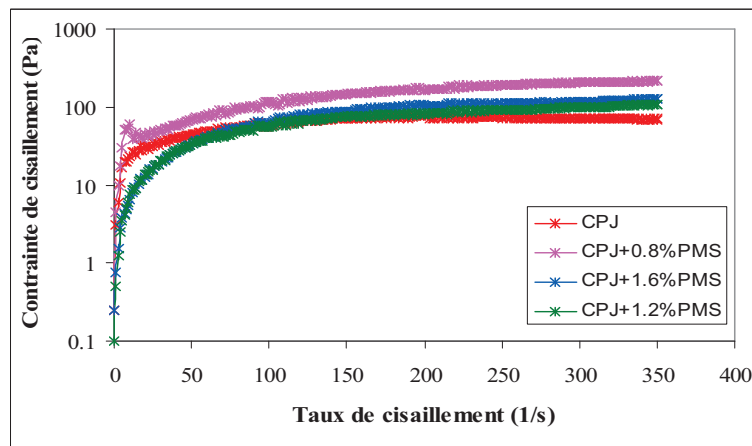
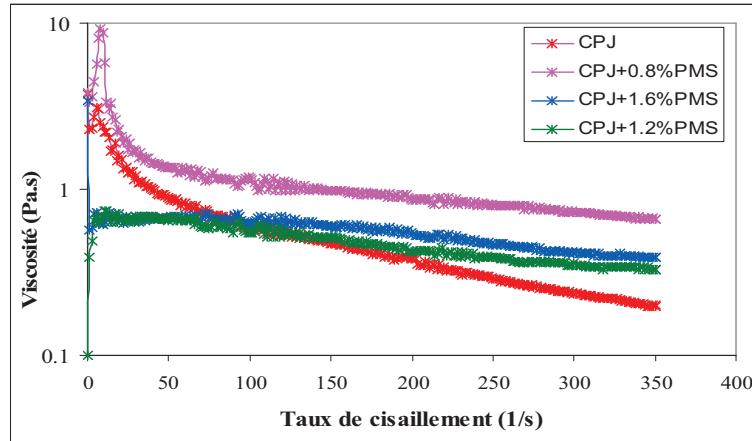


Figure 4. Contrainte de cisaillement en fonction du taux de cisaillement pour un CPJ sans et avec différents pourcentages de PMS avec  $E/C = 0.35$

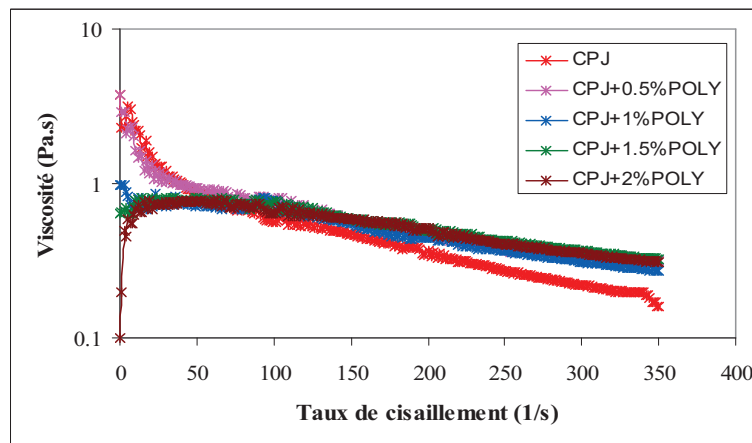
On remarque, d'après les figures 3, 4, 5 et 6, que pour les trois coulis de ciment (CPJ seul, CPJ + Poly et CPJ + PMS) le comportement rhéologique est bien un

comportement Binghamien pour les fluides avec CPJ seul et CPJ + poly, et Newtonien pour le fluide CPJ + PMS.



**Figure 5.** Viscosité plastique en fonction du taux de cisaillement pour un CPJ sans et avec différents pourcentages de PMS avec  $E/C = 0.35$

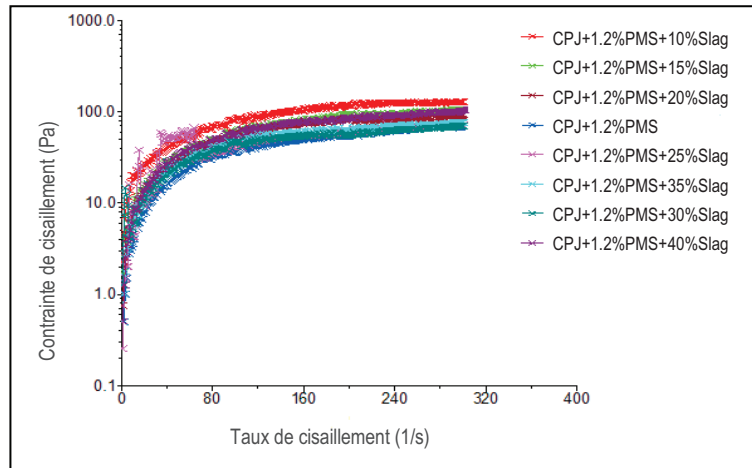
On remarque aussi que le polycarboxilate possède un effet dispersant plus efficace que celui du PMS, et ceci est influencé (Uchikawa, 1994) par la capacité d'adsorption du polycarboxilate sur les anhydres et les hydrates de ciment.



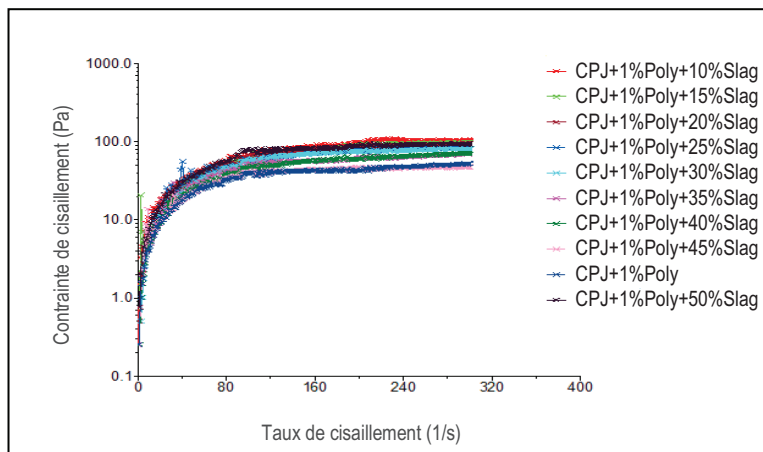
**Figure 6.** Viscosité plastique en fonction du taux de cisaillement pour un CPJ sans et avec différents pourcentages de Polycarboxilate avec  $E/C = 0.35$

On peut tirer des courbes des figures 5 et 6 les points de saturation pour les deux additions organiques utilisées. Il est de **1 %** pour le polycarboxilate et **1.2 %** pour le PMS.

Les figures 7 et 8 présentent les différentes courbes rhéologiques avec ajout de laitier et les figures 9 et 10 les caractéristiques rhéologiques.



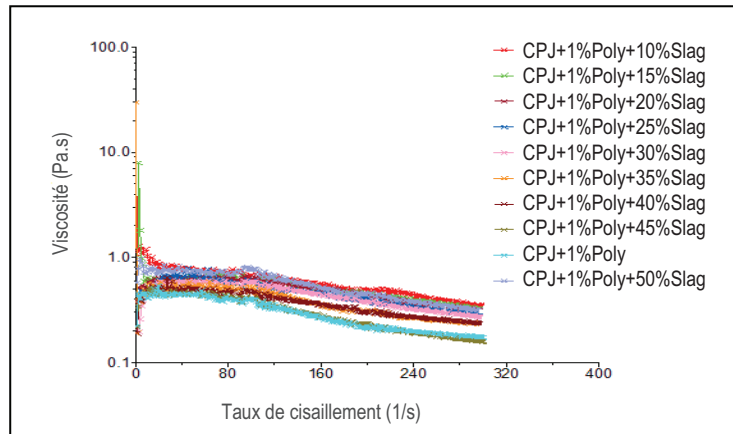
**Figure 7.** *Contrainte de cisaillement en fonction du taux de cisaillement pour un CPJ avec 1.2 % de PMS et différents pourcentages de laitier (avec E/C = 0.35)*



**Figure 8.** *Contrainte de cisaillement en fonction du taux de cisaillement pour un CPJ avec 1 % de Polycarboxilate et différents pourcentages de laitier (avec E/C = 0.35)*

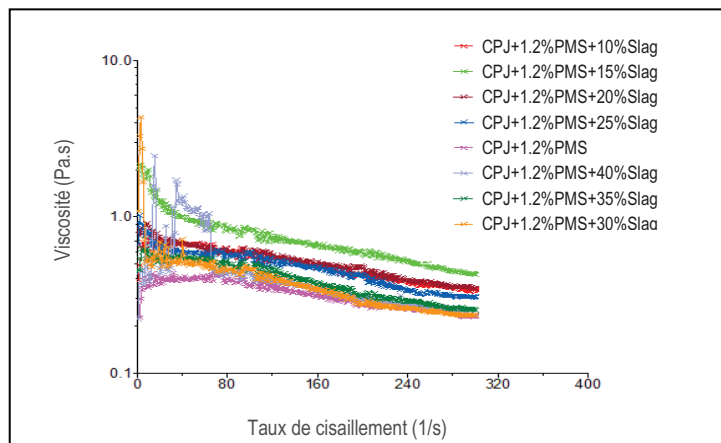
## Influence de la Nature du Superplastifiant sur la Rhéologie des Coulis de Ciment au Laitier

Les figures 7 à 10, permettent de déterminer la quantité (pourcentage) maximale du ciment qu'on peut substituer par le laitier, en préservant au mieux les propriétés rhéologiques des coulis de ciment au laitier.



**Figure 9.** Viscosité plastique en fonction du taux de cisaillement pour un CPJ avec 1 % de Polycarboxilate et différents pourcentages de laitier (avec  $E/C = 0.35$ )

Les pourcentages de laitier qu'on peut employer sans changer les propriétés rhéologiques des coulis sont comme de 45 % du poids de ciment pour le polycarboxilate et 30 % pour le PMS.



**Figure 10.** Viscosité plastique en fonction du taux de cisaillement pour un CPJ avec 1.2 % de PMS et différents pourcentages de laitier (avec  $E/C = 0.35$ )



Le comportement rhéologique est Newtonien en présence de laitier et de polycarboxilate et Binghamien en présence de PMS et de laitier.

## 5. Conclusion

Les résultats obtenus mettent en évidence l'effet dispersant des superplastifiants; on a pu diminuer le rapport E/C de 0.5 (sans adjuvant) à 0.35 (avec adjuvant) tout en gardant pratiquement les mêmes propriétés rhéologiques. Il est clair qu'en diminuant l'eau de gâchage tout en conservant de bonnes caractéristiques rhéologiques du coulis de ciment (ce qui signifie une bonne maniabilité et ouvrabilité du béton frais) on obtient un béton de bonnes caractéristiques mécaniques parce qu'il sera moins poreux donc plus compact, et plus durable.

On a pu montrer que le superplastifiant à base de polycarboxilates a des effets fluidifiants et dispersants plus importants que ceux en présence du poly-mélatamine sulfonate.

Les propriétés très fluidifiantes des Polycarboxylates les rendent de grande utilité pour la confection des bétons à hautes performance où le prix de revient ne se trouve pas vraiment altéré par leur prix excessif.

Les résultats présentés montrent qu'on peut substituer le ciment par le laitier avec des quantités très importantes et encourageantes, 45 % avec les polycarboxilates et 30 % avec le PMS; on est arrivé à ses remplacements sans trop perdre du côté rhéologique.

Cette incorporation du laitier dans les formulations des coulis et des bétons, est intéressante aussi bien dans le cadre de la valorisation de déchets industriels mais en plus la substitution de ciment par le laitier permet un gain important d'argent. Avec un tel pourcentage de remplacement le bénéfice environnemental est considérable.

## 6. Bibliographie

- Moranville-Regourd M., *Microstructure des Bétons à Hautes Performances*, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 1992.
- Perche F., Adsorption de polycarboxilates et de lignosulfonates sur poudre modèle et ciment, Thèse de doctorat, EPFL, 2004.
- P. F. G B., «The rheology of fresh cement and concrete –a review», *11th International Cement Chemistry Congress*, Durban, May 2003.
- Amini A., Influence des superplastifiants sur la rhéologie des bétons et mortiers, Mémoire de magister, ENP, 2010.

Influence de la Nature du Superplastifiant sur la Rhéologie des Coulis de Ciment au Laitier

Uchikawa H., « Hydration of cement and structure formation and properties of cement paste in the presence of organic admixture », *Importance of recent microstructural development in cement and concrete*, Sherbrooke, Canada, 2004.

Ramachandran V.S., Malhotra, V.M., Jolicoeur, C., Spiratos, N., *Superplasticizers : Properties and Applications in Concrete*, Ed. CANMET, Ottawa, Canada, 1998.