

BERND STADLINGER¹
HARALD ESSIG²
PAUL SCHUMANN²
HUBERTUS VAN WAES³
SILVIO VALDEC¹
SEBASTIAN WINKLHOFER⁴

¹ Clinique de chirurgie buccale et maxillo-faciale, Policlinique de chirurgie orale, Université de Zurich, Suisse

² Clinique de chirurgie buccale et maxillo-faciale, Hôpital universitaire de Zurich, Suisse

³ Clinique d'orthodontie et de médecine dentaire pédiatrique, Université de Zurich, Suisse

⁴ Clinique de neuroradiologie, Hôpital universitaire de Zurich, Suisse

CORRESPONDANCE

Prof. Dr. Dr. Bernd Stadlinger
 Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
 Poliklinik für Oralchirurgie
 Universität Zürich
 Plattenstrasse 11
 CH-8032 Zürich
 Tél. +41 44 634 32 90
 E-mail:
 bernd.stadlinger@zzm.uzh.ch



Rendu cinématique en tomographie volumique numérique

Reconstruction 3D photoréaliste de pathologies dentaires et maxillo-faciales

MOTS-CLÉS

Rendu cinématique, tomographie volumique numérique, tomodensitométrie, imagerie tridimensionnelle, pathologies maxillo-faciales

Image en haut: Molaire maxillaire ankylosée, reconstruction 3D par rendu cinématique

RÉSUMÉ

Le rendu cinématique (*Cinematic Rendering*, CR) est une nouvelle technique de visualisation d'images radiographiques tridimensionnelles, qui permet d'obtenir des reconstructions d'images photoréalistes. La présente série de cas a pour objectif de mettre en évidence les possibilités d'application du CR en tomographie volumique numérique (TVN), en utilisant diverses pathologies dento-maxillo-faciales comme exemples. À cette fin, quatre TVN exemplaires présentant des pathologies dentaires et osseuses ont été sélectionnées et reconstruites en 3D à l'aide du CR: 1) résorption dentaire externe, 2) molaire maxillaire ankylosée, 3) lésion ostéolytique de la mandibule associée à des cellules géantes, 4) fente labiale-maxillo-palatine unilatérale avec déformation squelette-faciale supplémentaire. En regardant les images, on

constate subjectivement une meilleure compréhension 3D des pathologies reconstruites. Le relief et l'aspect plastique des images générées avec la technique du CR sont mieux appréhendés et permettent ainsi une perception plus évidente de la dimension spatiale (profondeur). Dans l'ensemble, il apparaît que le CR peut être appliqué avec succès à des ensembles de données obtenues en TVN dans le cadre de pathologies dento-maxillo-faciales. L'aspect photoréaliste permet d'améliorer la compréhension des structures complexes et facilite la communication avec le patient, ainsi que l'enseignement médical. L'évaluation proprement dite des images est effectuée au moyen des plans de coupe classiques. La portée diagnostique de la reconstruction en CR doit être investiguée dans le cadre d'études correspondantes.

Introduction

Ces dernières années, la tomographie volumique numérique (TVN) est devenue une technique d'imagerie de plus en plus importante en médecine dentaire. Afin d'évaluer les avantages de cette technique d'imagerie radiologique tridimensionnelle (3D) et les risques d'exposition au rayonnement, des lignes directrices appropriées ont été élaborées très tôt (DULA ET COLL. 2014). Comme l'imagerie en TVN est de plus en plus utilisée pour investiguer les atteintes pathologiques peu claires, mais aussi dans le cadre des flux de travail en implantologie, les médecins-dentistes sont de plus en plus souvent confrontés à l'observation et à l'interprétation des images obtenues en TVN. Les programmes habituels de visualisation d'images radiologiques affichent les images TVN dans le plan d'acquisition original, ainsi que dans des reconstructions multiplanaires (plan axial, coronal, sagittal). De plus, les logiciels modernes permettent de générer des reconstructions 3D pour visualiser des structures osseuses et des surfaces dentaires. En outre, la structure interne des formations tissulaires telles que les racines dentaires ou même les cavités pneumatisées telles que les sinus paranasaux peuvent en partie être visualisées en trois dimensions. Alors que les diagnostics proprement dits sont posés à partir des plans de coupe, la reconstruction 3D contribue davantage à l'impression visuelle globale. Avec ces possibilités de visualisation avancées, il est possible d'obtenir si nécessaire une meilleure compréhension anatomique tridimensionnelle, ce qui facilite, par exemple, la compréhension des fractures complexes et la préparation des interventions chirurgicales.

La médecine dentaire moderne est enrichie par de nombreux développements techniques novateurs, notamment dans le domaine de la numérisation (NEVILLE & VAN DER ZANDE 2020). En plus des nouveaux développements en médecine dentaire, les technologies d'autres domaines médicaux peuvent également être adaptées. Dans ce contexte, la reconstruction radiologique de l'aspect tridimensionnel présente un grand intérêt. Le rendu cinématique (CR) est une nouvelle technique de visualisation 3D. Il peut être considéré comme une évolution de la technique de rendu volumique (VRT), qui est actuellement la technique de reconstruction d'images 3D la plus utilisée. Aujourd'hui, plusieurs fournisseurs d'équipements proposent une technique de reconstruction photoréaliste. La technologie du CR permet d'obtenir des images très détaillées et impressionnantes par leur réalisme presque photographique. Cette technique permet d'améliorer la perception de la profondeur (ROSCHL ET COLL. 2019). Elle peut ainsi être utilisée à des fins diverses, par exemple pour améliorer la visualisation de fractures complexes, pour la planification préopératoire, la communication avec les patients ou l'enseignement médical. Jusqu'à présent, le CR a été principalement utilisé dans la tomographie assistée par ordinateur (CT-scan) et en imagerie par résonance magnétique (IRM). Seules quelques études décrivent son utilisation dans d'autres modalités d'imagerie telles que l'angiographie par soustraction numérique ou la TVN (HAKIM & MOSIMANN 2020; STADLINGER ET COLL. 2020). Après avoir montré la possibilité d'appliquer le CR dans certaines problématiques dento-maxillo-faciales sur la base de données obtenues par CT et TVN (STADLINGER ET COLL. 2020), la présente série de cas illustre la possibilité d'obtenir des reconstructions CR dans d'autres pathologies dentaires et maxillo-faciales.

L'objectif de cette série de cas est de démontrer la possibilité d'utiliser le CR dans quatre pathologies différentes et exem-

plaires de la médecine dentaire générale, de la chirurgie buccale et maxillo-faciale et de la chirurgie orale. Dans les cas sélectionnés, l'application de la technologie du CR fournit des informations 3D supplémentaires, offrant ainsi au spécialiste une méthode de visualisation complémentaire à la reconstruction volumique standard.

Matériels et méthodes

Pour ce rapport de cas, tous les patients inclus ou leurs parents ont donné leur consentement à l'utilisation des données relatives à leur santé, y compris les radiographies.

Toutes les images radiologiques ont été prises avec des scanners TVN. Les figures 1 à 3 ont été prises avec un scanner Morita Accuitomo (J. Morita, Accuitomo 170, Kyoto, Japon). Les paramètres d'imagerie étaient les suivants : **cas 1** : épaisseur de coupe 1,0 mm, taille du voxel 0,25 mm, intervalle de coupe 0,5 mm, champ de vision en mm (FOV) : 140,250, 140,250, 51,000. **Cas 2** : épaisseur de coupe 0,88 mm, taille du voxel 0,08 mm, intervalle de coupe 0,56 mm, FOV : 40,080, 40,080, 40,320. **Cas 3** : épaisseur de coupe 1,0 mm, taille du voxel 0,25 mm, intervalle de coupe 0,5 mm, FOV : 140,250, 140,250, 101,000. Le logiciel On-Demand 3DApp (CyberMed, Séoul, Corée) a été utilisé pour la visualisation.

La figure 4 a été enregistrée avec un scanner KaVo 3D eXam (KaVo, Biberach, Allemagne). Les paramètres d'imagerie étaient les suivants : **cas 4** : épaisseur de coupe 0,40 mm, taille du voxel 0,40 mm, intervalle de coupe 0,4 mm, FOV : 160,000, 160,000, 160,000.

Toutes les données TVN ont été enregistrées automatiquement au format DICOM dans le système PACS (Picture Archiving and Computing System, Synedra AG, Innsbruck, Autriche) du Centre de médecine dentaire de l'Université de Zurich. Pour la reconstruction des ensembles de données DICOM des images CR, un logiciel de rendu prototypique (ou visualisation 3D) a été utilisé (Cinematic Rendering Version 1.5.3, syngo.via Frontier, Version VB30, Siemens Healthineers, Forchheim, Allemagne).

Résultats

Les TVN de quatre patients présentant quatre pathologies dentaires ou osseuses différentes ont été sélectionnées. Lors du processus de sélection, on a choisi des enregistrements de données qui ne présentaient pas d'artefacts métalliques.

Cas n° 1

Résorption dentaire externe : TVN de la mandibule gauche d'une patiente de 65 ans. La dent 34 présente une résorption externe sur la surface vestibulaire de la racine, pénétrant dans les couches tissulaires plus profondes jusqu'à la cavité pulpaire. Il n'y a pas de lamelle osseuse vestibulaire recouvrant la racine dans la zone de la perte de substance. L'imagerie CR permet de visualiser la profondeur spatiale de la cavité de résorption.

Cas n° 2

Molaire maxillaire ankylosée : TVN du maxillaire gauche d'un garçon de 10 ans en phase de denture mixte. La dent 26 présente une angulation à 90° du tiers apical de la racine mésiobuccale, distobuccale et palatine. L'ankylose est visible au niveau interradiculaire puisque la croissance de l'os a entraîné sa pénétration jusque dans la dentine. La racine palatine présente un foramen apical ouvert. Il existe une proximité anatomique de la racine distobuccale avec le foramen apical ouvert de la racine mésiobuccale de la dent 27. Une délimitation osseuse est pré-

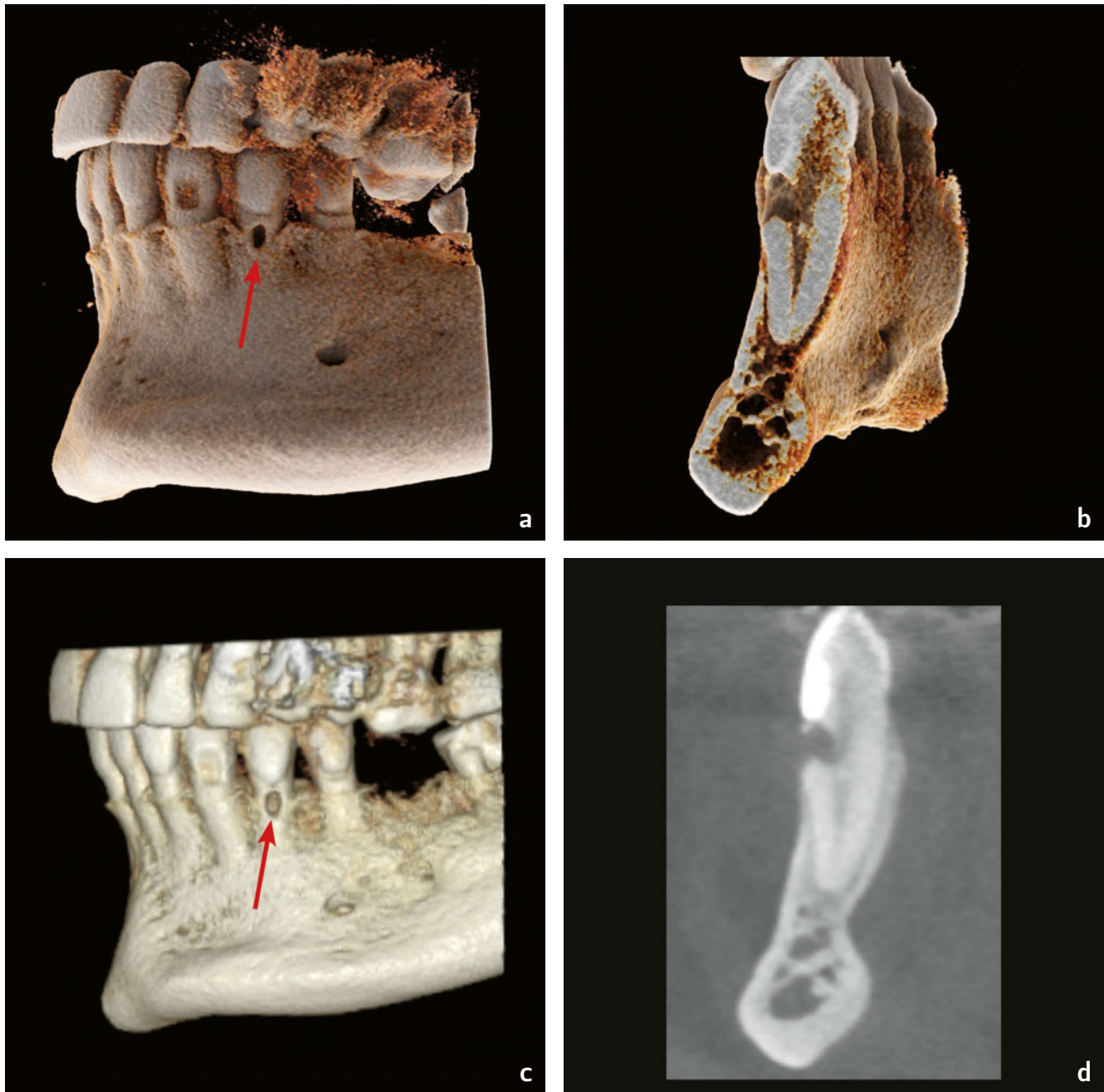


Fig. 1a-d Résorption dentaire externe (flèche): 1a) vue latérale oblique en rendu cinématique (CR); 1b) vue CR sagittale; 1c) vue latérale oblique en technique de rendu volumique (VRT); 1d) plan sagittal

sente entre chaque dent et la lumière du sinus maxillaire. La dent 25 en développement a résorbé la racine de la dent temporaire 65.

Cas n° 3

Lésion associée à des cellules géantes: une lésion ostéolytique associée à des cellules géantes a été découverte dans la mandibule antérieure d'un garçon de 13 ans. Les racines dentaires sont déplacées, sans aucun signe de résorption. Les zones d'os spongieux adjacentes aux régions ostéolytiques apparaissent sclérosées. Le contour cortical externe de la mandibule présente une expansion en direction vestibulaire, caudale et linguale. Dans l'ensemble, les structures osseuses corticales apparaissent nettement amincies. La corticale vestibulaire présente plusieurs fenestrations.

Cas n° 4

TVN d'un garçon de 11 ans présentant une *fente labio-maxillo-palatine* unilatérale (FLMP gauche) avec des signes de déformation squelette-faciale (schéma squelettique de classe III), avant la réalisation d'une greffe secondaire d'os spongieux (sABG). Évaluation du déficit osseux et des dents impactées. La denture mixte est caractérisée par une dislocation et une angulation à 90° de la dent 22. Le germe dentaire 23 est visible dans le pilier naso-maxillaire du maxillaire gauche.

Discussion

L'objectif de cette série de cas est de démontrer l'applicabilité des reconstructions CR sur la base de la TVN dans diverses indications dento-maxillo-faciales. Dans l'ensemble, nous constatons une compréhension 3D subjectivement élevée des patho-

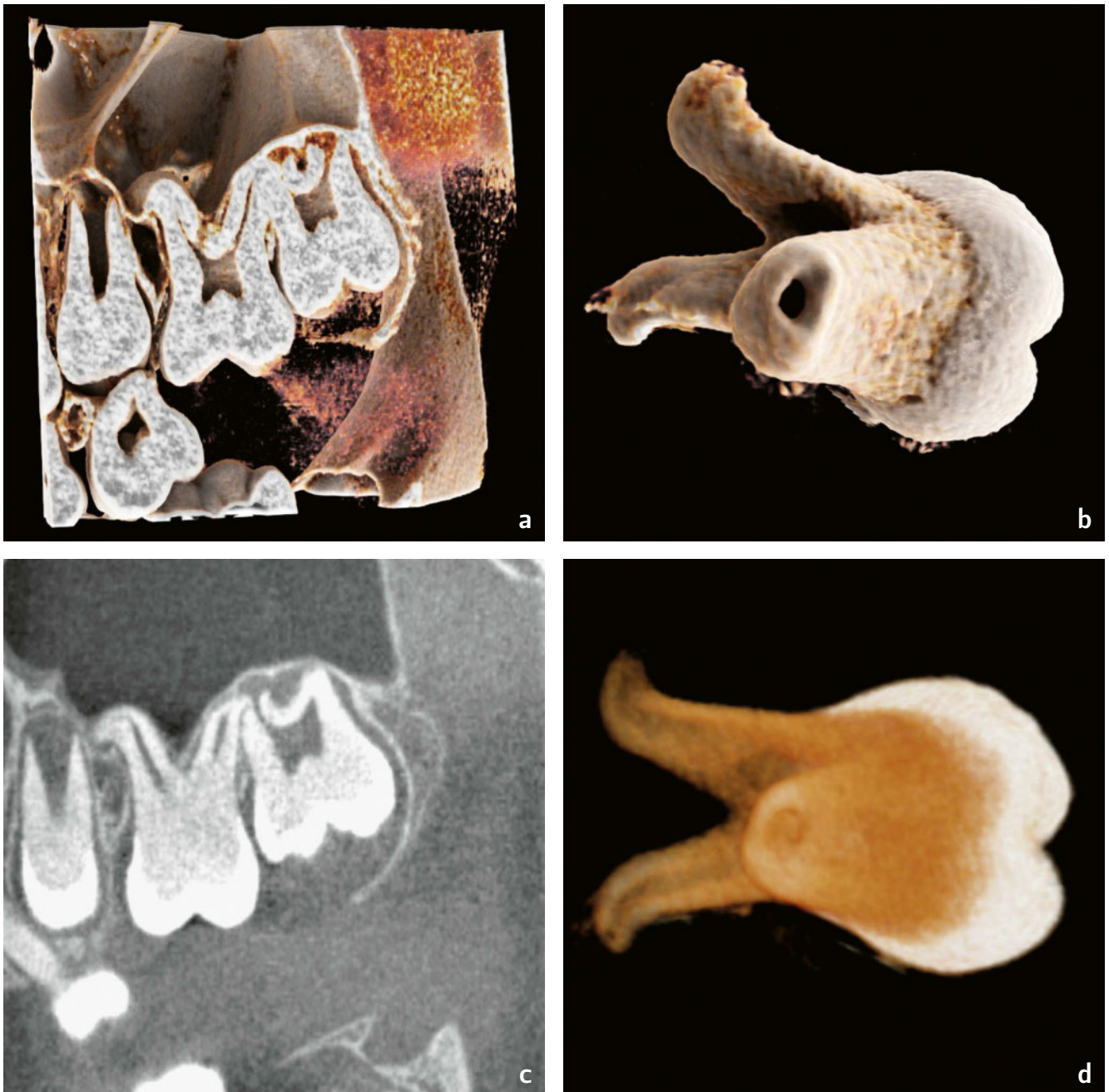


Fig. 2a-d Molaire maxillaire ankylosée: 2a) plan sagittal en rendu cinématique (CR); 2b) reconstruction CR 3D; 2c) plan sagittal; 2d) reconstruction VRT 3D

logies présentées à titre d'exemple. Les images CR confèrent une certaine plasticité et une meilleure perception des différents niveaux de profondeur des tissus. Cela peut être observé, par exemple, dans la vue en coupe sagittale de la mâchoire inférieure (fig. 1b) ou du sinus maxillaire (fig. 2a). La figure 4 permet également, en reconstruction CR, une compréhension visuelle plastique de la structure de la fente maxillaire et de l'hypoplasie maxillaire, comparativement à la technique VRT standard. Cela ne signifie pas que les structures correspondantes ne peuvent pas être bien visualisées avec la technologie VRT classique. Cependant, ces structures sont perçues subjectivement de façon plus réaliste, pour l'œil humain, en utilisant la CR.

La TVN a apporté à la médecine dentaire une nouvelle technologie de radiologie 3D, qui a conduit à de nouveaux flux de

travail numériques. Ainsi, il est possible d'utiliser l'imagerie tridimensionnelle avant, et éventuellement aussi pendant et après l'opération (JOHNER ET COLL. 2020; SCHELBERT ET COLL. 2019). Le développement du matériel informatique s'étant stabilisé davantage au cours de ces dernières années, l'intégration de nouveaux modules de logiciels présente un grand intérêt. Le CR est un logiciel de ce type, qui permet d'obtenir des informations supplémentaires grâce au post-traitement des données. La sélection des cas a montré que l'effet de cette technique de traitement d'image semble différer selon les types de pathologies. Alors que les pathologies proches de la surface ou situées sur les surfaces osseuses peuvent être très bien visualisées avec le CR, l'avantage par rapport aux reconstructions 3D classiques est moins prononcé pour les structures internes.

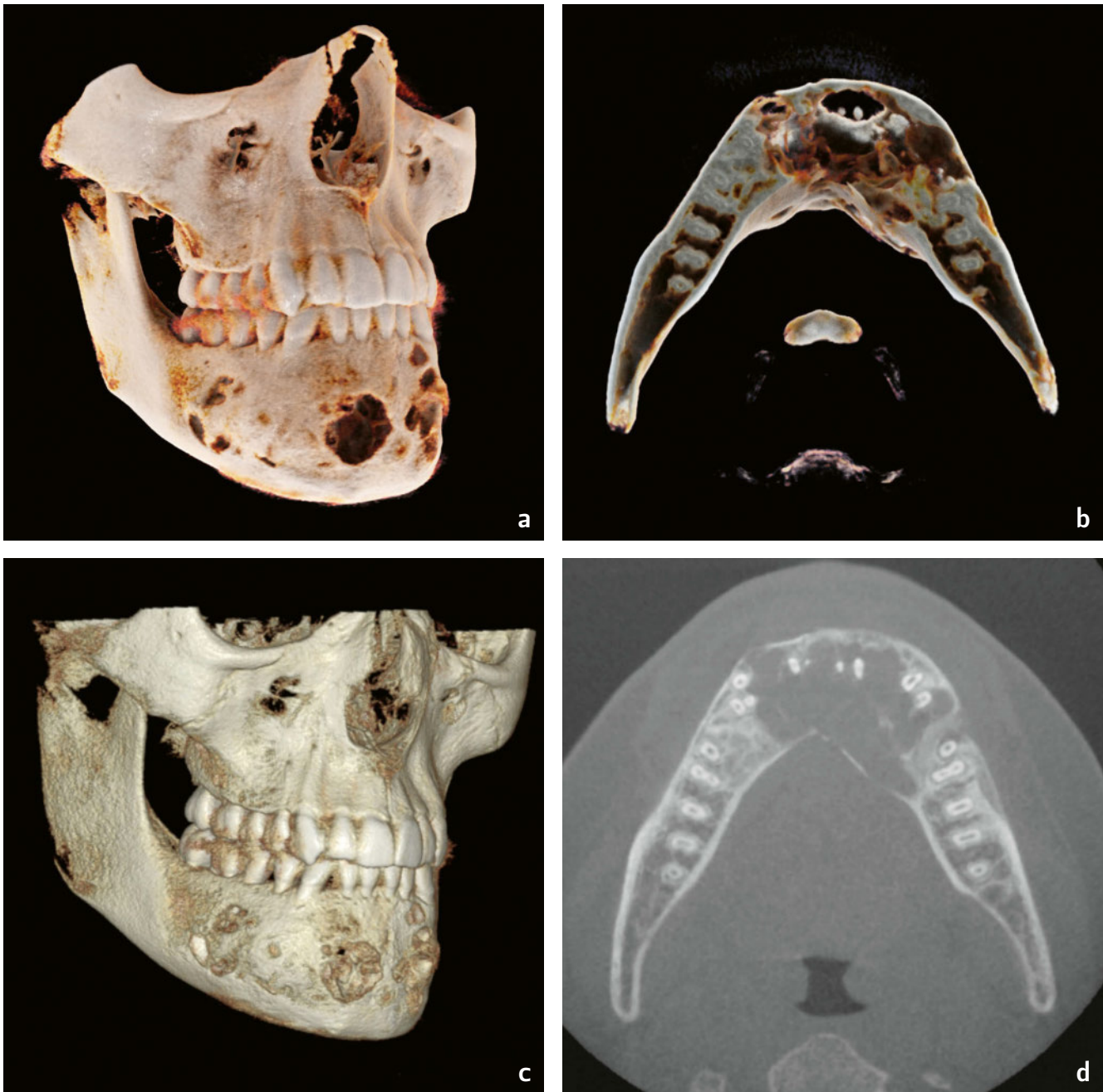


Fig. 3a-d Lésion ostéolytique de la mandibule associée à des cellules géantes: 3a) vue fronto-temporale en rendu cinématique (CR); 3b) plan axial en CR; 3c) vue fronto-temporale en rendu volumique (VRT); 3d) plan axial

Ebert et coll. ont mis en évidence la possibilité de visualiser des structures anatomiques et pathologiques complexes, et ont conclu que l'utilisation du CR pour la visualisation médico-légale pourrait présenter des avantages par rapport au VRT si l'obtention d'un degré élevé de photoréalisme est importante (EBERT ET COLL. 2017). Le photoréalisme est également un facteur important dans l'imagerie chirurgicale en raison de son influence sur la perception des détails anatomiques. Cela peut être important pour les étudiants, les médecins-assistants mais aussi pour les spécialistes.

Comment les détails anatomiques ont-ils été perçus dans la présente série de cas? Les cas 1 et 2 de cette série se rapportent à des pathologies dentaires. Dans la figure 1a, la relation entre le niveau de la crête osseuse et la résorption dentaire externe est mieux perçue sur l'image CR. Sur le plan sagittal (fig. 1b), la

zone de transition entre la résorption vestibulaire et la cavité pulpaire est clairement visible. Le cas n° 2 montre une molaire maxillaire ankylosée. L'ankylose est visible dans la zone interradiculaire. Cette atteinte stoppe la croissance verticale de la dent. Les racines appuient alors sur le bord anatomique (ici le sinus maxillaire) et changent de direction en poursuivant leur croissance, ce qui entraîne une angulation à 90°. Les figures 2b et 2d comparent deux façons de visualiser la molaire ankylosée. Alors que dans la figure 2b, le CR est utilisé pour visualiser la surface de la dent, la figure 2d utilise un mode de reconstruction proposé par le logiciel OnDemand, qui crée une certaine transparence.

Les cas n° 3 et 4 présentent des pathologies maxillo-faciales. Le cas n° 3 concerne une lésion ostéolytique rare de la mandibule associée à la présence de cellules géantes. Les fenestrations

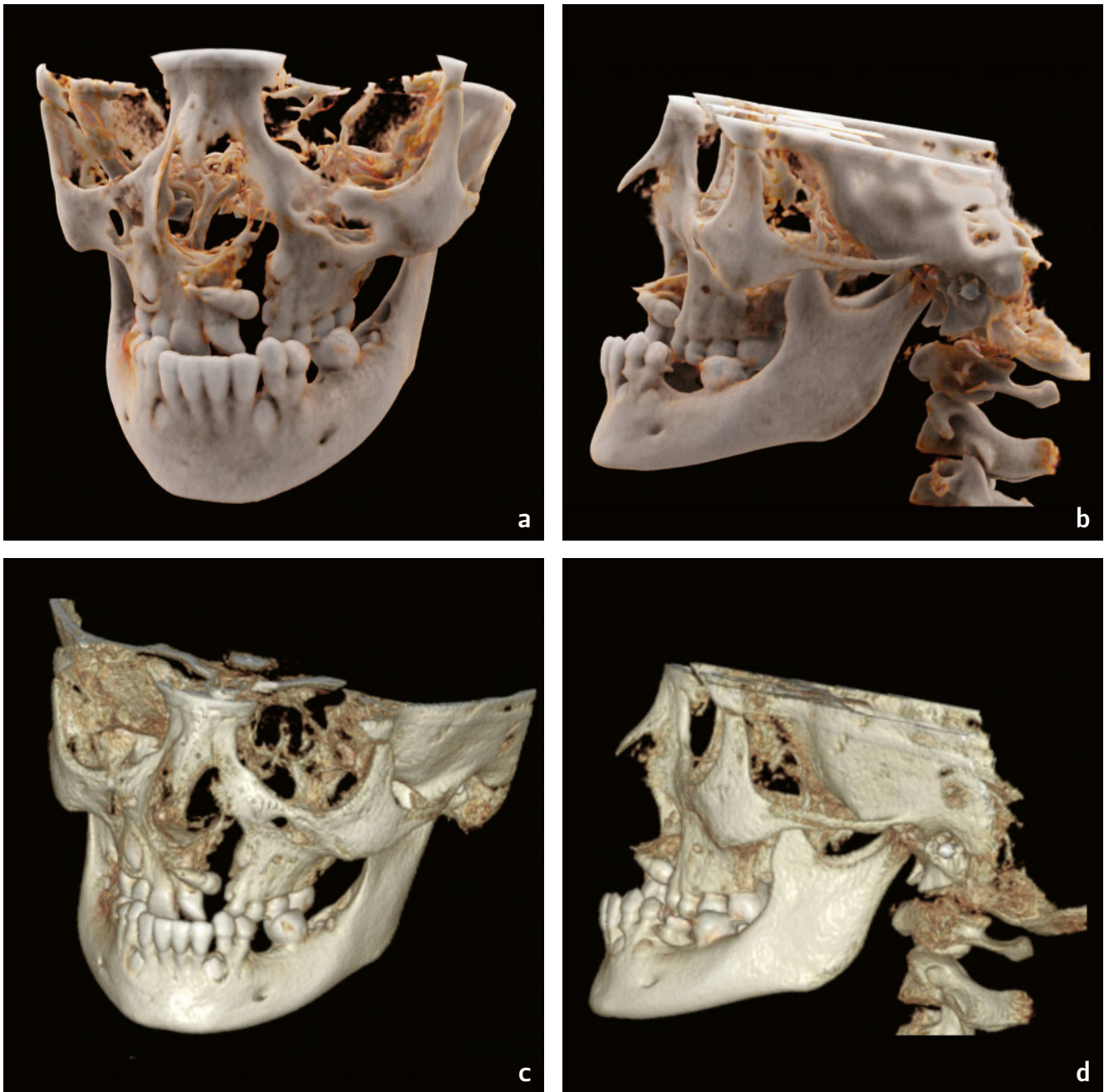


Fig. 4a-d Fente labio-maxillo-palatine unilatérale du côté gauche (FLMP gauche, schéma squelettique de classe III) : 4a) vue fronto-latérale en rendu cinématique (CR); 4b) vue latérale en CR; 4c) vue fronto-latérale en rendu volumique (VRT); 4d) vue latérale en VRT

osseuses et les lacunes osseuses sous-minantes sont plus clairement visualisées en CR. En particulier, la comparaison des images en coupes axiales (fig. 3b, d) montre les avantages du CR en ce qui concerne la mise en évidence de la raréfaction de l'os spongieux. Le cas n° 4 montre une fente labio-maxillo-palatine unilatérale, du côté gauche, avec des signes de déformation squeletto-faciale. Ces déformations complexes bénéficient du CR car l'interaction des pathologies dentaires, osseuses et des déficits de croissance peut être visualisée.

Dans l'ensemble, nous observons des possibilités prometteuses pour les images en CR de la TVN. L'une des limites de la technologie CR est sa sensibilité aux artefacts. C'est particulièrement le cas pour les artefacts provoqués par les métaux, notamment dans les couronnes, les obturations et implants dentaires, car ces artefacts ont un effet négatif sur la qualité

d'image. Cependant, on peut également voir des artefacts dans les reconstructions 3D en mode VRT. Les artefacts dus aux mouvements semblent constituer un problème mineur si l'on considère les temps de rotation rapides des DVT. Selon nos observations, le plus grand avantage du CR est la visualisation des pathologies localisées sur les surfaces osseuses. La visualisation des pathologies situées à l'intérieur de l'os (par exemple l'ostéome de la mâchoire inférieure) n'est pas clairement améliorée en CR comparativement à l'imagerie classique. Une autre limitation technique est le temps de rendu relativement long, ce qui fait qu'il est actuellement difficile de disposer au quotidien de cette technique diagnostique.

Il est important de souligner que seule une indication justificative décide de la nécessité d'un examen en TVN. Les nouvelles possibilités de visualisation des données de la TVN peuvent

améliorer la perception de la profondeur et peuvent être utilisées comme un outil supplémentaire, en plus des visualisations 3D classiques, mais cela ne change pas l'indication à l'imagerie.

En résumé, le CR est un logiciel de rendu très intéressant, qui améliore la compréhension plastique et esthétique des images obtenues en TVN. Ces facteurs non essentiels ne signifient pas nécessairement que le CR apporte une plus-value clinique. La pertinence clinique de cette technique de reconstruction 3D doit être étayée par des études correspondantes afin d'évaluer son intérêt en tant que logiciel de post-traitement standard.

Remerciements

Nous tenons à remercier Yara Jäkel pour son soutien dans la mise en page des illustrations.