

# Mini-projet 1

Kataevskii Mikhail, Ahrend Laurentin-Wilhelm, Garcia Harlouchet Ivan,  
Galliot Noémie, Duhautois Lucas

27 novembre 2024

## 1 Présentation

Le verre est un matériau d'avenir, recyclable à l'infini, mais sa production reste encore très polluante, notamment à cause de l'eau utilisée pour refroidir les systèmes et l'énergie dépensée pour chauffer les fours qui servent à la fusion du verre. De plus, les minéraux présent dans la composition initiale du verre relâchent du  $CO_2$  lors de leur fusion.

De nombreuses pistes pour pallier à ce problème sont envisagées par les fabricants, comme augmenter la proportion de calcin (verre recyclé) dans les préparations initiales, ou encore passer de fours à gaz à des fours électriques ; mais les progrès faits sont encore loin d'être satisfaisant.

Le but de ce mini-projet est donc d'étudier une manière de réduire les émissions lors de la fabrication du verre. Pour cela, nous nous sommes concentrés sur la température de fusion de ce dernier. En effet, abaisser la température de fusion du verre signifie abaisser l'énergie nécessaire à sa fabrication. Cela permettrait aux entreprises de réaliser des économies d'énergies tout en diminuant leurs émissions. Cependant, le verre ainsi obtenu doit répondre au cahier des charges des entreprises et ne pas perdre en propriétés telles que sa dureté, sa flexibilité ou encore son élasticité.

Afin de répondre à cette problématique, nous disposons d'une base de données "INTERGLAD" regroupant les compositions et les propriétés de plusieurs centaines de milliers de verres.

L'objectif est donc de trouver à l'aide d'un algorithme génétique exploitant cette base de données une composition de verre permettant de minimiser la température de fusion du verre tout en conservant ses propriétés. La composition ainsi obtenue sera utilisée expérimentalement pour créer notre propre verre, sur lequel nous pourrions expérimenter afin de tester ses capacités.

## 2 Utilisation d'un algorithme de Deep Learning

### 2.1 Introduction

On dispose de plusieurs modèles entraînés sur la base de données INTERGLAD qui permettent de prédire les propriétés du verre à partir de sa composition. On cherche à déterminer le verre dont les fractions molaires vérifient :

- $0.3 < x_{Si} < 0.75$
- $x_{CaO} < 0.35$
- $0.1 < x_{Na_2O} < 0.29$
- $x_{Al_2O_3} < 0.23$

On souhaite que le verre possède les propriétés suivantes :

- $1200^\circ C < T_m < 1300^\circ C$
- $2300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} < \rho < 2800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- $500^\circ C < T_g < 600^\circ C$
- $70 < E < 90$

Pour fabriquer le verre on a accès aux composantes suivantes :

- $SiO_2$
- $Al_2O_3$

- $MgO$
- $CaO$
- $Na_2O$
- $K_2O$
- $ZnO$
- $TiO_2$

## 2.2 Optimisation avec 4 composantes

# 3 Fonte d'un premier verre

## 3.1 Composition

En analysant les bases de données fournies par nos encadrants et celles sur Interglad, nous avons déterminé une première composition de verre, à l'aide uniquement de  $SiO_2$ , de  $CaO$  et de  $Na_2O$ , dont la température de fusion prédite est comprise entre 1200°C et 1300°C. Cette composition molaire est la suivante :

- 65,4 % de  $SiO_2$
- 11,3 % de  $CaO$
- 23,3 % de  $Na_2O$

Cette composition est très proche de celle utilisée par les égyptiens il y a plus de 2500 ans, d'après les écrits de la bibliothèque du roi Assurbanipal (70 % de  $SiO_2$ , 10 % de  $CaO$ , 20% de  $Na_2O$ ). En effet, le verre est connu depuis très longtemps et sa composition a peu varié.

Ces proportions ont ensuite été converties en proportion massique, afin de réaliser le mélange à l'aide d'une balance de précision. Après homogénéisation, le mélange est introduit dans un creuset, lui-même inséré dans un support, avant d'être mis dans un four électrique. Le support du creuset a été taillé dans du graphite afin d'avoir la même taille que ce dernier et ainsi permettre une meilleure prise pour la pince à la sortie du four.

Le protocole de fusion du verre est donné en annexe. Pour des raisons techniques de taille du creuset, la fonte est réalisée en deux parties. Une première partie du mélange est fondue puis une deuxième partie du mélange est réintroduite dans le liquide, et la fusion se poursuit.

Le liquide obtenu est ensuite coulé dans un moule en acier rectangulaire.

# 4 Annexe mini-projet 1

## 4.1 Protocole de fusion du verre

Lors de la fusion du verre, nous avons suivis le protocole suivant :

- Préparation de la composition
- Enfournement d'une première partie du mélange vitrifiable
- Montée en température du four à 900°C
- Palier de 30 minutes
- Montée en température du four à  $T_m$  en 60 minutes
- Maintien de la température pendant 1h
- Enfournement du reste de la composition
- Remise en température à  $T_m$  pour 1h
- Coulée du verre

Toutes les manipulations en contact direct avec le four à très hautes températures ont été réalisées par Franck Pigeonneau et Christophe Prady, à l'aide d'équipements de protections contre ces températures.