



CLINIQUE

PAR LE DR MASROUR MAKAREMI

Spécialiste qualifié en ODF,
chargé de recherche à Harvard
et d'enseignement à Bordeaux

Orthodontie numérique : les enjeux d'une nouvelle interface

Conférence du Cepog du 2 juin 2020, transcrite par le Dr Muriel Dayan

Les progrès dans l'intelligence artificielle et des sciences informatiques pourraient avoir un impact majeur dans le domaine de l'orthodontie. Mais il faudrait voir cet apport comme une complémentarité plutôt que comme une automatisation.

L'objectif de cette présentation est de construire un message qui est le suivant : il est vital pour nous de repenser le flux numérique de travail en remettant le praticien au centre et non plus comme un simple utilisateur de l'outil numérique, comme les aligneurs ou le collage indirect ou même l'imagerie 3D.

L'exposé se fera en deux temps : un premier temps centré sur mes travaux de recherches et ma perception et dans un deuxième temps, il y aura un certain nombre de cas cliniques. Nous avons dans notre vocation une relation de soignant, longuement exposée ces derniers temps dans le contexte sanitaire actuel. C'est une relation humaine d'un praticien avec son malade qui est perturbée depuis quelques années par le numérique. Au départ, c'est une relation binaire et un troisième aspect arrive composé de 0 et de 1 qu'on ne voit pas : c'est l'ensemble des sciences numériques qui transforme la relation binaire en relation triangulaire. On l'a parfaitement vu avec tout ce qui s'est passé autour du Covid. Juste une illustration sans rentrer dans le débat de l'hydroxychloroquine, outre l'aspect médical, si l'on regarde de l'extérieur ce qui s'est passé, ce qui a amené un président dans le bureau du Pr Raoult c'est le nombre de "like" sur Facebook et les réseaux sociaux puis une publication basée

sur le big data a fait bouger les choses puis les chercheurs étant connectés ont fait une lettre commune pour revenir au point de départ. On voit que ce n'est pas simplement une relation humaine mais le numérique est présent.

Une autre illustration est le nombre impressionnant de graphes et d'imageries qu'on voit sur tous les écrans qui nous envahissent et nous perturbent dans notre perception et finalement ce ne sont que des maths, des graphes effectués grâce à la puissance informatique et qui changent notre perception et qui nous perdent même un peu car au fond, dans cette crise, je ne suis pas persuadé que l'intelligence artificielle ait apporté quelque chose pour résoudre le problème. Peut être parce que nous ne sommes pas encore prêts à l'assimiler et à bien travailler avec.

Pourquoi parle-t-on de révolution numérique aujourd'hui ? Pourquoi les choses changent elles ?

Cela fait un moment que nous avons les ordinateurs mais je voudrais illustrer la notion de puissance de calcul et d'apprentissage machine.

La puissance de calcul c'est la loi de Moore c'est à dire le doublement du nombre de transistors par circuits tous les 18 mois. La puissance de calcul des ordinateurs est doublée tous les 18 mois à prix constant, elle augmente de façon

exponentielle et cela fait 40 ans que cette loi dure.

Prenons 2 métaphores pour illustrer:

Il y a un tas d'outils qui apparaissent qui ne sont que des maths, comme par exemple un set up dynamique.

Si nous prenons une voiture qui roule à 8 kms/h, au bout d'une minute elle a effectué 134 m.



Chaque minute elle double sa vitesse.

Au bout de 2 mn elle roule à 16 km/h donc a parcouru 268 m. Puis à 3 mn elle roule à 32 km/h, elle a alors parcouru 536 m. Etc 27 fois... c'est 40 ans, c'est le temps depuis lequel il y a ce doublement de processeur, pour la voiture cela correspondrait à une vitesse de 1080 millions de km/h donc 17 millions de kms en une minute c'est 40 fois le tour de la terre...

Donc en fait on a une révolution pas seulement parce qu'il y a un doublement mais parce que ce doublement arrive à une certaine maturité.

Un autre exemple serait un lac avec un nénuphar qui double tous les jours ; au bout de 48 jours le lac est rempli de nénuphars. A quelle journée le lac sera recouvert à moitié ? La veille ! C'est ce qui s'est passé aussi avec le Covid. On a l'impression d'une révolution instantanée parce qu'elle vient depuis longtemps mais c'est au dernier moment que tout commence à changer. Avec le numérique c'était discret au début mais on est dans cette période de tremblement qui arrive. Qu'est ce que ça change ? Cela crée une relation triptyque (Patient Praticien Numérique) avec le numérique qui s'immisce et qui augmente de plus en plus.

Quelles conséquences pour nous ?

La première est dans la description de notre relation avec le numérique. Il y a quelques références bibliographiques à des articles qui sont disponibles en téléchargement sur mon site makaremi.orthodontie. Au départ on a parlé de CFAO :

Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur.

Or le flux numérique n'est pas dans la fabrication mais dans la prise en charge du patient. Et pour moi cette prise en charge a 4 étapes: le diagnostic, la planification, la fabrication et le monitoring c'est-à-dire le suivi thérapeutique. Et donc mon message est que le flux numérique doit être pensé comme un "outil" au profit de la relation et de la prise en charge du praticien envers le patient, et selon la perception qu'a le praticien de sa possibilité de progresser avec le flux numérique. Et cela change de paradigme et de perception des choses.

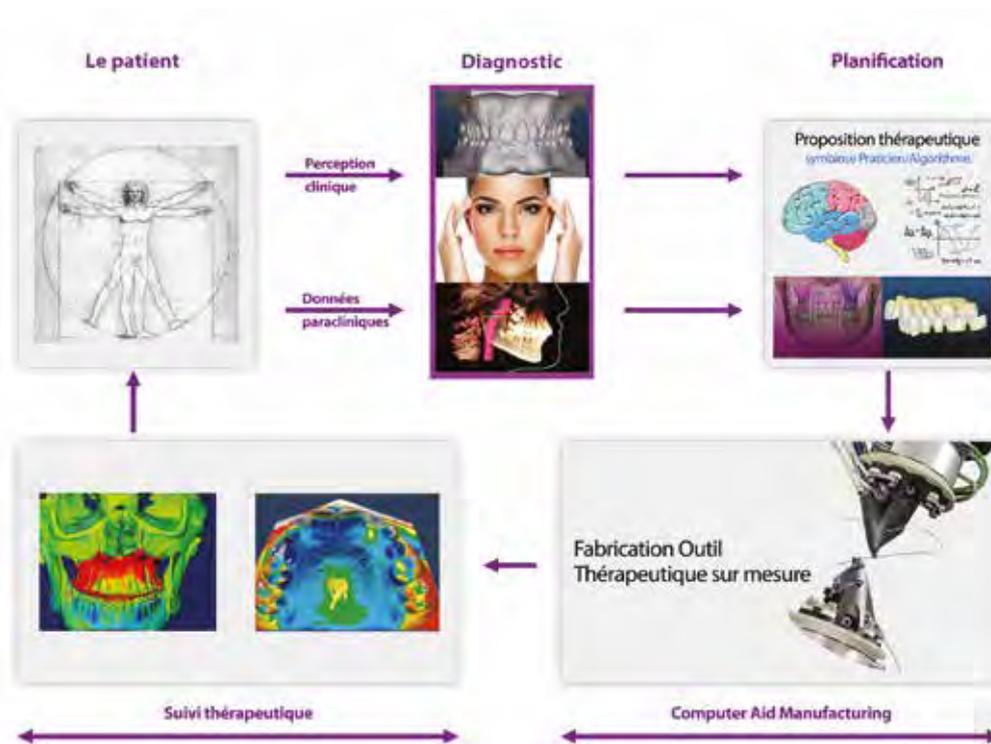
Au niveau du diagnostic

Nos enjeux sont particuliers car notre sphère est la zone faciale avec les tissus mous et les tissus durs et les grandes fonctions importantes pour l'organisme notamment la respiration. Couplée à cela il y a une grande variabilité qui rend difficile la mise de normes chez l'être humain, l'importance subjective de la beauté et d'un point de vue sociétal (avec l'arrivée des selfies et des gens qui se prennent tout le temps en photo en train de sourire), cette perception de notre visage a changé. On est dans une zone où il y a beaucoup d'informations et comme le numérique est capable d'aller chercher ces informations il y a une multiplicité de type d'informations, imagerie 3D, photographie ...

Et donc il faut avoir la volonté de faire la part des choses, d'avoir cette notion de rationalité limitée, c'est-à-dire d'arriver à organiser ces données.

Par exemple les contrôleurs aériens pourraient avoir des images en 3D avec des avions qui passent dans tous les sens mais aujourd'hui les radars des contrôleurs montrent simplement un point avec un avion qui passe et les autres qui passent à côté. Donc on a une organisation et une volonté de simplifier au maximum.

En deuxième lieu, pour ceux qui avaient l'habitude d'avoir des moulages entre les mains et de les manipuler, l'utilisation de moulages numériques en 3D est très différente. Et c'est un élément important car on a une notion de perte du sens haptique. C'est-à-dire que les canaux sensoriels, les canaux d'information qui nous arrivent sont plus difficiles à percevoir. Un travail va paraître dans International Journal of Medical Informatics qui est d'essayer de comprendre l'estimation des distances. Par exemple si l'on demande à des praticiens d'estimer l'encombrement sur un modèle numérique, la plupart des praticiens ont vu un encombrement alors qu'il y avait un excès de place. Donc en fait on a une perte d'information à travers la 3D, la réalité virtuelle, mais il y a des moyens pour arriver à améliorer la réalité virtuelle,



d'augmenter la présence de la réalité virtuelle.

La planification

Cette notion est très importante pour moi. C'est une clé. Stanislas Dehaene a dit « *la crème de l'intelligence c'est la planification* ». Mais il faut savoir de quelle planification on parle. Or il y a un biais car on parle souvent de planification 3D et pour moi ce n'est pas le bon terme. Une planification est un chemin ce n'est pas le but en soi.

Par exemple : ma cave est inondée. Mon objectif est que ma cave soit sèche mais le plan ce n'est pas que la cave soit sèche mais d'utiliser les moyens (pompe, tuyau, sceau) pour que la cave soit sèche.

C'est un peu ce qu'on vit.

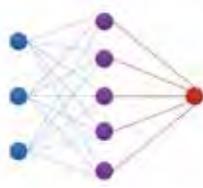
C'est-à-dire que pour un cas clinique particulier il va s'agir d'une planification 3D car il va y avoir par exemple une extraction et une réimplantation. Mais la réalité pratique lors d'une inclusion c'est beaucoup plus d'aller exercer des forces sur des dents pour les faire bouger. Ce qu'on fait au quotidien avec divers moyens (minivis, thérapeutique multiattaches ou orthopédique) c'est d'exercer un champ de forces. Et donc le plan c'est le champ des contraintes, la suite des forces exercées qui est la planification et pas l'objectif en soi. Souvent on nous propose dans la planification la 3D numérique une fin mais la vraie planification est le champ des contraintes qui seront utilisées.

Le deuxième aspect de la planification c'est « *qu'est ce qu'on planifie* » ? Quel élément on planifie ? Et ce deuxième aspect est fondamental car on arrive dans le cœur du sujet qui est la perception de l'intelligence artificielle et qu'est ce qu'elle peut

nous apporter. Je vais détailler la notion de "codage spécifique des valeurs" et le fait de créer une monnaie commune.

Prenons des exemples cliniques.

Pour décider, on s'intéresse de façon naturelle à plusieurs paramètres : le décalage des bases osseuses, la croissance résiduelle, les fonctions (y-a-t-il dysfonction ou non ?), l'esthétique de la face, le potentiel restant de croissance et les mouvements alvéolaires et les relations parodontales. Tous ces paramètres là, on va les mettre sur un même plan dans notre tête, on va essayer de les codifier, de leur créer une monnaie commune pour décider si on va faire une extraction, de l'orthopédie ou une chirurgie des bases osseuses. On crée cette notion de monnaie commune entre des paramètres qui n'ont rien à voir, et ça c'est le cœur de notre métier, le cœur de la noblesse de notre métier et de notre valeur et on a tendance à l'oublier un peu. Peut-il y avoir demain une intelligence artificielle qui permet de faire ça ? La réponse est tout de suite NON car toutes les IA qui existent sont des IA dites faibles et pour faire ça il faudrait une IA forte. Je vous invite à lire le livre de Luc Julia « *L'intelligence artificielle n'existe pas* », et finalement tous ces éléments nous montrent que l'intelligence artificielle est très loin d'être capable d'utiliser cette échelle de valeur pour appréhender tous ces paramètres. Elle est capable d'aller regarder un élément à la fois. Comme le dit Yann Le Cun : « *Tout réduire à un ensemble de règles et de tests est à la fois très compliqué et très peu fiable* ». Ça veut dire que quand quelqu'un sort un article disant que l'IA va créer un modèle pour savoir s'il faut des extractions ou pas sur un cas clinique en fait on n'a pas plus avancé qu'en 1950 et je suis heureux de rejoindre les pensées du Pr Julien Philippe



Stade de maturation
vertébrale
CS 3: Pic de
maturation osseuse



Illustration de l'apport clinique du réseau de neurone qui transforme une image radiologique en données nominales (stade de maturation vertébrale) qui seront pondérées avec les autres données cliniques afin que le praticien puisse prendre la meilleure décision.

qui disait qu'il faut chercher l'optimum individuel. C'était un pourfendeur disant que ce n'est pas parce que quelqu'un au Texas en 1950 a dit qu'avec tel angle et certains degrés il faut faire des extractions que vous voyez le patient sans réfléchir et que vous foncez sur les extractions. En fait la critique est la même. Si on a une vision d'un individu en profondeur avec toutes ces variables, on ne peut pas accepter qu'un angle calculé seulement détermine une décision. Ce serait bien et rassurant mais ce n'est pas vrai. Et heureusement pour nous. Donc l'IA peut juste calculer l'angle à la place du protractor. Est ce qu'il faut s'arrêter là et se dire que l'IA ne nous apporte pas grand chose et qu'il faut continuer comme avant ? C'est là que les choses changent et qu'il faut utiliser cette révolution numérique dans une stratégie dite "augmentation".

Je vais vous présenter un peu mes travaux et pourquoi je pense ça.

Regardons une téléradiographie de profil.

Si dans un deuxième temps on rajoute un petit élément en plus au-dessus de la radio: "pic de croissance pubertaire" et "fin de croissance pubertaire". Forcément on pense à des éléments différents selon l'information.

En fait quand on voit la radio notre regard est tout de suite aspiré vers la partie maxillo-dentaire. Cela a été démontré que si on nous demande à chaque fois de chercher la même chose sur une image, au bout d'un certain temps notre regard est aspiré vers cet élément que l'on cherche. Cela s'appelle "the satisfaction of search". Des travaux ont été faits sur des radiologues expérimentés et des radios du poumon. S'ils ont l'habitude de voir des nodules dans une certaine zone ils ne vont pas chercher de nodules ailleurs à cause de cette satisfaction of search. Et bien nous sommes pareils. On regarde une zone qu'on a l'habitude de regarder et on va être de plus en plus affiné sur cette zone mais on ne va pas aller regarder ailleurs, et c'est humain de faire ça. Ça demanderait une énergie cognitive importante d'aller regarder ailleurs. Dans des congrès on nous montre des radios en nous disant d'aller regarder la maturation vertébrale et là on se demande pourquoi on ne le fait pas au quotidien ? Simplement parce qu'on a une "satisfaction of search" d'aller regarder le décalage des bases. Et c'est là que l'intelligence artificielle peut nous apporter quelque chose car elle peut nous apporter des données que nous pourrions exploiter ensuite. Je vous invite à aller lire une publication de la revue entropy en accès libre sur internet: comment l'intelligence artificielle et

l'utilisation de réseaux de neurones dits convolutionnels peuvent nous aider à prédéterminer (Deep Learning And Artificial Intelligence for the Determination of the Cervical Vertébrale Maturation Degree from Lateral Radiography). Étude à partir de 1800 téléradiographies.

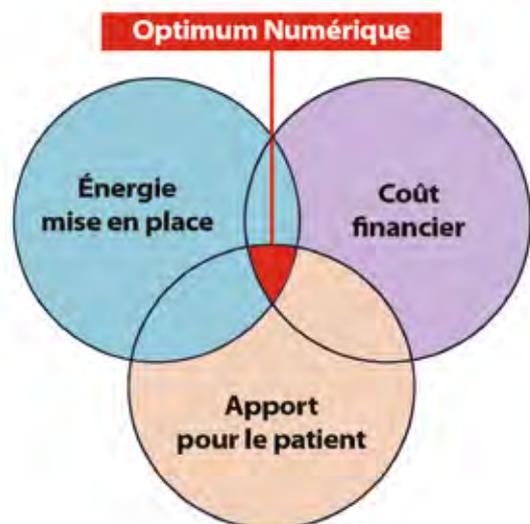
C'est une stratégie d'apprentissage profond de la machine. L'apport de l'IA va être ici de nous apporter l'information nominale à partir de la téléradiographie (pic de croissance) et à nous de mettre en parallèle cette information qui nous a été apportée facilement sans que nous cherchions les ressources cognitives donc on a plus d'énergie disponible pour faire cette pondération avec les autres paramètres et prendre la décision thérapeutique pour obtenir la résolution du décalage.

Donc l'apport de l'IA est au niveau des données qu'elle peut nous fournir que nous allons ensuite exploiter.

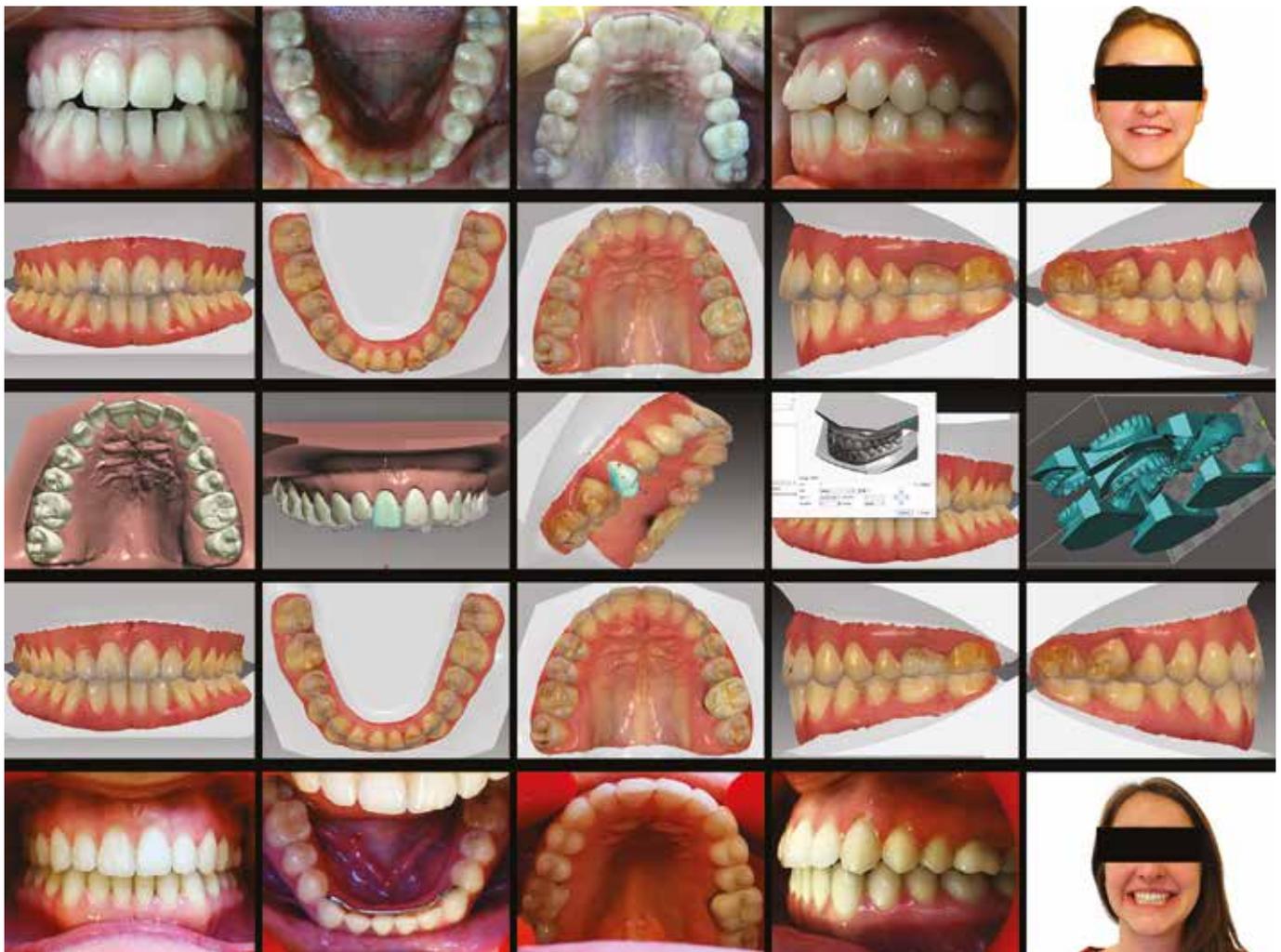
Fabrication de l'outil numérique après une bonne classification

Comment choisir le type d'outil utilisé ?

Il y a une énergie de mise en place, le coût financier et l'apport pour le patient. Le choix des techniques va se faire au niveau de l'optimum numérique.



Voici quelques illustrations cliniques de ce que je fais à travers l'outil numérique pour montrer un éventail de ce qu'on peut faire, avec un objectif de partage et sans aucune prétention de ma part.



Les aligneurs fabriqués en autonomie.

Il y a deux classifications: l'acquisition des données puis le traitement de ces données.

Aujourd'hui dans mon cabinet mon organisation est la suivante:

Pour les multibagues : on fait un collage indirect mais s'il faut des outils orthodontiques sur mesure on externalise avec par exemple insignia.

Au niveau des thérapeutiques par aligneurs, sur certains cas on le fait au cabinet et on externalise quand c'est trop compliqué car on ne sait pas encore le faire au cabinet.

Au niveau des prothèses on fait au cabinet les amovibles et on externalise ce qui est fixe.

Au niveau de la contention tout se fait au cabinet.

Comment fait on ?

Au départ il y a l'établissement d'un plan de traitement au cabinet, puis il y a une segmentation numérique des dents (pour le moment fait par une personne qui est au cabinet et qui s'occupe de toute la partie numérique et cette partie là qui est la plus lourde en énergie sera à court terme effectuée par l'IA) puis suivant la prescription faite par le praticien il y a modélisation et conception de l'appareillage et son impression en 3D.

Avec le temps et le travail en équipe tout se fait de plus en plus naturellement. Il se crée un lien dans l'équipe, une dynamique d'équipe, une intelligence collective. C'est une intelligence qui émerge d'individus qui se regardent les uns les autres, échangent des signaux locaux qui permettent une coordination globale. Et la délégation vers l'extérieur ne permet pas cela.

Actuellement on parle beaucoup de relocaliser et l'intelligence artificielle est un allié de taille grâce à l'automatisation de l'IA qui permettra à moyen terme (5 à 10 ans) de rester local en évitant d'externaliser les tâches.

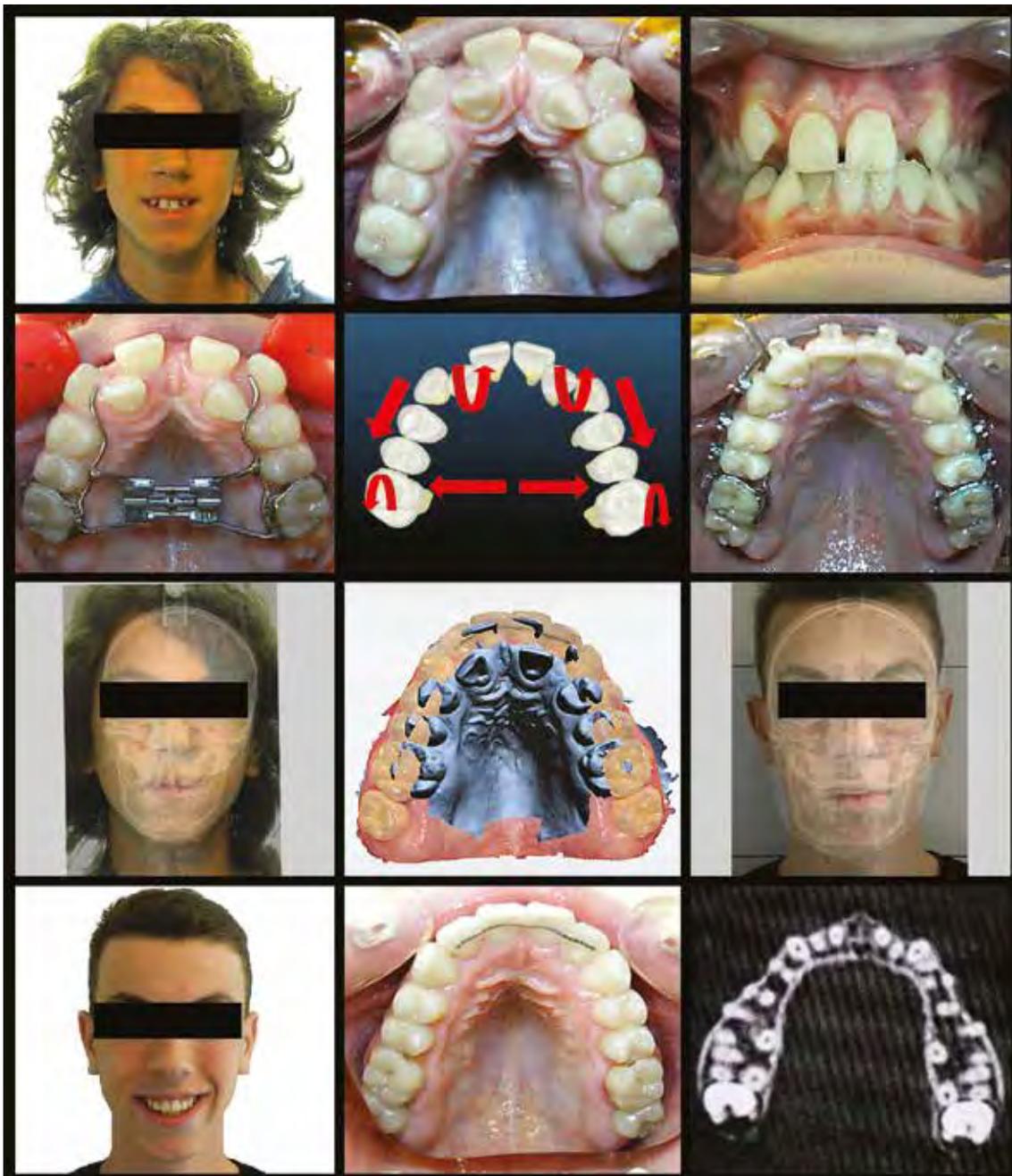
Le lien entre la planification et la conception de l'appareil peut être fort car lorsqu'on planifie cela permet de voir des éléments. On a un cerveau qui est non verbal, c'est à dire que lorsqu'on veut transmettre ses messages par écrit c'est parfois compliqué. Par exemple, si on veut expliquer étape par étape comment faire un noeud de cravate c'est compliqué d'envoyer un mail explicatif mais c'est facile de le montrer. C'est pareil pour la planification. Elle permet de visualiser des mouvements. Par exemple sur un cas de patient pour qui l'on décide des extractions, cela permet de se confronter à ses choix thérapeutiques et d'envisager le

degré de difficulté de certains mouvements et rajouter des accessoires comme des mini vis.

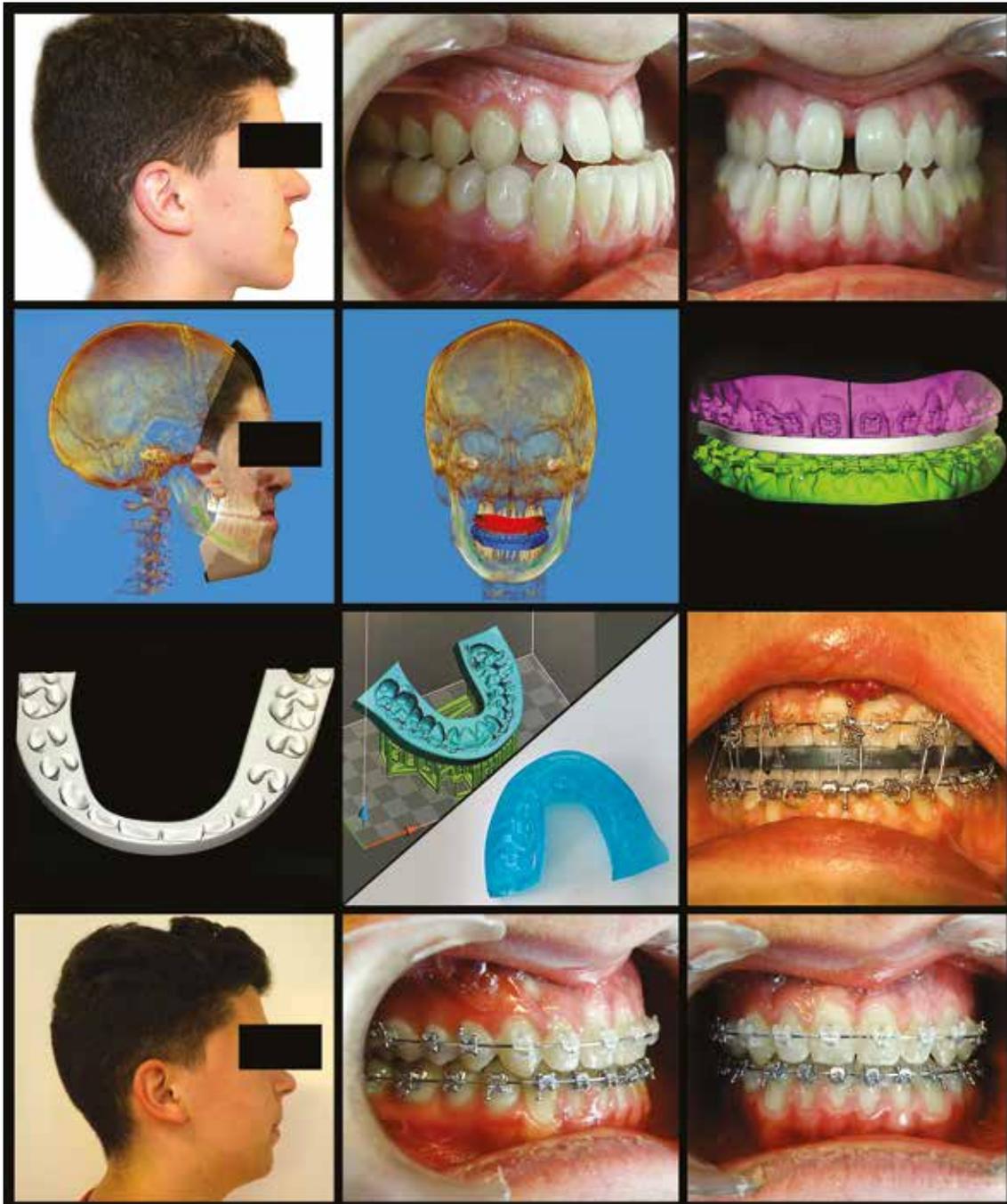
C'est aussi un formidable outil de dialogue entre le patient et le praticien, et avec d'autres praticiens qui interviennent dans le plan de traitement, et de perception et de compréhension. C'est encore un peu fastidieux et ce n'est pas monnaie courante de le faire pour tous les patients mais dans l'avenir, l'intelligence artificielle va petit à petit nous amener les étapes de conception et nous faciliter la vie pour arriver à cette fin. C'est donc un des objectifs.

De plus, il y a la perception de l'optimum numérique. Que devient il dans le temps ?

En se référant à la loi de Moore, on est dans une révolution exponentielle et nos cerveaux mettent du temps à percevoir les changements donc on va devenir le frein car cela va très vite et quand ça va ainsi on tend à sur réagir dans l'autre sens. Je ne sais pas comment on doit vraiment réagir mais je pense que le mode de fonctionnement actuel où on envoie un set up numérique à l'autre bout du monde qui est traité, nous est renvoyé puis qui est envoyé ailleurs pour faire une



Les set up numériques et le suivi thérapeutique (monitoring par superposition des empreintes)



Le guide chirurgicale en autonomie

impression 3D et qui prend l'avion pour nous arriver et on double les tarifs pour le donner au patient ne va pas être viable à long terme dans le monde "après covid".

Le panel de ce que peut nous apporter le numérique est important. En chirurgie orthognathique par exemple, on peut réaliser les gouttières chirurgicales pour le temps opératoire, on peut faire la simulation de l'intervention.

On peut également extraire des éléments nous permettant d'analyser des données plus simplement. Par exemple à partir d'une téléradiographie de face on va pouvoir faire un modèle 3D distinguant les dents et les os, ou isoler une mâchoire et l'imprimer. Bref, le numérique peut nous faciliter la vie en nous apportant l'information de façon plus

raffinée au niveau du cerveau pour une prise de décision. Cela demande une organisation, un peu de préparation mais ça doit être l'objectif central. Et quand on discute avec les développeurs, c'est très difficile de leur expliquer que nous avons besoin de réfléchir, de sentir les choses pour arriver à faire des plans de traitement, de pouvoir bouger les arcades l'une par rapport à l'autre, que nous devons avoir la maîtrise des choses.

C'est avoir acquis la notion de perception rapide guidée par le savoir.

Si l'on va plus loin, on sait qu'on va vivre avec le numérique, les jeunes praticiens vont gérer pendant 30 ans des cas en numérique, comment peut-on utiliser le numérique au

quotidien pour essayer de progresser ?

Parlons de l'expertise et du savoir faire. On regarde un cas clinique. On regroupe tout de suite les 2,3,4 mouvements nécessaires et la beauté de l'orthodontie c'est de prendre ces mouvements, les comparer avec les critères évoqués plus haut (l'esthétique, le parodonte, les fonctions.) et d'arriver à faire un choix de traitement.

Cette expertise se rapproche d'une autre expertise énormément étudiée en neurosciences : les échecs. Quand on regarde un échiquier on voit 64 cases et les mouvements des différentes pièces. Quand quelqu'un qui n'est pas initié regarde des dents, il voit plein de choses alors que nous n'en voyons que 3 ou 4 et nous simplifions.

Cela s'appelle la théorie des Chunks. C'est cette capacité à faire d'une situation complexe une situation simplifiée en 2 ou 3 cases qui fait l'expertise. Un expert regarde, simplifie et va comparer dans sa base de données située dans son cerveau à l'hippocampe avec les milliers d'autres cas qu'il a déjà vu et il se dit « *j'en ai déjà vu un semblable* ».

Victor Hugo a dit : « *puisque l'intuition est surhumaine, il faut la croire* ». Il faut arriver à un degré où on est guidé par son intuition, son expertise. L'expertise repose plus sur un stock de connaissances structurées que sur une puissance d'analyse supérieure.

Comment peut-on, dans les 30 ans de carrière que l'on a, apprendre comme on a appris de nos 5 cas durant nos études qui ont été la matrice de notre formation? Y-a t-il moyen demain d'utiliser le numérique pour avoir cette expertise qui s'amplifie jour après jour ?

Quels sont les piliers de l'apprentissage? Stanislas Dehaene nous présente 4 éléments : l'attention, l'engagement actif, le retour sur erreur et la consolidation.

L'attention c'est la capacité de notre cerveau à sélectionner une information, à l'amplifier et à l'approfondir. Comment le faire grâce au numérique ?

Il faut être dans une certaine ergonomie (quel type de fond etc.) et avoir conscience que l'on a une mémoire de travail de 20 à 40 secondes. Il est conseillé d'avoir plusieurs écrans pour faire travailler tout en même temps pour prendre une décision, car les paramètres doivent être tous réunis dans les 20 à 40 secondes.

L'engagement actif. Comment l'améliorer ? Par exemple avec un modèle imprimé dans les mains pour le pseudo-haptique plus les radios on va avoir un engagement actif plus important.

Le retour sur erreur. Pour qu'il soit efficace, il faut que l'apprentissage soit rapide, précis et sans qu'il s'agisse d'une punition. Le numérique permet de voir rapidement l'erreur

avec sincérité et de corriger. Donc de progresser étape par étape.

Et cela se fait dans **la consolidation**, c'est-à-dire la multiplication des cas.

A chaque cas, le fait d'avoir un retour sur erreur, une attention un engagement actif, permet de construire un chemin numérique et chaque cas vient enrichir notre hippocampe et nous permet d'améliorer notre expertise. Si l'on veut exister dans le numérique en tant qu'humain, il faut arriver à se transcender. Tous ces éléments vont être détaillés dans un article qui doit sortir dans le prochain numéro de l'orthodontie française.

Conclusion

Le futur arrive vite et il faut modifier notre système de fonctionnement.

Il y a deux évolutions possibles. Soit on va faire ce qu'on nous dit et on aura un asservissement à la technologie, soit on garde le contrôle.

L'objectif est de regarder l'avenir en se disant comment peut on modifier dans la mesure du possible pour avoir le futur le plus favorable pour nous ?

Il faut réfléchir et planifier. Une des choses qui a bien marché pendant le covid a été le transport médicalisé car cela avait été prévu en cas d'attaque terroriste.

Quand on regarde les joueurs d'échec aujourd'hui ils sont devenus meilleurs depuis l'intelligence artificielle. La combinaison de l'humain et de l'ordinateur reste imbattable, mieux que l'humain seul ou l'ordinateur seul.

Pour cela il faut que l'on s'investisse, que l'on ne soit pas passif. Nous sommes trop attentistes et on attend qu'on nous apporte des systèmes. Il faut qu'on arrive à innover, à créer comme disait le Pr Julien Philippe et cela devient encore plus vrai avec le numérique.

Isaac Bashevis Singer a dit : « *plus la technologie progresse, plus les gens s'intéressent aux possibilités du seul esprit humain.* »

Ce qu'on vit dans cette révolution est le passage d'un vecteur manuel à un vecteur cérébral. Le challenge d'une nouvelle interface va être de s'investir dans ces éléments et de réussir cette transition. Les industriels n'arrivent pas à nous impulser cela car ils raisonnent en terme de production et pensent que les orthodontistes veulent des solutions toutes faites. On va être obligés de se surpasser si on veut réussir à tirer le meilleur de cet outil numérique et pour notre avenir. Pour finir sur une citation de Malraux : « *La liberté appartient à ceux qui l'ont conquise* ». ■