

# Optimisation de plans de découpe de verre

Hugo Chareyre<sup>1</sup>, Quentin Viaud<sup>2</sup>, Alexandre Marié<sup>1</sup>, François Geoffray<sup>3</sup>, Sylvain Mouret<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Artelys, Paris, France

{hugo.chareyre, alexandre.marie, sylvain.mouret}@artelys.com

<sup>2</sup> Saint-Gobain Research Paris, Aubervilliers, France

{quentin.viaud@saint-gobain.com}

<sup>3</sup> Saint-Gobain Glass Industry, La Défense, France

{francois.geoffray@saint-gobain.com}

**Mots-clés :** *Optimisation combinatoire, découpe de verre.*

## Introduction

Saint-Gobain est une entreprise française spécialisée dans la production, la transformation et distribution de matériaux, notamment de vitrages.

Lors du processus de fabrication de verre plat, plusieurs composants (sable, soude, etc.) sont fondus ensemble dans un grand four afin de créer un grand ruban de verre liquide qui est étalé sur un bain d'étain puis refroidi jusqu'à solidification. Ce ruban est alors découpé en grandes plaques de verre (généralement 3m x 6m). Par la suite, celles-ci sont redécoupées en de plus petites pièces rectangulaires selon les besoins des clients. Ces pièces doivent être coupées au sein de la plaque selon un plan de coupe respectant les contraintes physiques du verre. Par exemple, les coupes doivent traverser de part en part le verre en ligne droite (guillotine). De plus, selon les lignes de production, certaines contraintes industrielles peuvent s'ajouter (ordre de sortie des pièces, etc.). Un plan de coupe peut être vu comme un problème de sac à dos en deux dimensions visant à maximiser la surface de verre utilisée pour des pièces commerciales. Dans la réalité industrielle, il arrive que les plaques de verre contiennent des défauts consécutifs au processus de fabrication. Ces défauts entraînent une dégradation de la qualité commerciale des produits amenant la plupart du temps à la reproduction des pièces défectueuses, ce qui réduit significativement la productivité. Récemment, un scanner a été ajouté pour cartographier les défauts (position et taille) sur chaque plaque de verre à la fin du processus de fabrication.

Pour prévenir les pertes, il convient d'adapter le plan de coupe à l'aide de la carte de défauts de façon à positionner les défauts en dehors de pièces commerciales ou, dans une moindre mesure, les positionner dans les pièces ayant le moins d'impact sur la production. Le processus industriel actuel utilise déjà un algorithme de conception de plans de coupe mais qui ne prend pas en compte les défauts. Pour remédier à ce problème sans remise en cause de cet algorithme, il est envisageable d'adapter les plans de coupes juste avant leur usinage. Le cadre fixé ici cherche à déplacer les pièces au sein du plan de coupe de façon à positionner les défauts dans les chutes tout en conservant sa structure initiale. C'est ce problème de modification de plan de coupe que nous abordons dans cette étude. Ce problème s'inscrit dans la continuité du challenge ROADEF/EURO 2018.

## Modélisation et résolution

Un plan de coupe est modélisable à l'aide d'un arbre où chaque nœud correspond à une sous-partie de la plaque et chaque arc correspond à une coupe. La racine modélise la plaque entière, les feuilles représentent soit une pièce (en bleu), soit une chute (en gris). Ci-dessous, les nœuds contenant des défauts sont entourés en rouge.

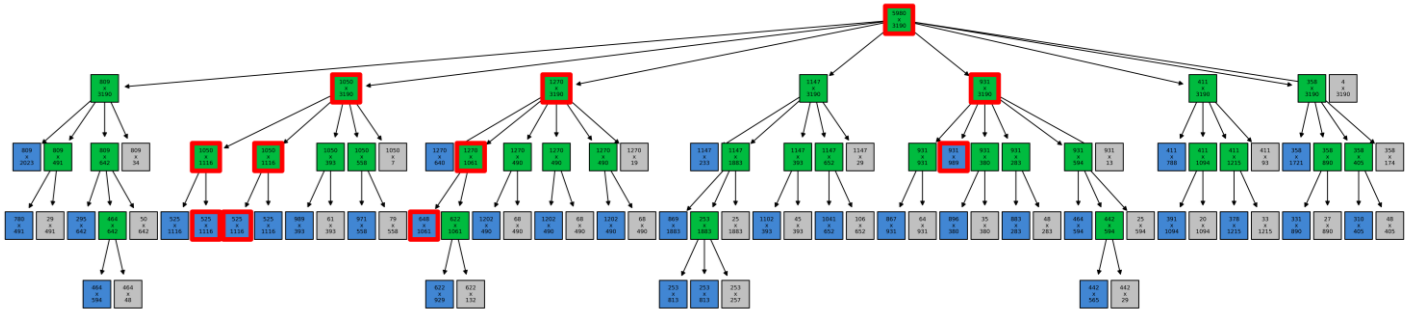


FIG. 1 - Représentation en arbre d'un plan de coupe.

Une fois le plan de coupe initial modélisé en arbre, un moyen d'action simple pour diminuer l'impact des défauts est de permuter les nœuds ayant le même nœud parent et ce à chaque niveau. Cela permet de déplacer les pièces au sein de la plaque tout en conservant les bonnes propriétés du plan de coupe initial. L'objectif est donc de trouver l'ensemble de permutations des nœuds permettant de minimiser l'impact des défauts. Celui-ci est défini comme la surface totale des pièces défectueuses :

$$\min \sum_{i \in P_D} h_i w_i$$

avec  $P_D$  l'ensemble des pièces intersectant au moins un défaut,  $h_i$  et  $w_i$  les largeurs et hauteurs.

Cette formulation du problème permet de s'affranchir de la quasi-totalité des contraintes métiers prises en compte lors de la conception du plan de coupe initial. La seule contrainte à vérifier lors de l'exploration est qu'aucun défaut n'intersecte une coupe (cela pouvant entraîner une casse du verre lors de la découpe). Les instances se caractérisent par des arbres d'environ une centaine de nœuds, larges mais peu profonds. Pour résoudre ce problème, une méthode d'exploration des permutations d'un arbre de coupe a été implémentée. Celle-ci vise à permuter les nœuds adéquats tout en filtrant les permutations équivalentes. Le nombre de solutions différentes est très grand ( $\prod_n |C_n|!$ , avec  $C_n$  les nœuds enfants du nœud  $n$ ). Une exploration exhaustive est envisageable mais coûteuse en temps d'exécution. Cependant, il est possible d'éliminer de nombreuses solutions équivalentes vis-à-vis de la fonction objectif. La méthode utilisée vise à étiqueter chaque permutation explorée par un ensemble minimal de descripteurs impactant la fonction de coût de façon à ne pas explorer deux permutations étiquetées identiquement.

L'application développée permet d'obtenir la solution optimale en des temps très courts. En effet, le temps d'exécution moyen est de 70 ms et peut aller jusqu'à une dizaine de secondes pour les instances les plus difficiles. Sur le plan du gain en productivité, les résultats ont montré en moyenne un gain de 1,4 m<sup>2</sup> de surface défectueuse par plaque, cela représentant en moyenne un gain de 53%. D'un point de vue industriel, l'application a été conçue pour faire face à la diversité des lignes de production (contraintes supplémentaires activables, minimisation des infaisabilités, etc.)

La résolution de ce problème d'optimisation permet d'apporter une solution simple à mettre en place dans le processus industriel. De plus, sa rapidité et sa flexibilité permettront de faciliter son intégration. Des développements sont actuellement en cours pour améliorer les gains en surface défectueuse en modifiant plusieurs plans de coupe à la fois.