

MIG : VERRE 4.0

Le verre : enjeux environnementaux de son élaboration et procédés de coloration et de renforcement mécanique

Coordinateurs :

Encadrants : Franck Pigeonneau et Romain Castellani

Centres de recherche concernés : CEMEF et OIE

Lieux : Paris et Sophia Antipolis

RESUME :

Le verre est un matériau solide amorphe qui présente de nombreuses particularités quasi uniques. Obtenu par fusion d'oxydes, son élaboration nécessite de hautes températures. De plus, l'utilisation de matières premières carbonatées conduit à une libération de CO₂ non négligeable. Le verre étant considéré de fait comme un des matériaux du futur, l'industrie verrière fait face à des enjeux majeurs dans les domaines de l'énergie et l'environnement qui seront au cœur de ce MIG. Les mini-projets permettront de mettre l'accent sur les aspects de recyclabilités, de coloration et de renfort mécanique.

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE :

Le verre est un matériau que l'on rencontre dans beaucoup de produits et d'objets du quotidien. En 2016, l'Europe a produit 34,5 millions de tonnes de verre, soit plus de deux fois la production d'acier. Insensible au recyclage, le verre peut être refondu et mis en forme à l'infini. Produire un verre respectant l'environnement sera au cœur de ce MIG.

OBJECTIFS, TRAVAIL ET ORGANISATION :

L'objectif est d'analyser le secteur du verre creux, premier producteur de verre en Europe et en France. On cherchera à explorer des pistes visant à réduire l'apport de matières premières et maximiser le recyclage. La faible flexibilité de la production du verre rend parfois difficile les changements de couleur par exemple.

MINI-PROJETS

La production des bouteilles en verre est le marché verrier le plus important en termes de volume. Le premier mini-projet vise à analyser leur cycle de vie. Il permettra de lister les enjeux actuels de ce marché tant sur le recyclage que les fonctionnalités.



Figure 1 : Exemple de bouteilles d'usage courant.

Le mini-projet 2 aura pour objectif d'étudier le potentiel du recyclage du verre. Son intérêt sera tout d'abord évalué en étudiant les aspects de bilan énergétique et de réduction d'émission de CO₂. L'objectif de 100 % de verre recyclé sera étudié concrètement à l'aide de réalisations expérimentales. La fusion de verre recyclé sera analysée par des essais modèles de fusion de poudre de verre en creuset comme illustré sur la figure 2. Le nombre de bulles formées lors de la refusion de verre sera étudié en fonction du temps et de la température. La photo de droite de la figure 2 illustre la présence de bulles après fusion dans des conditions particulières de réalisation. Une étude sur la nature du verre (blanc, foncé) sera faite.

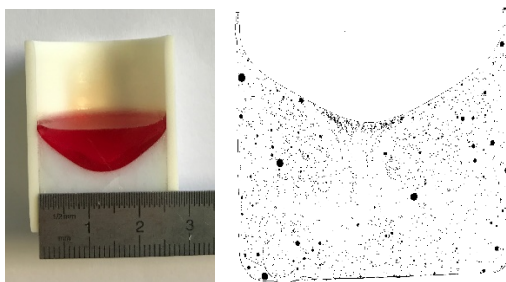


Figure 2 : Creuset et image de la section droite montrant les bulles piégées.

La coloration des verres est réalisée depuis de nombreuses années dans les cathédrales et autres édifices. La figure 3 montre en exemple vitraux du marché couvert de la ville de Sao-Paulo au Brésil. Les verres de couleur sont également d'intérêt dans les emballages mais trouvent aussi des applications dans l'art de table et les produits de luxe. La coloration du verre après fusion trouve aussi son intérêt pour rendre plus flexible, moins soumise aux variabilités, la production de verre. Ainsi, le mini-projet 3 portera sur la manière de colorer un verre. Des expériences à échelles réduites seront réalisées en parallèle de simulations numériques.



Figure 3 : Vitraux du marché couvert de Sao-Paulo au Brésil.

Finalement, le verre est connu pour sa fragilité. La figure 4 représente le détail d'une zone de fracture observé au microscope électronique à balayage. Le verre peut être rendu plus résistant en réalisant des trempes thermique ou chimique. Le mini-projet 4 aura pour but de voir comment faire ce renfort mécanique. Les deux techniques de renforcement seront analysées théoriquement. De plus, des expériences serviront à évaluer l'efficacité des techniques de trempes.

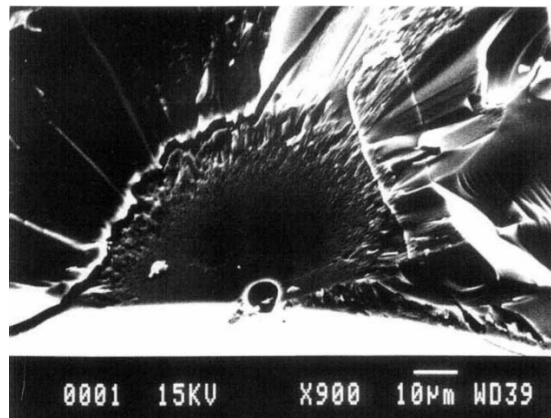


Figure 4 : Image MEB d'une micro-fracture d'un verre.

LES VISITES

Au cours de la première semaine, une visite au centre de recherche de Saint-Gobain à Aubervilliers sera organisée pour voir à l'échelle laboratoire comment les verres sont formulés et élaborés avant les essais industriels. Le marché du verre plat pour l'habitat et l'automobile sera abordé grâce à la visite de l'usine de verre plat de Saint-Gobain Glass à Chantreine (60). La visite du site Créatech de Pochet du Courval est également programmée. Une visite de l'usine Saverglass, fabricant des bouteilles pour les spiritueux, est de même prévue à Feuquières (60). Enfin, à Sophia Antipolis, une visite de la verrerie de Biot sera organisée de sorte à voir un aspect plus artistique de la réalisation d'objets en verre.

PROGRAMME PREVISIONNEL

	Matin	Après-midi
Lundi 15 nov.	Introduction au verre et à son élaboration, séminaire de Xavier Capilla (Institut du verre)	Visite de Saint-Gobain Recherche, Aubervilliers
Mardi 16	Introduction aux phénomènes de transferts Séminaire de Jean-Marc Flesselles (ISOVER, Saint-Gobain)	Visite de Pochet du Courval, Clichy
Mercredi 17	Visite de la ligne float de Saint-Gobain Glass et de l'usine Sekurit	Visite de la ligne float de Saint-Gobain Glass et de l'usine Sekurit
Jeudi 18	Introduction à la mécanique des fluides numérique Séminaire de Corinne Payen (Verallia)	Introduction à la mécanique des verres Séminaire d'Allan Fredholm (Corning)
Vendredi 19	Visite de Saverglass (Feuquières)	Visite de Saverglass (Feuquières)
Voyage pour Nice		
Lundi 22 nov.	Accueil et présentation des mini-projets	Mini-projets
Mardi	Mini-projets	Mini-projets
Mercredi	Visite de la verrerie de Biot	Mini-projets
Jeudi	Mini-projets	Mini-projets
Vendredi	Mini-projets	Mini-projets
Voyage pour Nice		
Lundi 29 nov.	Mini-projets	Mini-projets
Mardi	Mini-projets	Mini-projets
Mercredi 1 ^{er} déc.	Mini-projets	Mini-projets
Jeudi	Synthèse et rédaction	Synthèse et rédaction
Vendredi	Synthèse et rédaction	Synthèse et rédaction

DETAILS PRATIQUES POUR LES ELEVES / CONTACT(S)

Le MIG VERRE s'effectuera en grande partie sur le site de Sophia-Antipolis où les projets du MIG seront réalisés. Les voyages de Paris à Nice seront effectués par avion.

- **Coordinateurs :** Franck PIGEONNEAU franck.pigeonneau@mines-paristech.fr
Tél. : 04 93 95 74 34
Romain Castellani romain.castellani@mines-paristech.fr
Tél. : 04 93 95 89 51
- **Animateurs :** Paula Perez Lopez : paula.perez_lopez@mines-paristech.fr
Tiphaine Houdard : tiphaine.houdard@mines-paristech.fr
Thibaut Robine : thibaut.robine@mines-paristech.fr
- **Voyages :** Sylvie Massol sylvie.massol@mines-paristech.fr
Tel : 04 93 95 74 17

Dès la constitution du groupe, il faudra nous faire parvenir au plus vite une copie de votre carte d'identité (recto-verso) ou de votre passeport. Ces documents seront également indispensables pour les visites.