
Évolution historique du concept implantaire : passé, présent et futur des moyens prédictifs d'imagerie

Robert CAVÉZIAN

Docteur en médecine, radiologue, membre de l'Académie nationale de chirurgie dentaire
179, rue Saint-Honoré - 75001 Paris
(cavezian@club-internet.fr)

Résumé

Le XXe siècle sera déterminant pour l'implantologie. L'apport de la radiologie, alors aux moyens limités, procure une approche anatomique appréciée des sites implantaires. La méthode chirurgicale est empirique, le résultat aléatoire, les complications fréquentes. Dans les années 80, les travaux de Brånemark sur l'ostéo-intégration lui donnent une impulsion déterminante. Le scanner Rx est alors considéré comme la méthode biométrique de choix. Les directives européennes sur la radioprotection imposent une rationalisation des protocoles d'imagerie (justification) et le recours aux méthodes les moins irradiantes possibles (optimisation). Aujourd'hui, la technique « cone beam » se substitue au scanner dont elle possède les qualités et les possibilités avec une dosimétrie remarquablement modeste. Méthode moderne elle s'inscrit résolument dans le futur.

Mots-clés : imagerie, implantologie, tomographie, scanner, cone beam

Longtemps, la perte des dents a été considérée comme une fatalité liée à l'âge. L'édentation inéluctable entraînait rapidement un préjudice fonctionnel et esthétique. Pourtant, depuis des temps éloignés, il y a eu des tentatives désordonnées de réhabilitation des arcades dentaires. Le XXe siècle sera déterminant. À l'avancée des techniques et des matériaux se joignent les possibilités de l'évaluation anatomique *in vivo* de l'imagerie, bientôt biométrique. Aujourd'hui, l'implantologie s'impose comme la méthode cardinale de réhabilitation des sites édentés. L'acquisition numérique de l'imagerie moderne avec ses possibilités de mesures, de reconstructions, de simulation, de guide ou d'acteur du geste chirurgical éventuellement assisté, est le partenaire du chirurgien.

L'implantologie est une science ancienne...

L'Égypte Ancienne, le monde étrusque, romain et gallo-romain, les Maures espagnols nous fournissent des exemples rares mais réels de matériaux de substitution inclus dans certains alvéoles déshabités : ivoire d'hippopotame, os ou dent de bovin, inclusions métalliques... L'ère pré-colombienne en Amérique centrale et du sud s'illustre avec des coquilles taillées (Mayas, Honduras), pierre

Abstract

Historical evolution of the implantary concept : past, present and future for imaging predicative means

The XXth century has been determining for implantology. Radiology, with limited means at that time, provided a useful anatomical approach of the implantary sites. The surgical method is empiric, the result is risky and complications frequent. In the turn of the 80s, Brånemark's researches give a definitive impulse to implantology. CT scanner is considered as the exclusive method of biometric measurements. European directives for radioprotection impose rationalization of imaging protocols (justification) and the use of the less reasonably achievable radiation exposure (optimization). To-day, "cone beam" volumetric tomography is substituting for CT scanner with similar performances and a remarkable low X rays exposure. Modern method, "cone beam" comes within the future.

Key-words : imaging, implantology, tomography, CT scanner, cone beam

noire en place d'une incisive latérale, métal, bois, ivoire. Plus « récemment », Ambroise Paré (1575), Pierre Fauchard (1728, 1746), Lécuse (1754), John Hunter (1778) se distinguent par des tentatives d'utilisation de dents humaines. Le XIXe siècle connaîtra de nombreuses tentatives : dents naturelles, argent-plomb et différents alliages sans grand succès, le XXe siècle sera déterminant. En 1920, Léger-Dorez réalise une « racine extensible en or coulé ». En 1947, Manlio Formiggini de Modène (Italie) présente un implant endo-osseux spiralé en tantale. En 1964, Raphaël Cherchève de Paris imagine un implant dit « à fût », en chrome-cobalt, inspiré de l'implant spiralé de Formiggini. M. Formiggini et R. Cherchève peuvent être considérés comme des initiateurs de l'implantologie moderne.

Rapidement, le monde des « initiés » va se répartir en deux groupes :

- Les adeptes des implants juxta-osseux sous-périostés majoritaires avec Gustav Dahl (1943), Goldberg et Gershkoff (1949),
- Les adeptes des implants endo-osseux minoritaires qui deviendront majoritaires.

À noter qu'en 1967, Leonard Linkow de New-York introduit l'implant-lame largement utilisé jusqu'aux années 80 (Fig. 1).

L'imagerie n'est pas un apport récent à l'implantologie

En 1895, l'invention des rayons X (Wilhelm Conrad Roentgen) suivie de la première radiographie (main de Bertha Roentgen) et bientôt de la première image dentaire (Otto Walkhoff) ouvre une ère nouvelle en médecine. L'évaluation anatomique, atraumatique devient possible. Le squelette et les dents sont les premières structures visibles. En 1922, Bocage dépose le brevet d'une technique sectionnelle qui discrimine plan par plan des structures anatomiques complexes qu'en 1930, Vallebona réalise. C'est la naissance de la tomographie. De cette technique, découlera le cliché panoramique dentaire (P.Y. Paatero, 1950). Dans les années 1960, l'implantologie est empirique, critiquée car critiquable. Toutefois ses audacieux pionniers ont recours à ce qui s'appelle encore la radiologie.

En 1961, au 3^e congrès de la Société française des implants, Th. Le Dinh, Mme Bourselet et M. Tridon présentent un rapport sur les « Considérations radiologiques générales dans la technique implantaire endo-osseuse ». Raphaël Chérchève publie un ouvrage intitulé *Les Implants osseux* portant la mention « Technique radiologique originale de Th. Le Dinh ». Dans ce livre, l'étude des rapports entre les maxillaires et les structures anatomiques critiques (cavités sinusiennes, fosses nasales, canaux mandibulaires...) est explicitée par coupes tomographiques. Bien au-delà du cliché rétro-alvéolaire et de « l'audacieux » maxillaire défilé, un stomatologiste et un radiologue osent introduire un procédé d'imagerie sectionnelle dans les moyens d'évaluation pré-implantaires... Les travaux de Le Dinh annoncent l'imagerie moderne. [1]

La révolution scanner Rx

En 1972, le Britannique Geoffrey Humbold Hounsfield présente une nouvelle technique d'imagerie sectionnelle, la tomodensitométrie (TDM) ou scanner Rx capable de discriminer 2.000 valeurs de densités, de -1000 pour l'air à + 1000 pour l'os en passant par zéro pour l'eau. L'outil informatique couplé au pinceau de rayons X calibré aux dimensions des coupes alors jointives rend l'imagerie numérique [2]. En 1982, Francis Mouyen (Toulouse) introduit la numérisation de l'image dans le monde dentaire par l'invention du capteur solide CCD (RadioVisiography, Trophy ®). En 1985, Ugo Salvolini (Ancône, Italie) obtient les premières reconstructions 2D et 3D à partir d'un bloc d'acquisition de coupes céphalique et du choix judicieux des « fenêtres » de densité. Dans les mêmes années, Per-Igmar Brånemark réhabilite l'implantologie par ses travaux sur l'ostéo-intégration et le titane [3]. Le monde dentaire alors indifférent au scanner découvre subitement son intérêt pour une évaluation biomensurative des sites implantaires fondée sur les possibilités de reconstruction en taille réelle (Dentascan ®...) liée à la notion de pixel, composant élémentaire de l'image [4].

L'abus n'est pas loin... Pourtant des techniques substitutives, d'imagerie mensurative, plus modestes, existent comme la tomographie spiralée annexée à certains appareils panoramiques (Scanora®). Elles sont capables de procurer, dans des secteurs limités, des coupes verticales transverses en taille réelle directement mesurables par la mise en conformité de l'image numérique et de l'imprimante-laser (Fig. 2).

L'implantologiste et le radiologue, aujourd'hui

Le dialogue s'avère nécessaire. Le chirurgien pose, implicitement ou explicitement, trois questions au radiologue :

- 1- quelle est la hauteur d'os disponible ?
- 2- quelle est l'épaisseur de l'os disponible ?
- 3- quelle est la qualité de l'os disponible ?

La hauteur et l'épaisseur d'os sont facilement évaluées, en taille réelle par les logiciels de reconstruction 2D. Par contre, l'évaluation de la densité osseuse est l'objet de controverse sur la fiabilité de l'appréciation de la valeur physiologique du site examiné. L'acquisition informatique des données permet leur exploitation par des logiciels spécifiques. Elle vise à planifier le nombre, la position, l'axe et les dimensions des futurs implants dans les trois directions de l'espace en plusieurs étapes et, par un guide chirurgical stéréolithographique, à transférer la planification en bouche. [5]

- élaboration d'une gouttière (ou guide radiologique) où sont insérés des repères denses en regard des sites implantaires envisagés. Ce guide est un mode de dialogue expressif, désignant le lieu « d'intérêt » sans ambiguïté pour une évaluation pré-implantaire efficace (Fig. 3).
- examen scanner avec l'acquisition des données numériques dans un volume déterminé. Classiquement les plans de référence sont le plan palatin pour le maxillaire et le bord basilaire pour la mandibule. Dans l'idéal, ils doivent être perpendiculaires au plan horizontal d'appui (table d'examen). Aujourd'hui les appareils modernes spiralés, et encore plus multi-barrettes, réalisent cette acquisition dans un temps si bref que les artefacts de mouvement ne sont pratiquement plus possibles. Les reconstructions 2D autorisent de se retrouver dans des conditions de perpendicularité aux plans de référence en cas de limitation de la déflexion céphalique. Les repères denses apparaissent sur l'image du scanner et désignent précisément les lieux d'implantation.
- planification assistée par ordinateur utilise des logiciels spécifiques de simulation (Simplant®...) avec mise en place de la représentation d'un implant dont on choisit la taille et le calibre et dont on détermine l'orientation dans les trois directions de l'espace par son image virtuelle rapportée dans le volume 3D reconstruit dont on connaît aujourd'hui, avec la technique « cone beam » les mêmes applications.
- à partir des données précédentes, le chirurgien élabore un guide chirurgical (gouttière où sont insérés des éléments métalliques tubulaires) permettant un forage

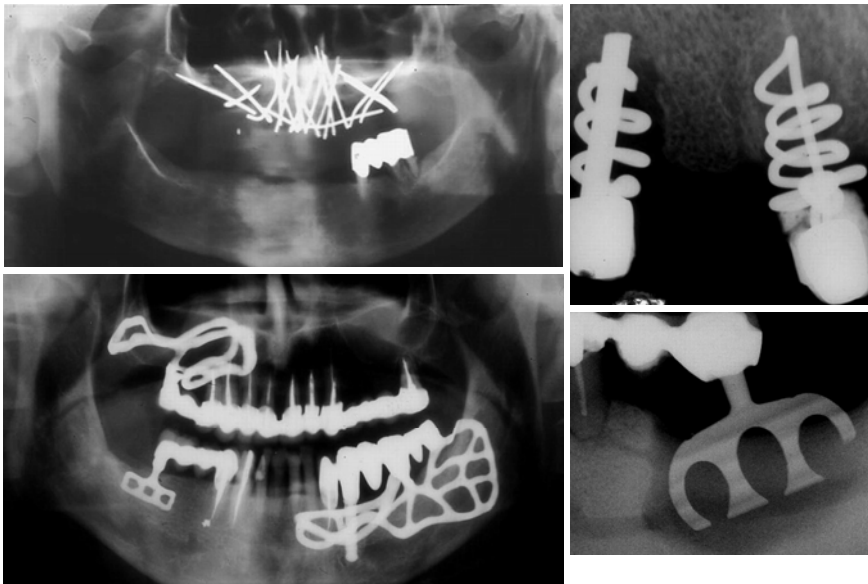


Fig. 1- Exemples de premiers implants. De gauche à droite et de haut en bas : implants-aiguilles de Scialom, implants spiralés de Formiggini, implants juxtaposés maxillaire droit et mandibulaire gauche ainsi qu'implant-lame mandibulaire droit, implant -lame de Linkow mandibulaire gauche (à noter l'osteite peri-implantaire péjorative). (cliché de l'auteur)

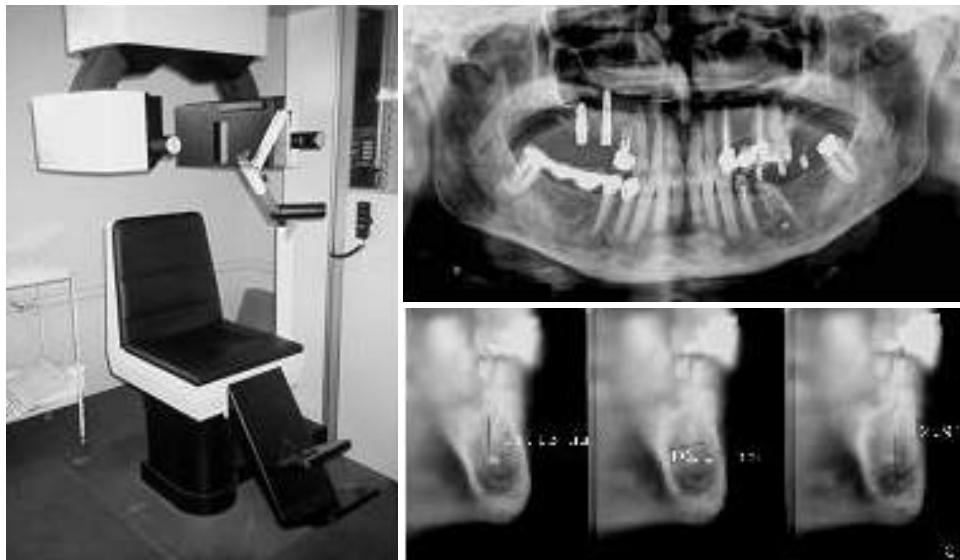


Fig. 2- Appareil Scanora ® , tomographies spiralées embarquées : bilan pré-implantaire mensuratif mandibulaire gauche avec guide radiologique. (cliché de l'auteur)

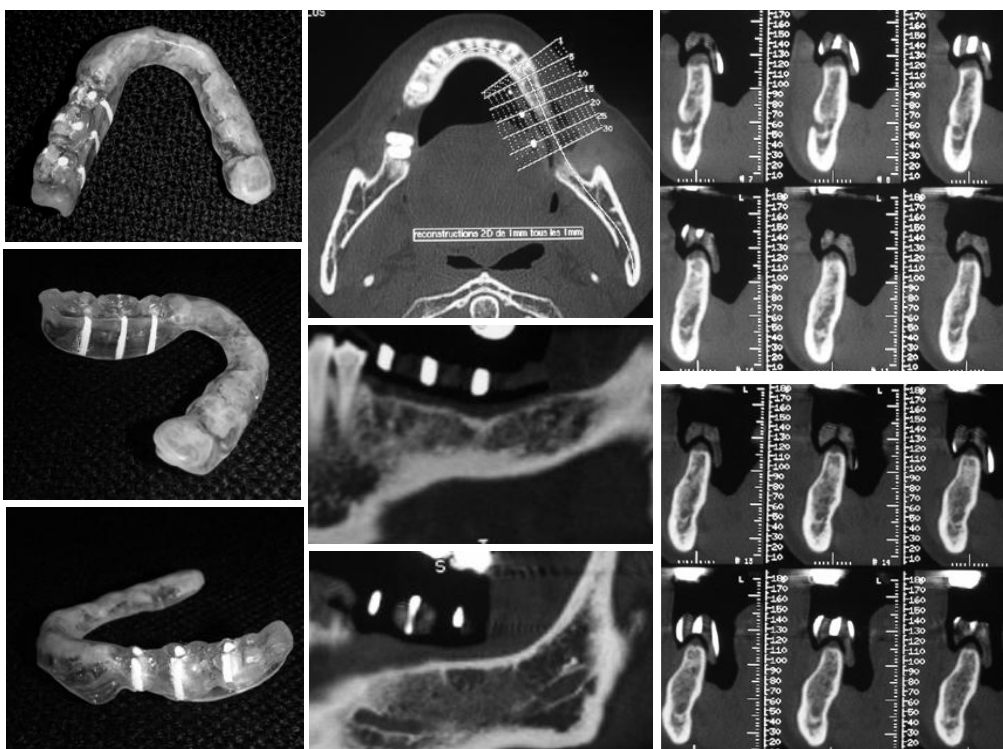


Fig. 3- Scanner Rx. Evaluation pré-implantaire mandibulaire gauche. Guide radiologique avec repères opaques (mode de « dialogue » efficace). (cliché de l'auteur)

conforme aux dimensions et à l'orientation de l'implant.

- l'étape finale est la mise en œuvre de l'implant.

Aujourd'hui s'annoncent les techniques de robotique assistées par ordinateur pour la mise en place des implants. Les techniques d'imagerie deviennent des pourvoyeuses de données numériques destinées à nourrir des logiciels et des robots.

La radioprotection et les nouvelles attitudes

La transcription dans la législation nationale des directives européennes sur la radioprotection (96-29 et 97-43) conduisent à une modification des comportements en imagerie. [6]

Deux principes s'imposent :

- la **justification** des examens pour laquelle le bénéfice escompté doit être supérieur au risque supposé
- l'**optimisation** des examens où pour un même résultat on doit choisir le technique disponible la moins irradiante

En mai 2000, dix experts en implantologie (cliniciens et radiologues) de l'European Association for Osseointegration (AEIO) établissent, au Trinity College de Dublin des recommandations sur la conduite à tenir en imagerie implantaire. Ils rédigent l'*EAIO Guidelines for the use of Diagnostic Imaging in Implant Dentistry* qui sera publié en 2002 [7]. Ce travail est la référence des différents groupes de travail européens qui établissent pour chaque pays la conduite à tenir (pour la France : *Guide des indications et des procédures des examens radiologiques en odontostomatologie* rédigé par le comité de pilotage près la DGSNR) [8]. La priorité est accordée à l'examen clinique.

L'évaluation par imagerie doit être la plus économe possible en exposition aux rayons X, privilégiant les méthodes simples (rétro alvéolaire, panoramique, téléradiographie, cliché occlusal). L'imagerie sectionnelle (tomographies spiralées, scanner Rx) ne sera jamais faite en première intention. Elle pourrait être utile dans certaines indications :

- risque lésionnel de structures importantes (canal incisif, canal mandibulaire)
- particularités anatomiques « limites », atrophie osseuse, prévision de greffe ou d'implant zygomatique, aide à la planification de la prothèse et au transfert des informations au chirurgien (gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur)
- amélioration de l'orientation des implants, au besoin par repères
- en cas d'un complément dans une zone « esthétique ».

La technique « cone beam », la moins irradiante, n'est pas évoquée car elle est en début de diffusion mondiale en 2000.

L'imagerie sectionnelle n'a pas d'indication en post-opératoire sauf en cas de complication (atteinte du nerf

alvéolaire, infections en rapport avec les sinus ou les fosses nasales).

L'EOA insiste sur la nécessité d'une mise à niveau permanente, en raison de l'évolution rapide des techniques dont l'avènement du « cone beam » est un exemple récent.

La nouvelle imagerie « cone beam » ou tomographie volumique numérisée à faisceau conique

Dernier développement de l'imagerie sectionnelle dédiée à la seule odontostomatologie, très économe en irradiation, la tomographie volumique numérisée à faisceau conique (« cone beam ») est une technique à l'avenir certain. Elle trouve, comme en son temps le scanner Rx, son application immédiate en implantologie. [9]

Le premier appareil, apparu en 1991, est le NewTom QR-DVT 9000® (QR, Verona, Italie). La technique « cone beam » connaît un développement mondial. Selon les appareils, l'exploration intéresse l'ensemble des arcades (Fig. 4, Fig. 6 et Fig. 8) ou une portion d'arcade.

Le rayonnement X de forme conique, pulsé, couvre le volume examiné et effectue avec un détecteur bidimensionnel (anciennement un amplificateur de luminance, de plus en plus un capteur plan) une rotation autour de la tête du patient avec un paramétrage 110 kV et de 4 à 15 mA, selon les appareils et la résolution (standard, haute ou très haute), expliquant la faible irradiation.

Le détecteur recueille pour chaque impulsion les données nécessaires à une reconstruction volumique en fin de rotation (Fig. 5). Ces données sont utilisées par les algorithmes de reconstruction volumique pour obtenir des reconstructions axiales, puis des reconstructions secondaires bidimensionnelles (2D) panoramiques puis verticales et transverses (comparables aux reconstructions « sagittales obliques » du Dentascan®). Les images sont imprimées en taille réelle par la mise en concordance des données numériques et de l'appareil de reproduction laser (Fig. 6), [10].

Les données d'acquisition de certains appareils sont également exploitables en implantologie pour l'élaboration de guides chirurgicaux dans le cadre de gestes assistés par ordinateur, comparables à ceux décrits pour le scanner Rx. Les acquisitions peuvent être travaillées avec des logiciels spécifiques dédiés ou tout autre logiciel de reconstruction si les données sont en format DICOM (Fig. 7).

Les études dosimétriques ont confirmé que le « cone beam » est la technique sectionnelle la plus économe en doses délivrées ce qui en fait une méthode performante, substitutive au scanner, conforme au souci d'optimisation des examens selon le principe ALARA. La tendance actuelle est celle d'appareils se présentant comme des panoramiques, trouvant leur place dans des cabinets dentaires, capables pour certains de reconstruire à partir d'une seule acquisition des vues panoramiques et sectionnelles ainsi que des reconstructions 3D (Fig. 8).

Fig. 4. Appareil tomographique volumique à faisceau conique (« cone beam ») New Tom 3G (deuxième génération). La patiente est placée en décubitus dorsal. A noter la profondeur réduite de l'anneau de l'appareil strictement dédié à l'imagerie maxillo-faciale. (cliché de l'auteur)

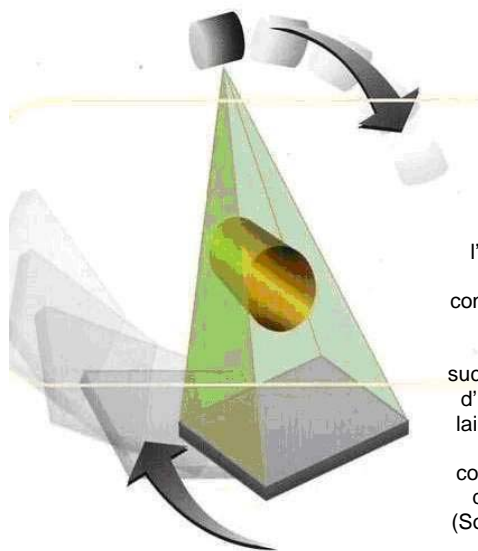


Fig. 5. Principe de l'acquisition « cone beam » : faisceau conique de rayons X, émission pulsée, projections planes successives au cours d'une rotation angulaire. Reconstruction volumique secondaire à partir des données acquises. (Source QR, Vérone, Italie)

Fig. 6. NewTom 3G. Evaluation pré-implantaire maxillaire avec guide radiologique (nombreux repères denses) que l'on rapproche de la Fig. 3 (acquisition scanner, reconstruction 2D par logiciel Dentascan®). (cliché de l'auteur)

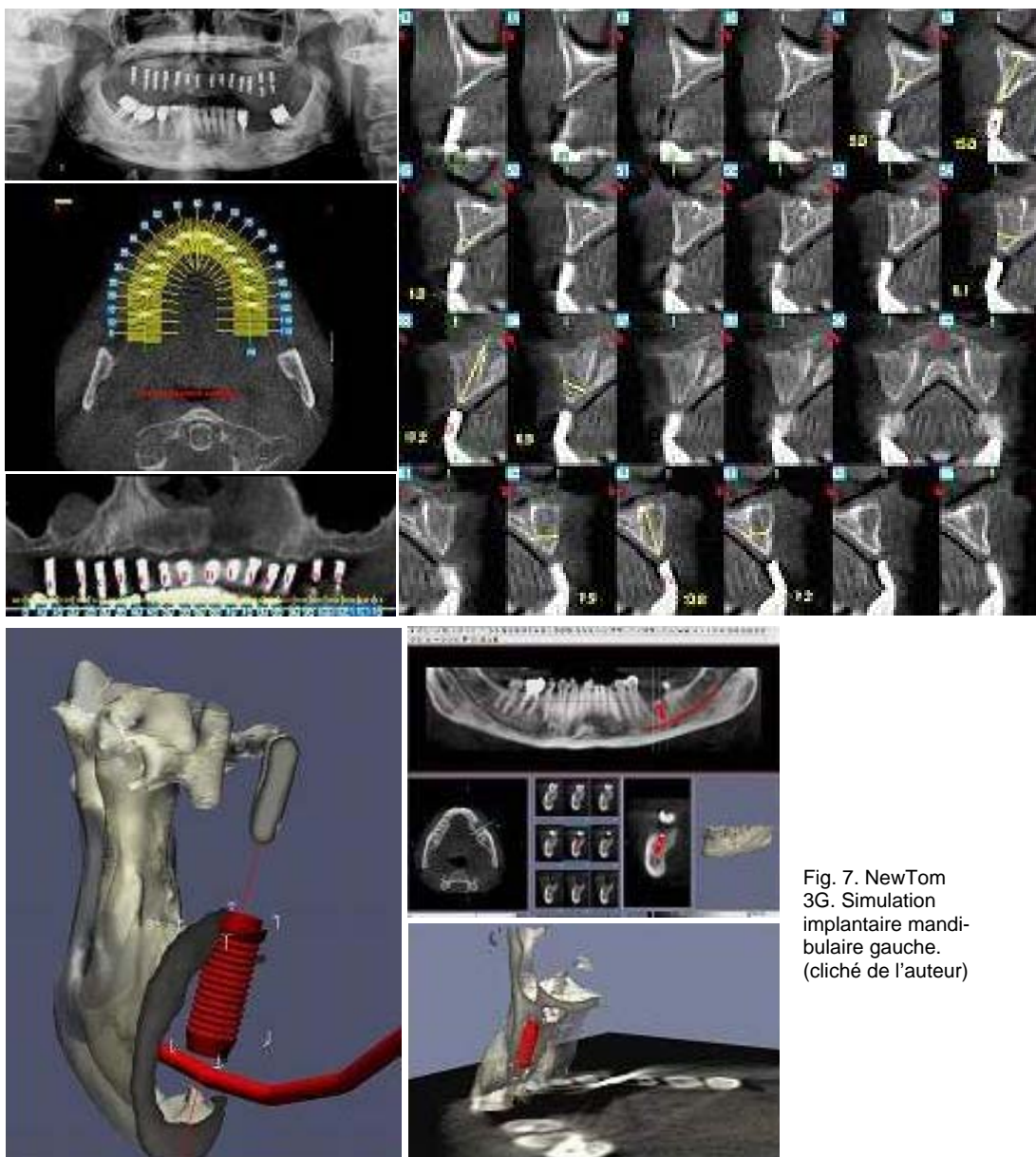


Fig. 7. NewTom 3G. Simulation implantaire mandibulaire gauche. (cliché de l'auteur)