

# OPTIMISATION DE L'ANALYSE DES MODES DE RUPTURE PAR RÉSEAU DE NEURONE CONVOLUTIF

Cournault Bérangère<sup>1,3</sup>, Vedrenne Luc<sup>2</sup>, Teyagirwa Prudence Felix<sup>1</sup>, Erkel Arnaud<sup>3</sup>, Hattenberger Grégoire<sup>3</sup>, Jmal Hamdi<sup>2</sup>, Kharouf Najji<sup>1</sup>, Etienne Olivier<sup>1,3</sup>

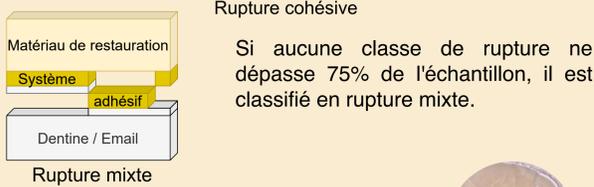
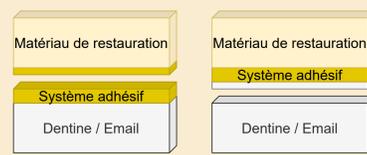
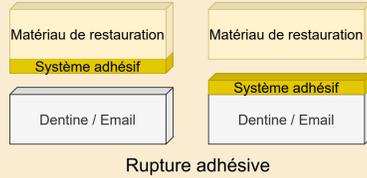
<sup>1</sup> Biomaterials & bioengineering, UMR 1121, Inserm, Strasbourg

<sup>2</sup> Icube, UMR7357, CNRS, Strasbourg

<sup>3</sup> Faculty of Dental Surgery - Robert Frank, Strasbourg University

## 01 Problématique

Pour quantifier l'adhésion des céramiques aux tissus durs dentaires, des tests macroscopiques de résistance au cisaillement (SBS) sont couramment utilisés. Une analyse du faciès de rupture est ensuite effectuée pour déterminer l'emplacement de rupture et sa corrélation avec les valeurs SBS correspondantes.



### Microscopie optique (MO)



- La plupart des analyses de la littérature.
- Peuvent donner lieu à des interprétations erronées.

### Microscopie électronique à balayage (MEB)



- Précises mais chronophages : ne conviennent pas aux études de "screening" comprenant un grand nombre d'échantillons à évaluer rapidement.
- Tous les laboratoires ne sont pas équipés.

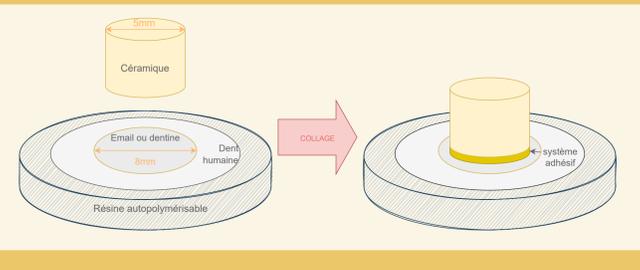
### Profilométrie optique



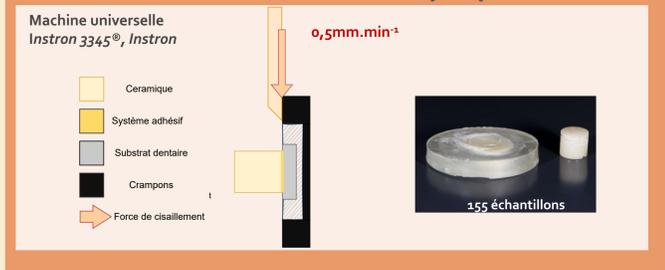
- Précis mais utilisable uniquement pour le côté dentaire de l'échantillon (calibration verticale).
- Acquisition plus chronophage qu'en microscopie optique.
- Tous les laboratoires ne sont pas équipés.

## 02 Matériels & méthodes

### 1. Préparation des échantillons

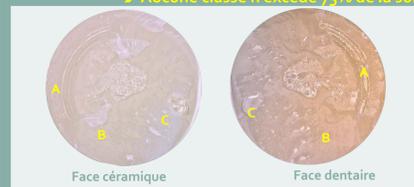


### 2. Test de résistance au cisaillement (SBS)

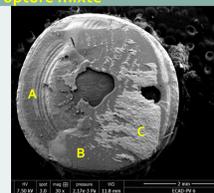


### 3. Création du jeu de données : labellisation de 155 échantillons

Sur cet exemple: A : rupture adhésive à la céramique B : rupture adhésive à l'émail C : rupture cohésive au sein de l'émail  
→ Aucune classe n'excède 75% de la surface du faciès → rupture mixte



Microscopie optique x100  
Analyse de la face dentaire et de la face céramique de chaque échantillon  
VHX 5000, Keyence 2 observateurs



Microscopie électronique x30  
Microscope électronique à balayage Quanta 250 FEG SEM  
Faces céramiques des échantillons - 2 par groupe



Profilométrie optique x10  
Infinitesimal Focus SL, Bruker Alicona  
Résolution verticale : 100 nm  
Faces dentaires des échantillons

JEU DE DONNÉES DE 155 ECHANTILLONS (MICROSCOPIE OPTIQUE) LABELLISÉS

Utilisés pour labelliser les images de microscopie optique non fournis au réseau de neurone

### 4. Entraînement d'un réseau de neurones convolutif

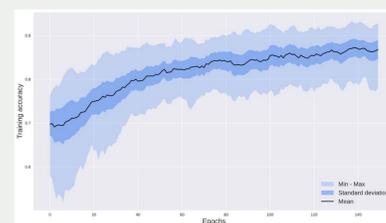
Réseau de neurones convolutif EfficientNet-B3, entraînement supervisé

20% des données utilisées entant que set de validation

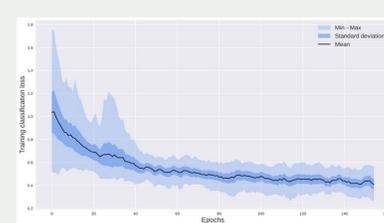
Challenges :  
- données limitées  
- classes non uniformes

Pour éviter le surajustement (overfitting) et les biais : réseau pré-entraîné sur ImageNet.

- + Techniques de régularisation :
- ✓ data augmentation
  - ✓ label smoothing
  - ✓ mixup
  - ✓ cutmix
  - ✓ moyenne stochastique des poids



"Exactitude" (Accuracy) du réseau de neurone au fil des époques (sur 20 séries)  
1 époque = 1 utilisation de tout le jeu de données

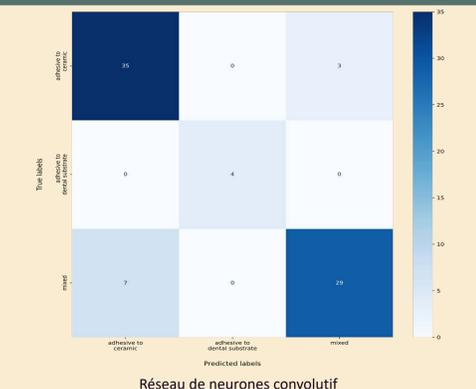
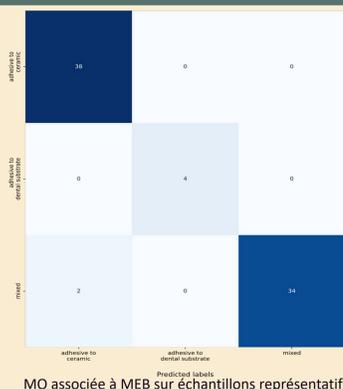
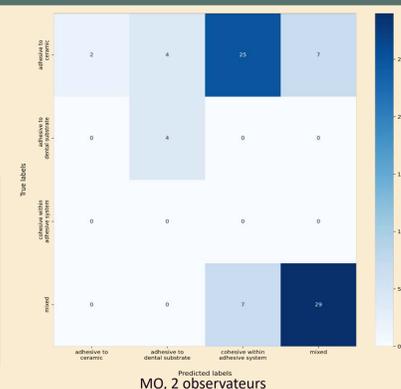


Erreur de classification au fil des époques (sur 20 séries)

## 03 Résultats

Bonne méthode de classification :  
✓ Précision (precision) maximale → éviter les faux positifs  
✓ Sensibilité (recall) maximale → trouver tous les positifs  
F1 score =  $\frac{1}{2} \left( \frac{1}{precision} + \frac{1}{recall} \right)$

Méthode d'analyse	F1 score
Microscopie optique seule	45.47
Microscopie optique + microscopie électronique à balayage sur échantillons représentatifs	97.43
Réseau de neurones convolutif sur microscopie optique seule	87.12



## 04 Conclusion

La microscopie optique est une méthode couramment utilisée dans la littérature pour l'analyse des modes de rupture, malgré ses limites reconnues. Dans cette étude, nous avons quantifié cette erreur et obtenu un. Les observateurs ont eu du mal à identifier les ruptures adhésives à la céramique. Bien qu'il soit souhaitable d'observer tous les échantillons en MEB, la valeur pratique d'un test SBS macroscopique réside dans sa facilité d'utilisation et sa rapidité pour tester un grand nombre d'échantillons. Dans les limites de cette étude, la combinaison de l'OM et du MEB sur deux échantillons représentatifs par groupe semble être une méthode fiable, avec un score F1 de 97,43.

Le score F1 étonnamment élevé de 87,12 pour le réseau de neurones, compte-tenu de la taille du jeu de données, suggère que la tâche de classification de la MO seule est potentiellement facile pour un réseau de neurones convolutif. Cela indique que cette tâche peut être développée davantage. La principale limite est la rareté des échantillons de rupture cohésive, qui pourrait être résolue en élargissant le jeu de données.

### Bibliography

- Sirisha K, Rambabu T, Shankar YR, Ravikumar P. Validity of bond strength tests: A critical review: Part I. Journal of Conservative Dentistry. 2014; 17(4) : 305-311.
- Braga RR, Meira JBC, Boaro LCC, Xavier TA. Adhesion to tooth structure: A critical review of "macro" test methods. Dental Materials. 2010; 26 : 38-49.
- Etienne O, Anckenmann L. Restaurations esthétiques en céramique collée. Editions CdP; 2016, 353p.
- El Mourad AM. Assessment of Bonding Effectiveness of Adhesive Materials to Tooth Structure using Bond Strength Test Methods: A Review of Literature. The Open Dentistry Journal. 2018; 12(1) : 664-678.
- Technical specification ISO/TS 11405. Dental material - testing of adhesion to tooth structure. Second ed. Switzerland, 2003.
- Toman M, Cal E, Türkün M, Ertugrul F. Bond strength of glass-ceramics on the fluorosed enamel surfaces. Journal of Dentistry. 2008; 36 : 281-286.
- M. Tan and Q. V. Le, "Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks," 2020.
- R. MÄNnuller, S. Kornblith, and G. Hinton, "When does label smoothing help?," 2020.
- H. Zhang, M. Cisse, Y. N. Dauphin, and D. Lopez-Paz, "mixup: Beyond empirical risk minimization," 2018.
- S. Yun, D. Han, S. J. Oh, S. Chun, J. Cho, and Y. Yoo, "Cutmix: Regularization strategy to train strong classifiers with localizable features," 2019.
- I. P. Izmailov, D. Podoprikin, T. Garipov, D. Vetrov, and A. Wilson, "Averaging weights leads to wider optima and better generalization," in UAI 2018, 2018.