

INTRODUCTION

- La chirurgie endoscopique transnasale de base du crâne permet un abord minimal invasif pour le traitement de pathologies infectieuses comme tumorales. L'enseignement anatomique et chirurgical est limité du fait d'un manque de modèles d'entraînement validés sur le plan anatomique (géométrique) et mécanique (retour haptique).
- Nous avons choisi d'évaluer plusieurs matériaux d'impression 3D disponibles au grand public pour créer des modèles d'entraînement tirés d'anatomies spécifiques de patients : le polyamide (PA), le polycarbonate (PC), la résine et l'hémihydrate de sulfate de calcium (Multicolor).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

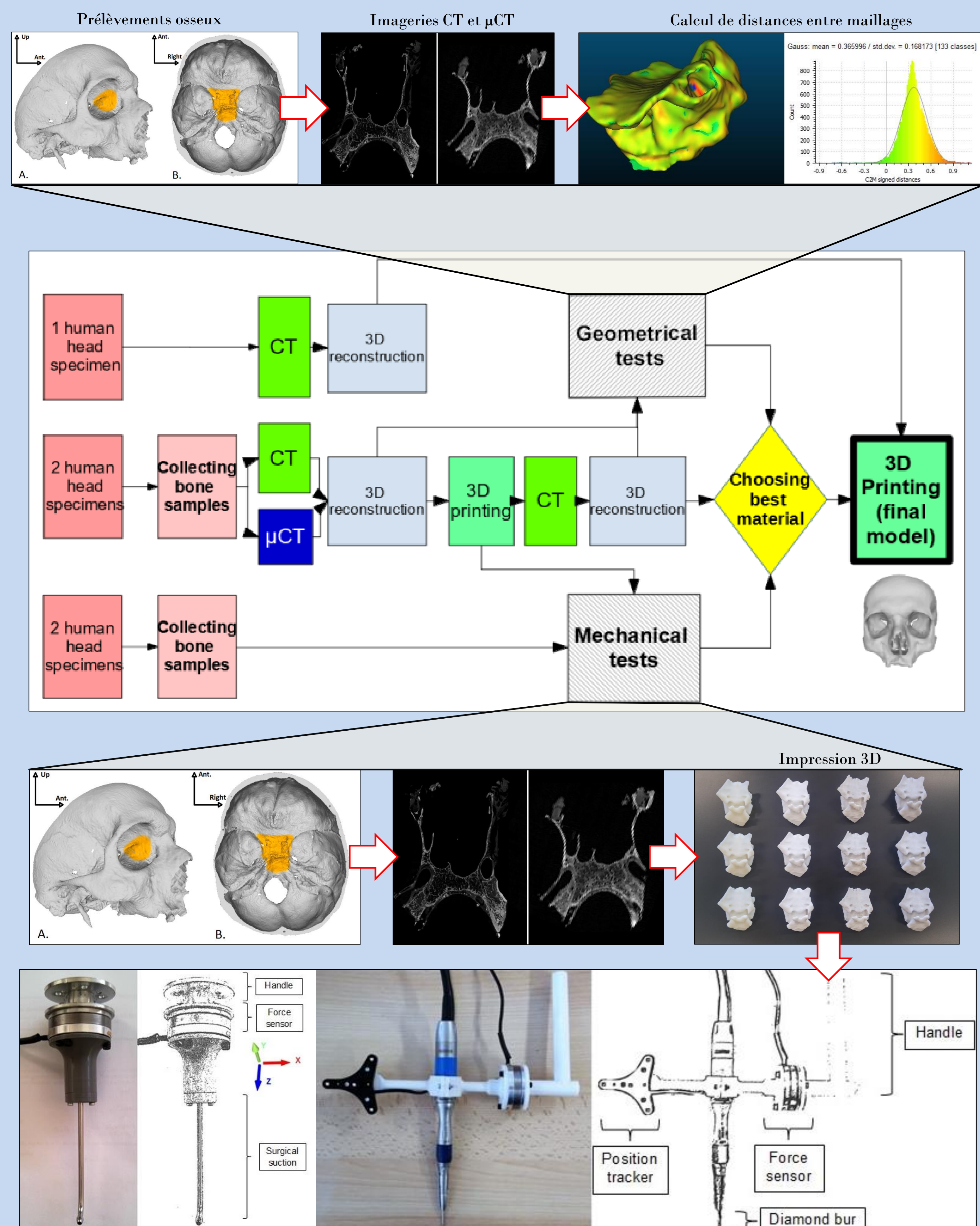


Fig 1 : Schéma récapitulatif des principales étapes de l'étude. 5 têtes cadavériques étaient exploitées : 2 ont été disséquées pour réalisation de prélèvements osseux, secondairement imagés par scanner (CT) et microscanner (µCT), qui ont ensuite été imprimés en 3D. 2 ont été uniquement disséquées pour prélèvements osseux. 1 a servi de tête témoin pour la création du modèle final (acquisition CT). 2 types de tests étaient alors réalisés :

- Comparaison géométrique des reconstructions 3D (maillages) des os cadavériques avec des échantillons imprimés en 3D des 4 matériaux (PC, Multicolor, Résine, PA) ;
- Mesure et comparaison de paramètres mécaniques sur échantillons imprimés et osseux.

DISCUSSION

- Nous avons réalisé une comparaison géométrique des maillages obtenus en CT et µCT, afin de savoir si le CT utilisé en routine médicale avait une précision suffisante pour imprimer des modèles fiables (Fig 2). La différence est inférieure à un demi voxel (625 µm), ce qui représente l'imprécision usuelle de segmentation liée à l'effet de volume partiel.
- Dans notre étude, la résistance mécanique de l'os est probablement sous-estimée du fait de multiples manipulations *ex vivo* (prélèvement, congélations/décongélations itératives). Des tests doivent être réalisés *in vivo* pour confirmer cette hypothèse.
- La procédure de tests mécaniques (Fig 3) de rupture de parois fines représentent fidèlement les gestes réalisés lors de procédures endonasales. La procédure de fraisage est moins fidèle à la pratique chirurgicale puisque nous n'avons pas fraisé dans les 3 plans de l'espace. Néanmoins, la résistance au fraisage unidirectionnel est une bonne approximation de la résistance des matériaux.
- Le PC est le matériau qui représente le meilleur compromis entre précision d'impression et comportement mécanique.
- Le PC a un mode macroscopique de fracture proche de l'os humain (Fig 4).

CONCLUSION - PERSPECTIVES:

- Le PC est un bon substitut à l'os humain cadavérique de base du crâne pour la simulation physique de procédures endoscopiques.
- Les délais et coûts raisonnables d'impression permettent l'utilisation de modèles patients-spécifiques pour une planification et un entraînement préopératoire (Fig 5). Nous sommes convaincus que de tels outils amélioreront la sécurité du patient au bloc opératoire.
- Des travaux en cours concernent l'ajout de modèles de tissus mous afin d'améliorer le réalisme ; la simulation de pathologies ; l'évaluation de l'intérêt dans la formation chirurgicale et le développement de voies d'abord minimales invasives.

RÉSULTATS

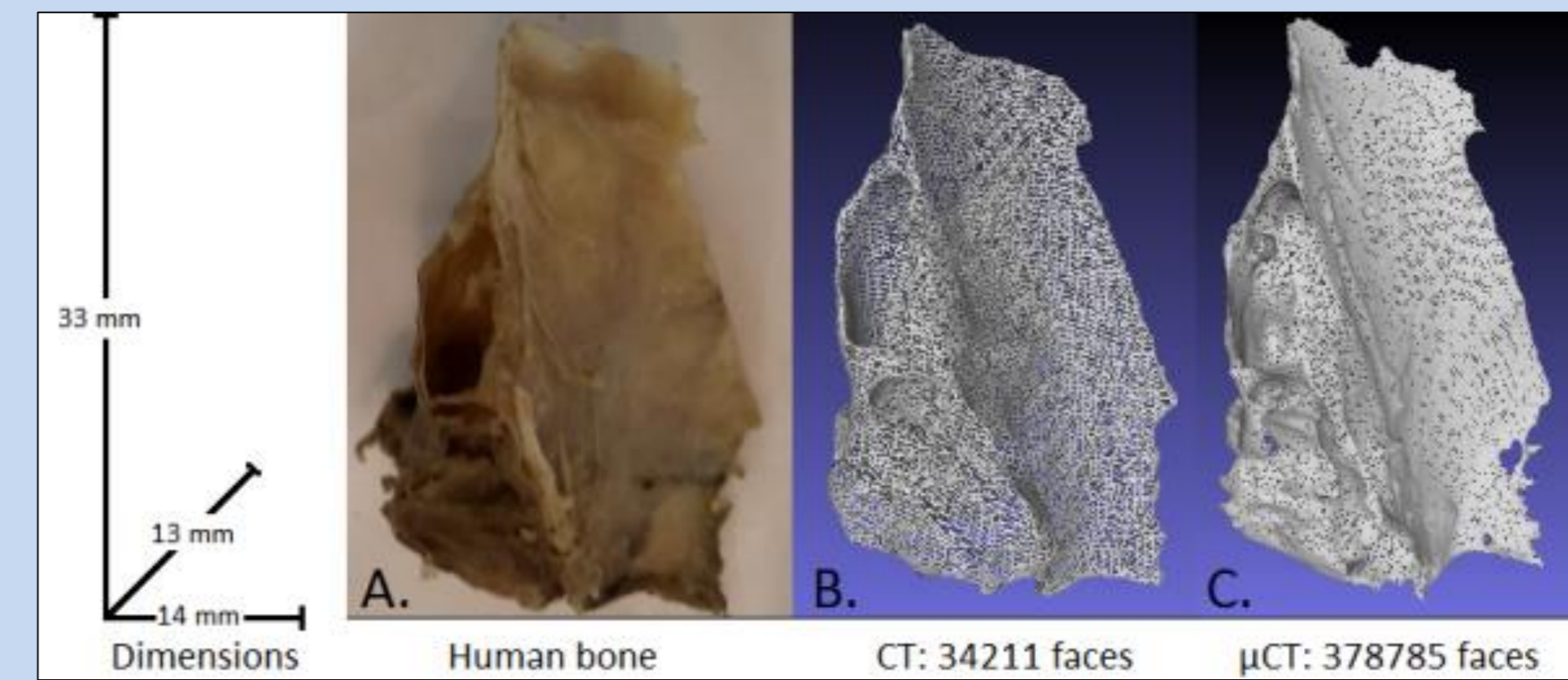


Fig 2 : Illustration de la précision des modalités d'imagerie. A. Photographie d'un échantillon osseux (lame orbitaire). B. Maillage 3D obtenu par CT. C. Maillage 3D obtenu par µCT.

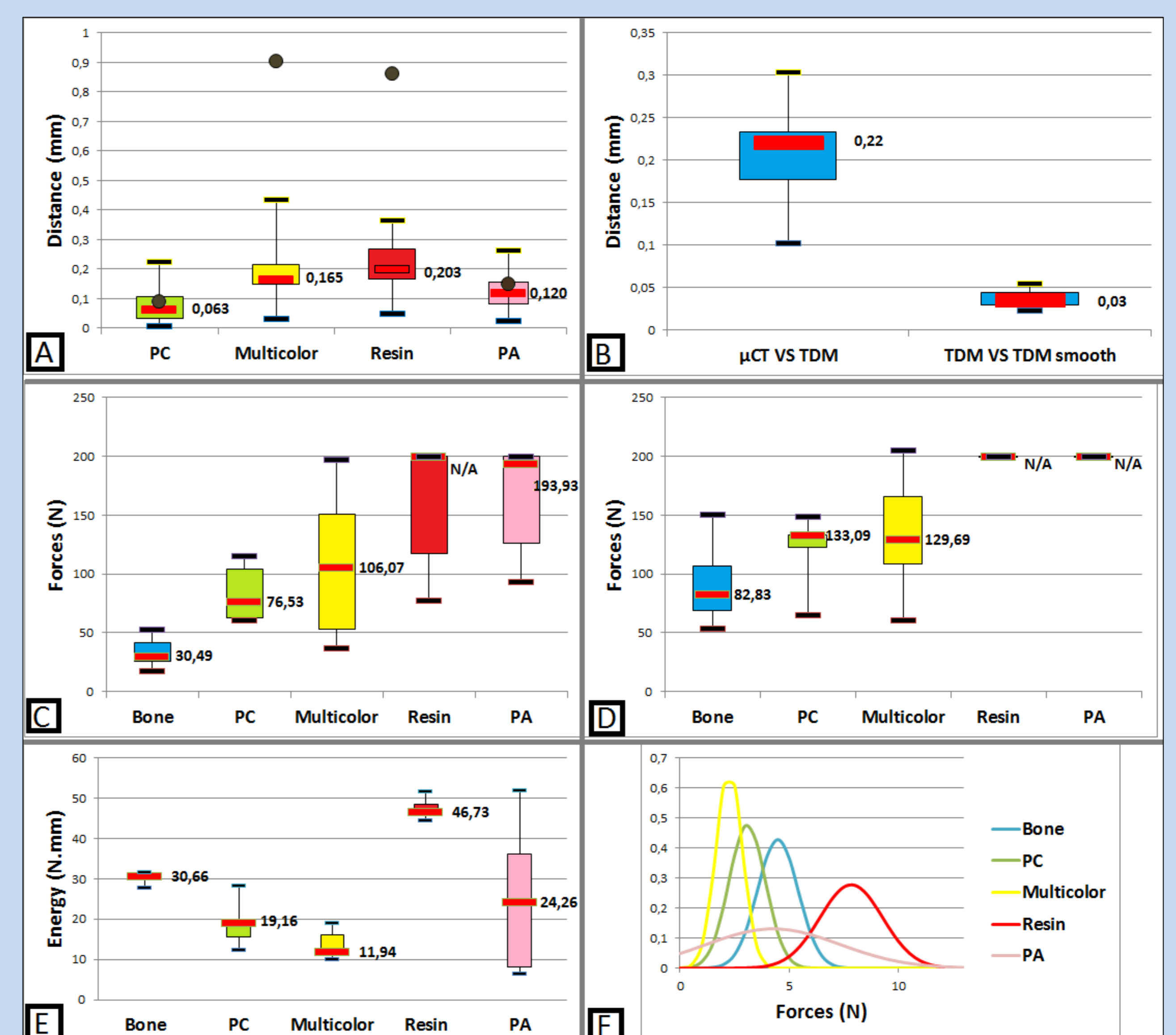


Fig 3 : Principaux résultats géométriques et mécaniques. A. Distance absolue moyenne entre maillages d'os et de matériaux. B. Comparaison de la précision des maillages CT par rapport au µCT, et au lissage. C-D. Forces nécessaires à la rupture des lames orbitaires (C) et des parois antérieures des sinus sphénoïdaux (D). E. Énergie dépensée pour un fraisage de 6 mm de profondeur. F. Répartition des forces instantanées à la surface des matériaux au cours d'un fraisage cumulé de 48 mm.

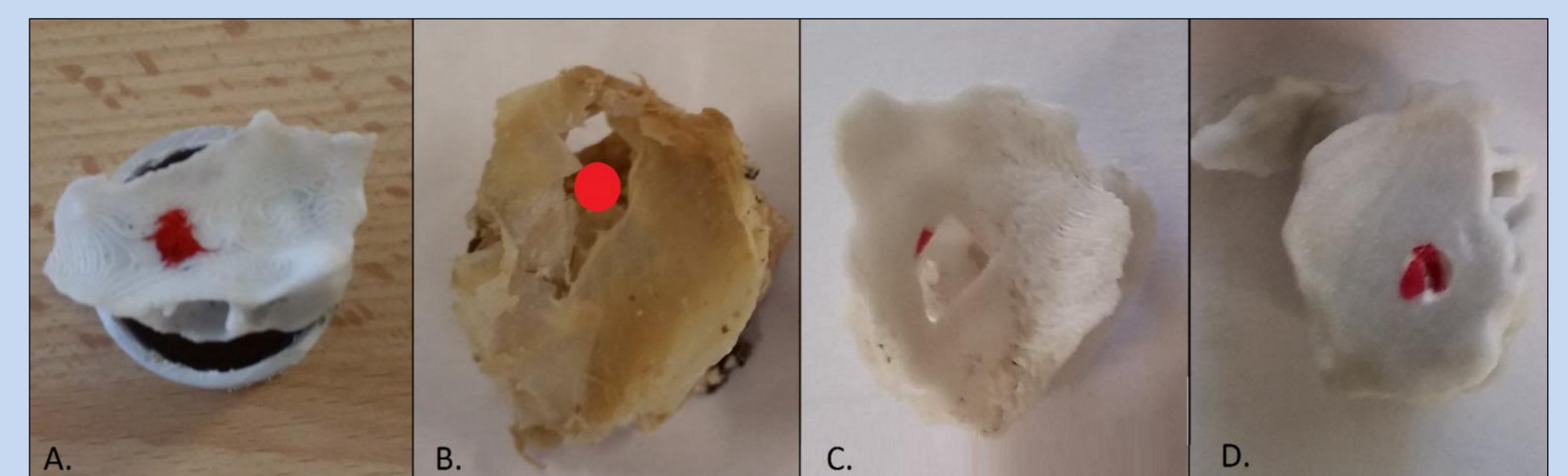


Fig 4 : Aspect macroscopique du mode de fracture des matériaux. Les points rouges représentent les points de pression. A. Échantillon positionné sur un support circulaire pour le test en rupture. B. Os cadavérique. C. PC. D. Multicolor (notez le trait de fracture à distance du point de pression).

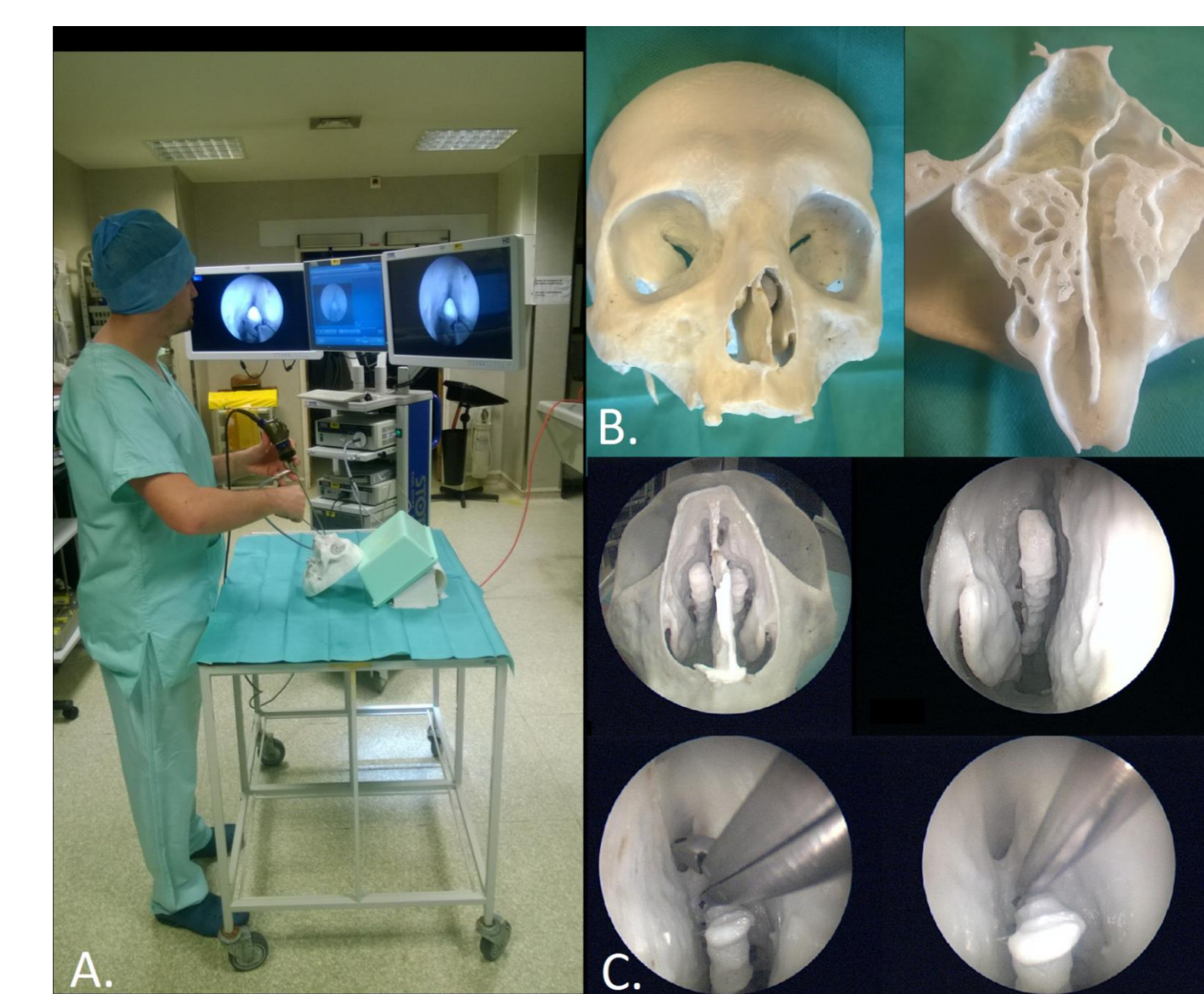


Fig 5 : Vue d'ensemble d'une procédure de simulation physique. A. Installation du matériel. B. Vue extérieure du modèle. C. Vue endoscopique.