

Développement d'un biomatériau dentaire bio-inspiré pour des restaurations durables

Contexte, positionnement et objectif

Les pertes de tissus dentaires, qui impactent une grande majorité de la population, sont liées aux séquelles de la carie, des traumatismes, de l'usure liée aux comportements alimentaires ou à des effets collatéraux de pathologies [1]. Selon le volume de perte de tissu, des restaurations indirectes des tissus dentaires, par prothèses, sont réalisées à l'aide de résines composites ou de céramiques [2]-[3] (Figure 1.a.). Les restaurations actuelles ont une durée de vie limitée (moins de 10 ans) [4]-[6], la fracture étant la principale cause d'échec pour les restaurations céramiques [4] et la seconde principale cause d'échec pour les restaurations en résine composite [5]. Environ 20% de ces restaurations se cassent ou se descellent dans les 5 premières années [6], sous l'effet de fortes concentrations de contraintes à leurs bases [4]. Ces restaurations sont réalisées avec des matériaux aux propriétés mécaniques homogènes et isotropes qui ne reflètent pas les propriétés mécaniques de la dent naturelle. En effet, la dent est majoritairement constituée de deux tissus, l'émail (module d'Young ~ 40 à 80 GPa) et la dentine (module d'Young ~ 20 GPa) associés entre eux par la jonction amélo-dentinaire (JAD). La JAD présente une microstructure complexe lui conférant des propriétés mécaniques particulières [7], notamment un gradient linéaire de module d'élasticité (40 à 80 GPa) réparti sur quelques dizaines de microns [8]. Aucun décollement de cette jonction n'est constaté lors d'une propagation de fissure de l'émail vers la dentine ; les fissures provenant de l'émail s'arrêtent spontanément dans une zone proche de la JAD. Le gradient de module d'élasticité lié à l'architecture de la JAD serait à l'origine de la bonne ténacité de la dent face à la propagation de fissures de l'émail vers la dentine [7]. Des études numériques sur modèles simplifiés ont montré qu'un biomatériau de restauration à gradient de module d'élasticité (MGME), permettrait (1) à une couronne de résister à des efforts 20% à 40% plus importants qu'un matériau de restauration isotrope en céramique [9] et (2) de réduire fortement les contraintes sur les tissus dentaires et l'adhésif pour un chargement mécanique représentatif des efforts de mastication [10]. Une étude numérique complémentaire menée au sein de l'URB2i a permis de confirmer cette tendance et de préciser la gamme de modules d'élasticité souhaitée (40 à 80 GPa) au sein du matériau de restauration (Figure 1.b.). Certaines équipes ont également tenté de reproduire ce gradient à l'aide d'un nano-composite [9], d'une céramique poreuse infiltrée de polymère [11] ou infiltrée de verre [12]. Cependant, les matériaux développés présentent des plages de modules d'élasticité inadaptées : ~ 20 à 200 GPa pour les nano-composites, ~ 28 à 42 GPa pour les céramiques infiltrées de verre, ~ 60 à 250 GPa pour la zircone infiltrée de verre. Les géométries mises en forme pour ces matériaux sont élémentaires (cylindre ou parallélépipède) et non représentatives des formes complexes des prothèses dentaires.

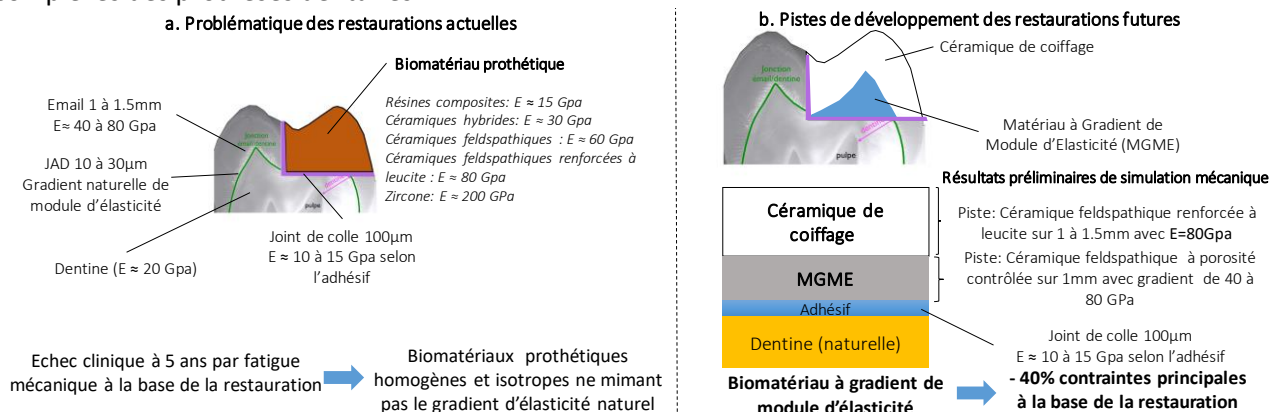


Figure 1. Contexte et positionnement des travaux

L'URB2i s'est donc associé à l'Institut de Recherche sur les Céramiques (IrCer, UMR CNRS 3715) pour développer un MGME et le procédé additif de mise en forme associé pour la réalisation de prothèses dentaires. Une thèse co-dirigée par l'URB2i et l'IrCer a débuté en septembre 2018 afin d'établir le cahier des charges du MGME sur un modèle simplifié de dent restaurée et réaliser la preuve de concept

du MGME. Cette nouvelle thèse s'inscrit dans ce contexte, au cœur du projet scientifique de l'URB2i, et vise à affiner le cahier des charges du MGME pour des géométries prothétiques réalistes (inlay, onlay) en confrontant résultats expérimentaux et simulations.

Déroulement

La thèse se déroulera de la manière suivante :

1. L'étudiant s'appropriera le sujet de thèse à l'aide de recherches bibliographiques et en prenant en main les outils numériques du laboratoire. Notamment, plusieurs types de modèles ont été développés : à partir de géométries simplifiées (cylindre multicouche, cône coiffé par une couronne) ou à partir de géométries réelles (mandibule partiellement édentée, dent restaurée par une couronne).
2. L'étudiant développera ensuite un modèle correspondant à la géométrie prothétique traitée afin de caractériser l'apport du MGME sur la résistance mécanique de la prothèse. Il investiguera l'influence de différents paramètres tels que les lois de comportement des tissus dentaires, le type de chargement appliqué ou les paramètres du MGME (nombre et agencement des couches dans l'espace) sur la résistance mécanique de l'assemblage prothétique. Ce modèle permettra de réaliser de nombreux tests sur le MGME afin d'affiner son cahier des charges pour une géométrie prothétique particulière.
3. Afin de valider ces modèles, nous nous appuierons sur une caractérisation des tissus dentaires et du MGME à l'échelle du micron ainsi que sur des essais macroscopiques. Ces essais macroscopiques seront réalisés sur des dents restaurées et/ou des assemblages modèles simplifiés afin de valider chaque étape de modélisation. L'étudiant exploitera également les techniques de corrélation d'images pour obtenir des mesures locales de déformation. En confrontant résultats numériques et expérimentaux, les différents modèles seront ainsi validés et la caractérisation fine de l'influence des différents paramètres du MGME sur la résistance mécanique de la prothèse sera réalisée.

Encadrement

La direction de la thèse sera assurée par Laurent Tapie (MCF HDR URB2i, Université Paris 13) qui est le porteur du projet de développement d'une restauration dentaire bio-inspirée réalisée par procédé additif. Elle sera co-encadrée par Aurélie Benoit (MCF URB2i, Université Paris 5) dont les compétences en modélisation et mise en place d'essais mécaniques complexes seront mises en œuvre dans ce projet.

Collaborations : IrCer pour la fabrication du MGME, MSSMat (CentraleSupélec) pour les équipements de caractérisation à l'échelle du micron.

Bibliographie

- [1] Bartlett DW et al. Prevalence of tooth wear on buccal and lingual surfaces and possible risk factors in young European adults. *J Dent.* 2013 ;41(11) :1007–13.
- [2] Helvey G. Classifying dental ceramics: numerous materials and formulations available for indirect restorations. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ: 1995).* 2014 ; 35(1) : 38-43.
- [3] Babu P et al. Dental ceramics: Part I—An overview of composition, structure and properties. *American Journal of Materials Engineering and Technology.* 2015 ; 3(1) : 13-18.
- [4] Pjetursson BE et al. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part I : Single crowns. *Clin Oral Implants Res.* 2007 ;18(Suppl 3) :73–85.
- [5] Opdam NJM et al. Longevity of Posterior Composite Restorations: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Dent Res.* 2014 ;93(10) :943–9.
- [6] Malament et al. Survival of Dicor glass–ceramic dental restorations over 14 years: Part I. Survival of Dicor complete coverage restorations and effect of internal surface acid etching, tooth position, gender, and age. *J Prosthet Dent* 1999 ;81 :23–32.
- [7] Imbeni V et al. The dentin-enamel junction and the fracture of human teeth. *Nat Mater.* 2005 ;4(3) :229–32.
- [8] Wang Z, et al. Mapping the mechanical gradient of human dentin-enamel-junction at different intratooth locations. *Dent Mater,* 2017 ; 34(3), 376-88.
- [9] Du J et al. Bio-inspired dental multilayers: Effects of layer architecture on the contact-induced deformation. *Acta Biomaterialia.* 2013 ;9 : 5273–9.
- [10] Huang M et al. Bioinspired design of dental multilayers. *J Mater Sci: Mater Med.* 2007 ;18 :57–64.
- [11] Eldafrawy M et al. A Functionally Graded PICN Material for Biomimetic CAD-CAM Blocks. *J dent research.* 2018.
- [12] Zhang Y et al. Graded structures for damage resistant and aesthetic all-ceramic restorations. *Dent Mater,* 2009 ; 25(6), 781-90.