

Une loi de comportement pour modéliser les effets de l'irradiation électronique sur l'écoulement viscoplastique des verres de silicate

Guillaume Kermouche^{1*}, Morgan Rusinowicz¹, Sergio Sao-Joao¹, Yoshinari Kato², Gustavo Rodrigues², Etienne Barthel³

¹ Mines Saint-Etienne, CNRS, UMR 5307 LGF, Centre SMS, F-42023, Saint-Etienne, France

² Nippon Electric Glass, 7-1, Seiran 2-Chome, Otsu, 520-8639, Shiga, Japan

³ Soft Matter Sciences and Engineering, ESPCI Paris, PSL University, Sorbonne Université, CNRS, Paris 75005, France

*kermouche@emse.fr

Résumé pour (effacer la mention inutile) : oral

L'effet de l'irradiation électronique sur l'écoulement viscoplastique des verres de silicate suscite un intérêt croissant depuis quelques années. Ce domaine de recherche a émergé lorsque Zheng et al. (2010) ont révélé qu'une silice amorphe présentait une **ductilité remarquable lors d'expériences nanomécaniques in situ** en microscopie électronique en transmission (TEM). Des travaux ultérieurs ont confirmé ce comportement ductile à l'échelle micrométrique et sous des tensions d'irradiation plus faibles, grâce à des essais de compression in situ de micropiliers en microscopie électronique à balayage (SEM), réalisés à température ambiante et à haute température (Bruns et al, 2023). Plusieurs équipes sont clairement à l'aube de découvertes majeures dans ce domaine.

L'objectif de notre étude est de **proposer une loi de comportement** originale permettant de prédire l'écoulement plastique des verres silicatés sous différentes conditions d'irradiation électronique et de chargement mécanique. Ce modèle repose sur une quantification précise de la contrainte et de la vitesse de déformation en fonction du temps et des conditions d'irradiation, à partir **d'expériences in situ de compression et de relaxation de micropiliers en SEM**. Nous observons une **relation univoque entre la vitesse de fluage et le courant injecté**. Le modèle constitutif est implémenté et validé sous diverses conditions, ce qui permet de reproduire fidèlement l'effet du temps de balayage et du grandissement en SEM sur les courbes contrainte-déformation et de relaxation des contraintes. Il explique également la **courbe maîtresse reliant la charge électrique à la relaxation des contraintes** (Rusinowicz et al., 2025).

Ce modèle offre par ailleurs de bons résultats pour simuler la réponse viscoplastique de l'olivine amorphe en traction uniaxiale dans un TEM (Orekov et al., 2025). Nous pensons que ce modèle pourrait s'avérer très utile pour concevoir de nouvelles méthodes de mise en forme des verres silicatés à température ambiante.

Références :

1. Bruns, S., Minnert, C., Pethö, L., Michler, J., & Durst, K. (2023). Room temperature viscous flow of amorphous silica induced by electron beam irradiation. *Advanced Science*, 10(7), 2205237.
2. Orekhov, A., Gauquelin, N., Kermouche, G., Gomez-Perez, A., Baral, P., Dohmen, R., ... & Idrissi, H. (2025). Room temperature electron beam sensitive viscoplastic response of ultra-ductile amorphous olivine films. *Acta Materialia*, 282, 120479.
3. Rusinowicz, M., Sao-Joao, S., Bourguignon, M., Rosales-Sosa, G., Kato, Y., Volpi, F., ... & Kermouche, G. (2025). Electric charges as an apparent governing parameter for electron induced stress relaxation in amorphous silica micropillars. *Scripta Materialia*, 261, 116628.
4. Zheng, K., Wang, C., Cheng, Y. Q., Yue, Y., Han, X., Zhang, Z., ... & Ma, E. (2010). Electron-beam-assisted superplastic shaping of nanoscale amorphous silica. *Nature communications*, 1(1), 24.