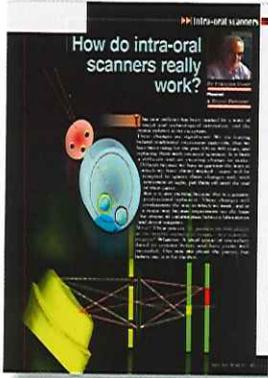


CONTENTS



13

INTRA-ORAL SCANNERS
How do intra-oral scanners really work?

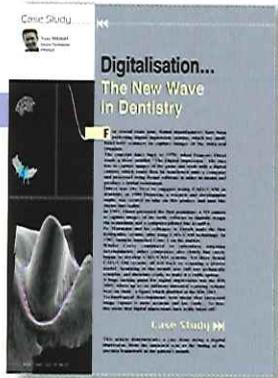


23

SYSTEM REVIEWS
- Sirona
- Straumann
- 3M
- 3Shape

52

CASE STUDY
Digitalisation...
The New Wave
in Dentistry



62

ON TRIAL AT THE BENCH
The Digital
Impression



2

EDITORIAL

By Poppy Stoddart & Jemma Cooper

4

By Wilky Bunyan

8

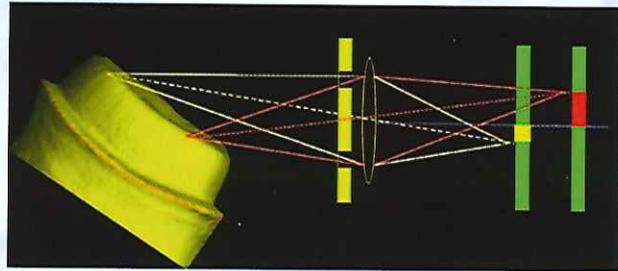
SEEN IN CHICAGO

13

INTRA-ORAL SCANNERS

How do intra-oral scanners really work?

By François Duret



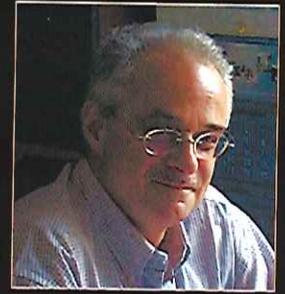
23

SYSTEM REVIEWS

- Sirona
- Straumann
- 3M
- 3Shape



How do intra-oral scanners really work?



By François Duret

Physicist

& Bruno Pelissier

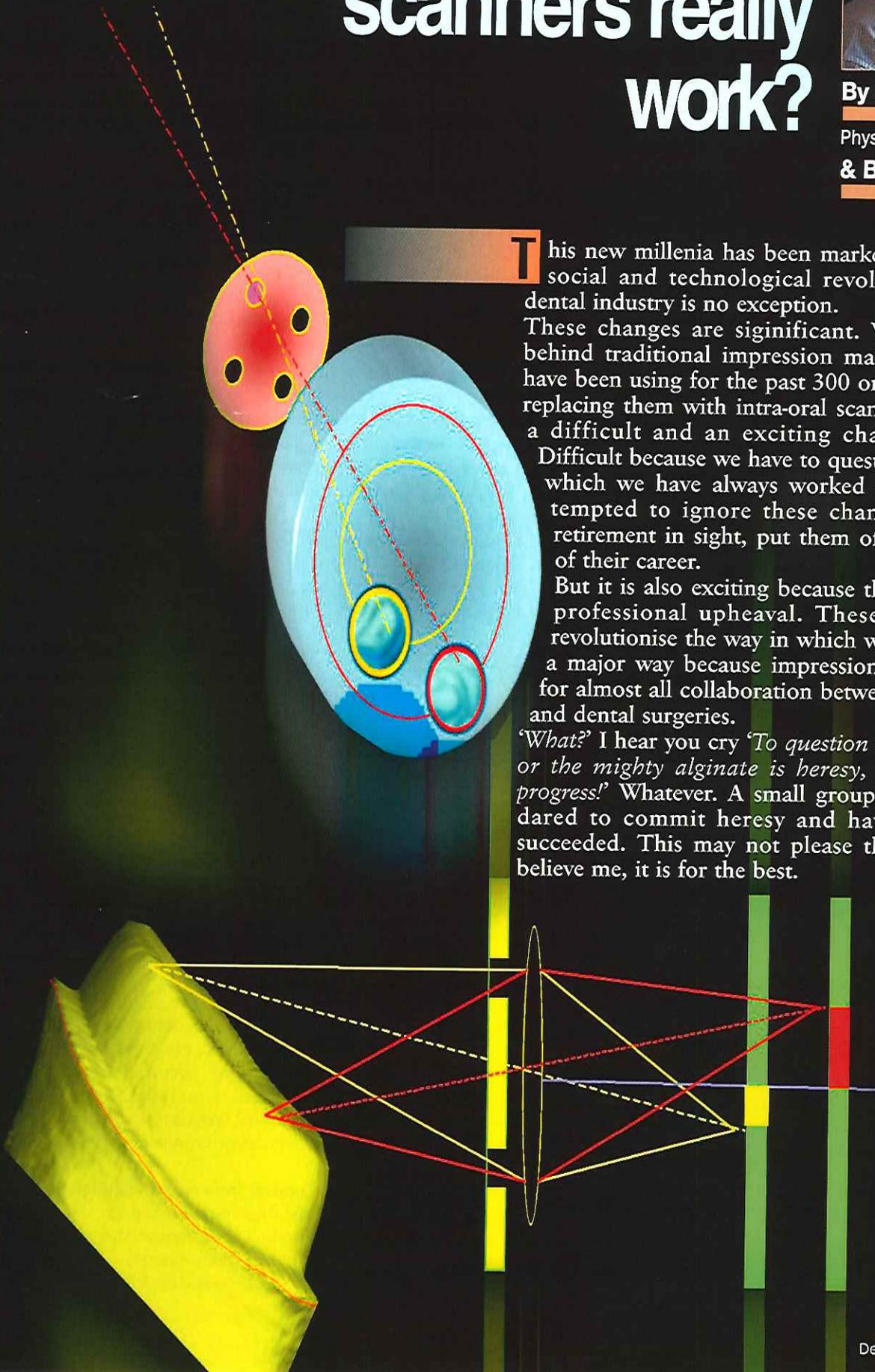
This new millenia has been marked by a wave of social and technological revolution, and the dental industry is no exception.

These changes are significant. We are leaving behind traditional impression materials, that we have been using for the past 300 or 400 years, and replacing them with intra-oral scanners. It is both a difficult and an exciting change to make.

Difficult because we have to question the ways in which we have always worked - many will be tempted to ignore these changes and, with retirement in sight, put them off until the end of their career.

But it is also exciting because this is a genuine professional upheaval. These changes will revolutionise the way in which we work, and in a major way because impressions are the basis for almost all collaboration between laboratories and dental surgeries.

"What?" I hear you cry *"To question the holy plaster or the mighty alginate is heresy, not scientific progress!"* Whatever. A small group of researchers dared to commit heresy and have pretty well succeeded. This may not please the purists, but believe me, it is for the best.



How is it possible to replace a traditional impression with a scan of the mouth? Interesting question, dear Watson...

Just for fun let's generalise a bit. A pink alginate surface is seen by the human eye as a solid piece of matter. In reality, it must be understood to be a series of 'points' that give the impression of uniformity and solidity due to their proximity to each other. Of course, on an atomic level, there are actually spaces between each of these points.

When taking an impression, we are reproducing the patient's mouth to make it accessible so that work can be continued with the patient in absentia. Any technique that allows for the copying and 3D reproduction of the dental arches can be considered to be 'impression taking'.

This copy can be a simple surface transfer, without any additional information on the copied object (classic impression techniques). Alternatively, it could be a transfer technique that involves digitally recording the spatial position (x, y and z) of each point that makes up the surface - these are the new micro-palping or optical impression techniques.

These latter types of transfer technique are becoming increasingly popular, as they can be transformed into digital files that can be used directly by computer software.

During the 'impression taking', the computer visualises a series of points that are very close together, each of which has related data (a minimum of 3 values, x, y, and z, is included for each point). These three figures correspond to the spatial position of the point in relation to a central reference point, with the values 0, 0 and 0. It is standard practice to refer to 'a cloud of points'.

For the computer, an optical impression is made up of a series of files. The greater the number of points the larger the file; the greater the precision the greater the number of points needed, as the distance between the points will be smaller. For a precise capture at 10 microns, the computer will record millions of points. If the optical impression requires 3000 views per second, as is the case with IR scanners, we are talking about hundreds of millions of points to accurately reproduce a dental arch.

This explains why intraoral scanners have only recently become a viable option. A computer that could manage that many calculations was, until recently, very expensive - in any case too expensive for our line of work.

But How Can 3D Intraoral Scanners Measure Accurately?

Here we are, at the heart of the subject! How do you measure the exact position of these points in the mouth in order to reproduce part, or all of a dental arch?

In dentistry today, there exist two major techniques for taking digital impressions. There is the micro-palping technique (such as Procera or Cadim) and optical impressions (all other CAD/CAM impression systems). Whilst for traditional impression techniques there are over 40 systems available for impression taking, digital impressions remain a rather hush hush, confidential subject. To date, we have found seven available on the market.

Let's get this straight immediately; micro-palping impressions are particularly slow. For this reason these techniques are not really suitable for intraoral impressions, despite several trials (Mushabac or Rekow). The slightest movement when taking the impression can lead to

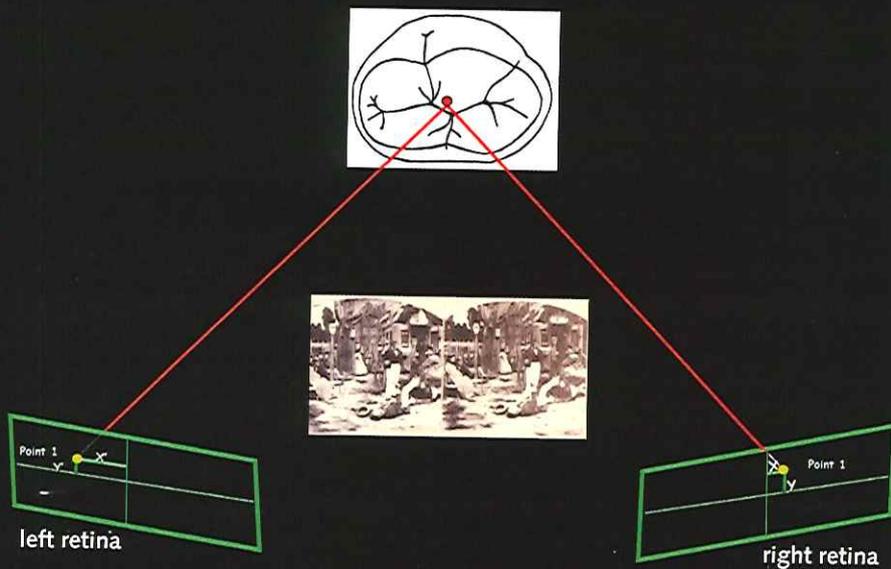
irremediable reference errors. Things are quite different with optical impressions. These techniques are much faster and apparatus handling is relatively simple. For these reasons optical impressions have become popular with clinicians who want to go digital.

This took rather a long time in the dental sector, not because the techniques weren't right, but because certain criteria needed to be resolved through scientific developments. Essential factors included computer calculating power, CCD precision, miniaturisation of lenses and lighting that provided a good price/quality ratio.

Today there are various optical impression techniques for measuring a dental arch; the most popular are:

- 1) Principles of triangulation including stereoscopy and
- 2) Principles that can be dubbed 'flight intensity', to draw a parallel with the well known technique called 'flight time'.

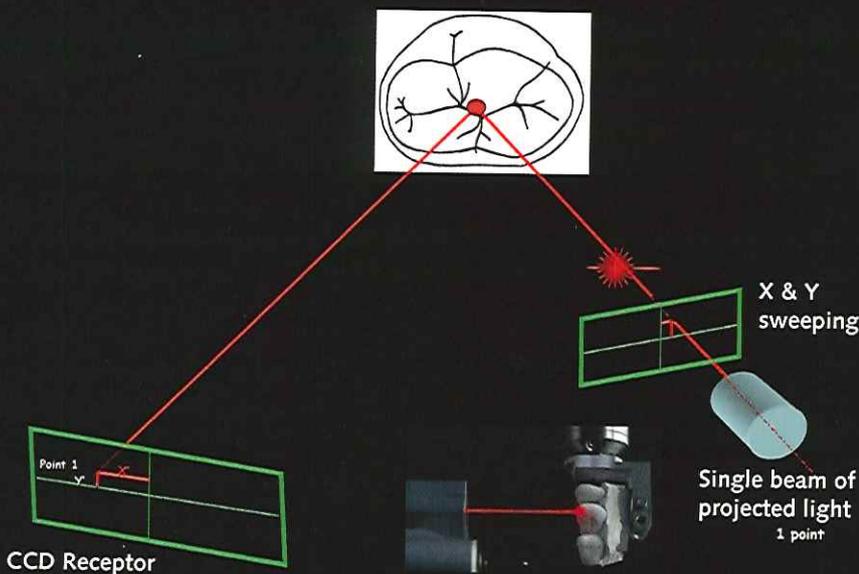
a. Intraoral scanners and triangulation



Stereoscopic view at the level of the human eye. **fig 1**

This is the most simple and best known technique. It is also the one most used in dentistry. The principle is to reproduce human binocular vision...with a few adjustments...

As fig. 1 shows, the same point in a dental arch, such as a cuspal point, will not have the same position on the retina of the right eye (x & y) and on the left (x' & y'). The brain is instinctively capable of finding these two points (which we call homologous points), observing the different positions on the two retina and deducing the distance which separates the eye from this point. By observing all the points in a dental arch, it can construct a 3D view. Mathematically, calculating this distance (z) is a simple trigonometric calculation that any computer can carry out quickly.



Triangulation by single beam sweeping **fig 2**

Since it is rather dark in the mouth, and finding homologous points is not particularly easy, especially on smooth, white, shiny surfaces, digital impression scanners replace the second eye with a beam of light (laser). In fig. 2 we can see both distances (x & y) and (x' & y') seen on the retina. The computer knows the distance (x and y) since it is dependant on the sweeping of the mechanical system pre-set in-factory, it simply needs to measure the position (x' & y') of the light beam on the CCD in order to find, with the same trigonometric calculation the value of (z) which corresponds to the third dimension - the distance of the CCD from the object point.

This sweeping (or scanning) technique by a single point is too slow to be applied in the mouth, since the slightest movement will introduce calculation errors. It can only be used with table scanners, where there is no risk of the plaster model moving whilst the beam of light is sweeping over it.

Intra-oral scanners

For intraoral scanning the use of a grid, or row of laser beams (fig. 3) is now preferred. when used in conjunction with the new ultra-fast motorised sweeping systems (piézo), over 3000 images can be captured per second.

“Over 3000 images can be captured per second.”

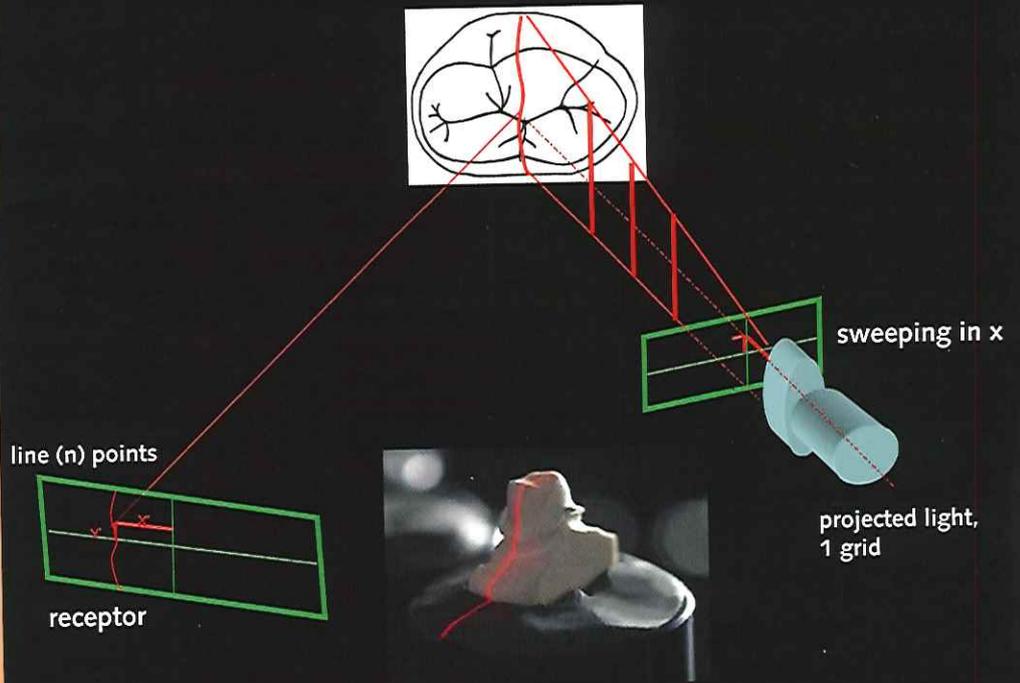


fig 3 Triangulation: sweeping with one line.

The principle of grid sweeping can be found in scanners such as the Ios, 3Shape, the Cyrtina or HintEls (fig. 4). In general these scanners project a grid (or row) of red or blue laser beams which continually sweep the dental arch. The data capture - that is to say the recording of the grid profile on the CCD, is done as a series of quick shots, which leaves practitioners greater freedom when handling. They simply need to move the handpiece of the surface of the dental arch in order to construct and develop the digital impression. This technique is known as a dynamic digital impression. The correlation of the views, that is to say the overlaying of the views one after another in order to represent just one object, is made possible by combining two complementary concepts. The first concept consists of capturing the maximum profile before moving the scanner (handpiece). This is possible because the scanner shots are fast and numerous. The second concept is to maintain a constant overlap (a minimum overlap of 1/3 is usual) between the two views. This is possible if the operator does not move the scanner too quickly.

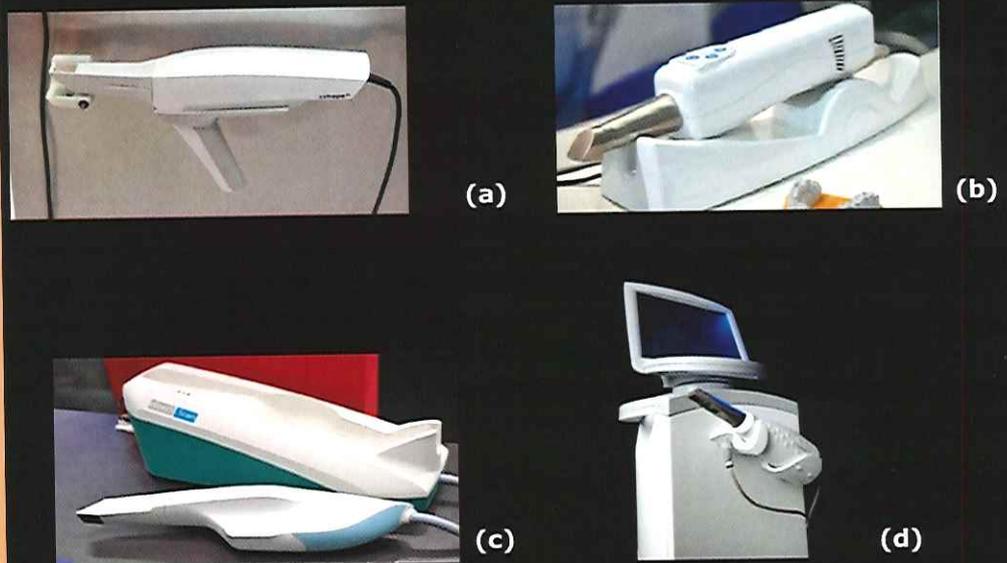
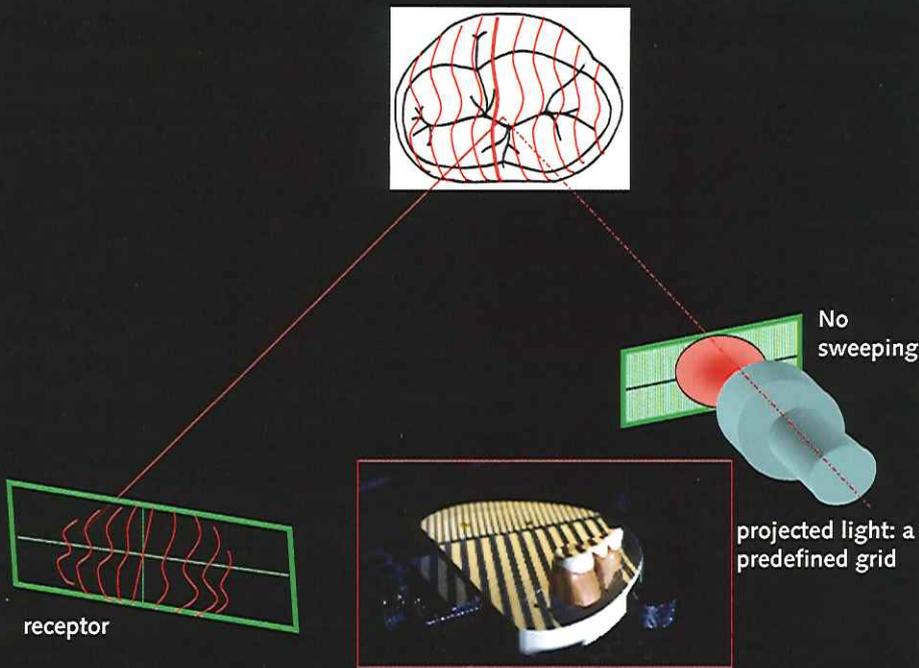
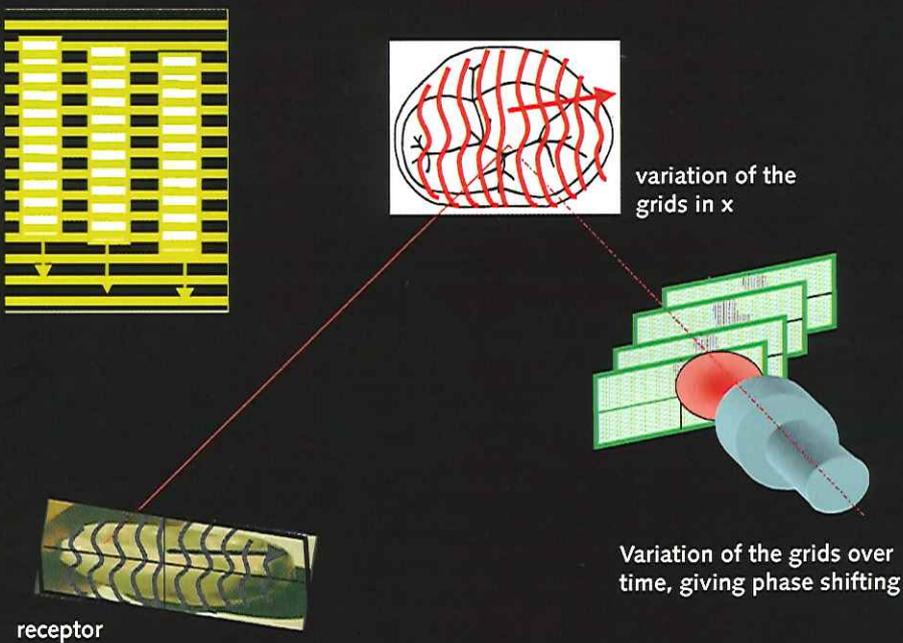


fig 4 Grid sweeping scanners: 3 Shape(a), Cyrtina (b), HintEls (c), and Ios (d).



Triangulation by grill projection. **fig 5**

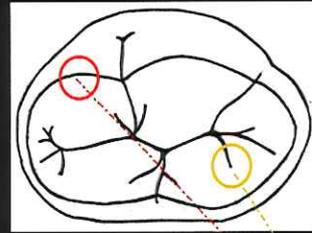
There exist various developmental variations to this method of the projection of a grid of laser beams. Certain systems that are still in development project a series of identical, parallel grids (fig. 5), whilst others project various parallel grids from different angles at the same time (research done by B. Altschuler). The principle remains the same, but with these variations we can accelerate the impression taking and improve the precision.



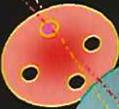
Electronic interferometry by phase shifting. **fig 6**

The Cerec system offers an interesting variation. A close grid of laser beams (between 10 and 50 microns, depending on the system) is still projected. However, it is static and is projected without sweeping. Next, with the scanner still immobile the laser grid is moved slightly on the arch (in dentistry the distance moved is $\pi/2$) (fig. 6). This method is called measuring by 'phase shifting'. A 3D view is constructed using a minimum of 3 or 4 image captures in varying grids. The patients must not move during the image capture, however, the speed with which the scanners integrate the images captured on the CCD is extremely fast; the operator can then move the scanner and start again. Since this is not a film, but a series of individual shots, this technique is known as 'static optical impression.'

Intra-oral scanners



Focal control



receptor

rotation sweeping

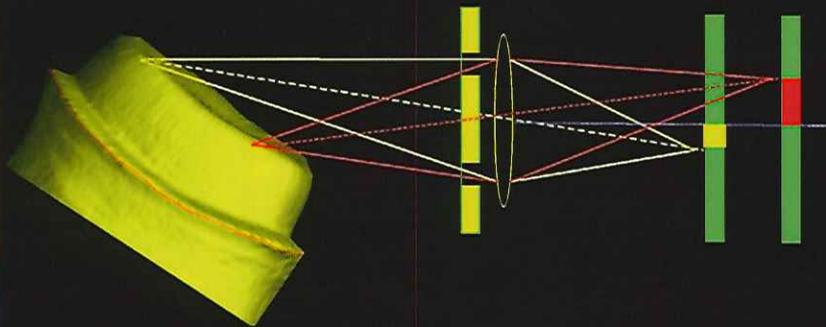


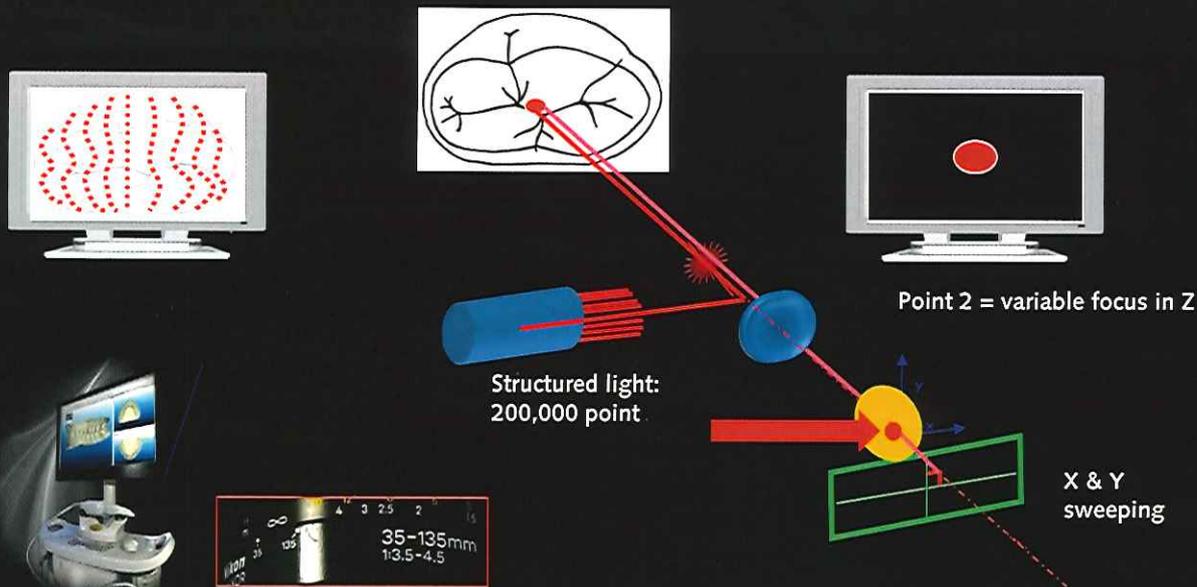
fig 7 Active Wavefront Sampling (AWS).

b. The Lava COS case study

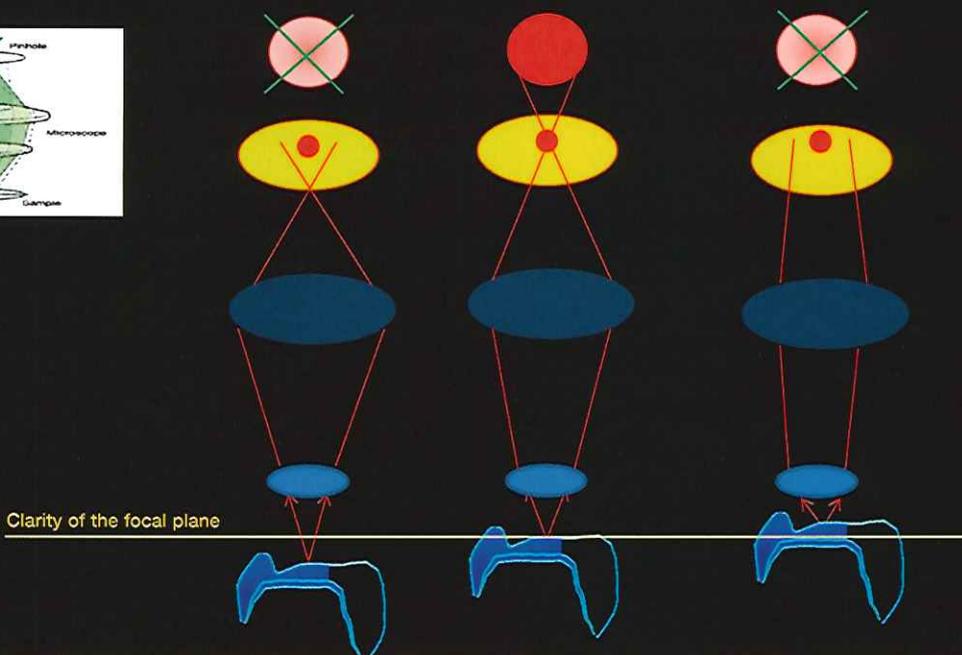
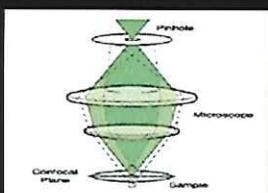
The Lava Cos is a case unto itself. It is the first dynamic digital impression scanner in dentistry. It was developed by the MIT in Boston, and employs Active Wavefront Sampling (AWS) principles, which combine the advantages of triangulation with focalisation / defocalisation of telemetric machines (Leica) and of the axis of vision (nearly) combined with the axis of projection. The Conoscopy of the new benchtop Procera scanner also -quite rightly- claims to do this. It is a well thought out and particularly efficient programme.

The scanner is aesthetic, and the AWS principles adopted mean it is not too cumbersome in the mouth (fig. 7). The intra-oral scanning technique consists of aiming for a very specific zone of the dental arch and to develop the clarity of this small area; since the area is small, the depth of field is reduced and so are the possible errors in calculating (z). The calculator measures the lense movement to go from point zero to the point of clarity. This movement, which is the same as that which we use to focus with a camera, indicates

the difference between the CCD and the little surface recorded on the CCD (which explains the principle called focalisation / defocalisation). With Lava Cos, the principle is basically the same although it is a bit more complicated as the distance is calculated according to the axis aimed for using the position of the image on a spinning disk. The dental arch simply needs to be swept, zone by zone, in order to construct the virtual model progressively. The name 'dynamic optical impression' is rather apt.



Intensity variation in structured light (sweeping n points + variable focus)



The Cadent/Itero system, or flight intensity concept. **fig 8**

c. Intra-oral scanners and flight intensity

Cadent (fig. 8) is the only company to have evolved from a phase shifting system (developed by Henson and Cerec) to a 'flight intensity' system.

This decision makes the Straumann Itero scanner particularly original. The principle is to project a multitude of beams (between 100,000 and 300,000) onto the dental arch. Each of these laser beams will rebound when it hits a surface and be sent back to the CCD. A system of absorbant lenses moves the focal point, that is to say

sweeps the depth of the field, from the lowest point (the gingiva) to the highest (the cuspal regions).

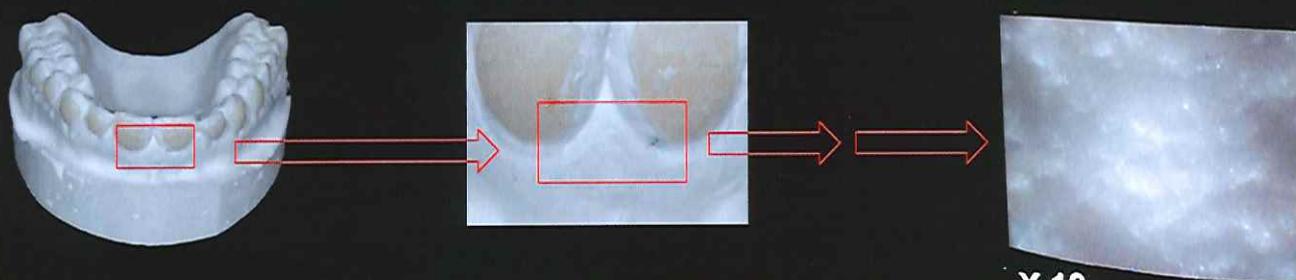
If a ray of light is reflected from the surface and is well focussed, it will be powerful enough to cross through the 'selective intensity filter'. If the ray of light is too weak, it will be 'destroyed'.

This can be compared to burning a leaf with a magnifying glass - out of focus the beam of light is large and not powerful enough to burn a leaf, but in focus it is smaller,

concentrated, and powerful enough to burn... In this case, the ray of light disappears when it is out of focus, whilst when it is in focus it crosses through the 'filter', which is a pinhole aperture, and then activates the CCD.

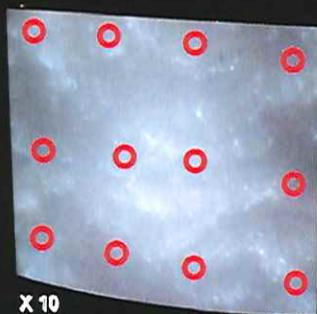
The result is a sort of cross sectioned slice of the dental arch determined by the intensities of the reflected light. This is a rapid and precise method. Since the only rays that penetrate are of high intensity, coating with white powder is not necessary.

Intra-oral scanners



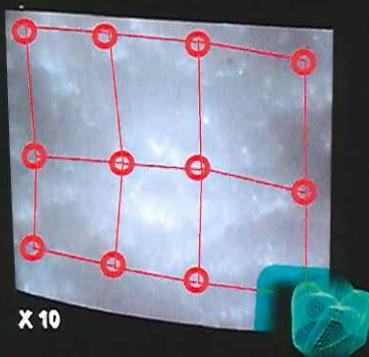
Demonstration of the irregularity of a plaster surface (magnified by 10 using a microscope), which explains why one point every ten microns is sufficient for an accurate reproduction.

X 10



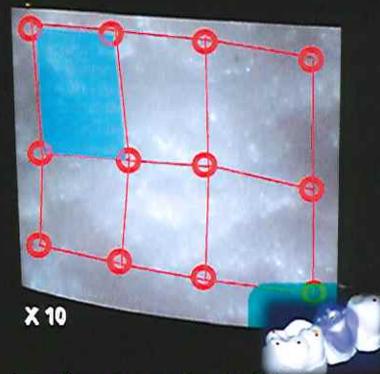
X 10

Points have been created on the irregular plaster surface



X 10

A mesh links the points together



X 10

A surface is constructed using the mesh

“ The end of double impressions...!”



fig 9

Constructing a virtual model based on a plaster model.

The number of points used will create a surface of comparable irregularity to the plaster surface.

A few pointers:

On screen precision is not the precision of the impression (figure 9): in order to have a rapid on-screen view and inform the operator on the scan quality, a simplified view is shown on-screen in real time. This view uses only one point in three or five to create the on-screen model. This speeds up the process and is barely discernable to the naked eye. Of course, the modelling software uses all of the points.

The coating does not stop projected beams of light from penetrating into the tooth and limiting the precision. But this does not pose a problem, as

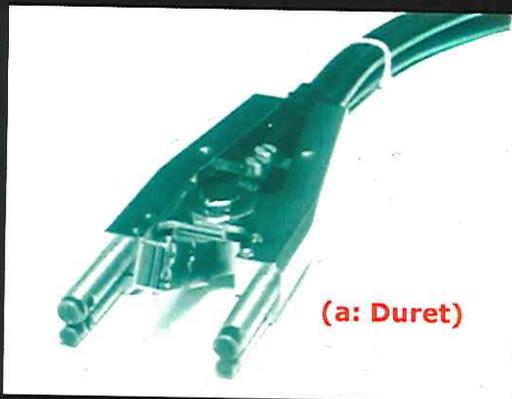
those beams that penetrate into the tooth are not refracted or, if they are, they are so weak compared to the reflected beams that they cannot influence the result.

The coating is used to both limit potentially disturbing colour variations in the mouth (this is not the case when scanning with a phase shifting technique) and, above all to ensure that disturbing influences (such as light or electronic noises) do not disturb the points, lines or grids of light projected onto and then reflected from the teeth.

The amount of coating used can be reduced if beams of blue light are

used, as this gives the teeth a more chalky aspect (think teeth under UV in a nightclub...). However, CCDs are less sensitive to these light waves. At the other end of the scale, CCDs are very sensitive to red light, but the points tend to spread out. Truth be told, this is not so important as the software calculates the centre of the point using mathematical iteration and will only use the central point to construct surfaces.

Lastly, you should be aware that new software, presented as part of LavaCOS 3M in 2007, allows for the repositioning of a new data in an



“ The light flux will be transformed into electrical information...
 ... The impression has become digital.”

The evolution of intra-oral cameras over 30 years: 1982 (a), 1985 (b), 1992 (c), 2007 (d), 2011 (e). **fig 10**

Converting the analogical to digital

older scan. This is done through anatomical recognition of elements present in both the old and the new shots. This is fundamental as it means you can put the scanner down and pick it up again at any time, to either complete an imperfect scan, or move a barely visible sulcus.

This heralds the end of double impressions! This also means that you can correlate an upper and lower arch (occlusion) and put them in a virtual articulator. Today this is static, but tomorrow it will be dynamic, as we showed in 1987 with Access Articulator!

The next stage is to convert this analogical data that we have collected into digital files... but that is another story!

The light flux will be transformed into electrical information by measuring the amount of light capture potential (depending on the light intensity) in each pixel of the active surface of the CCD. The quantity of electricity needed to restore the light capture potential and return the pixel to its initial value will tell us whether or not the pixel received light. It is this

quantity (level of grey), or the choice of received light: yes / no (black / white), which will be the retained digital value, and the basis for digital conversion.

We have come full circle, the analogical (light) and digital (number) conversions have been done, the impression has become digital.

It will have taken 40 years since we first started working on this...♦

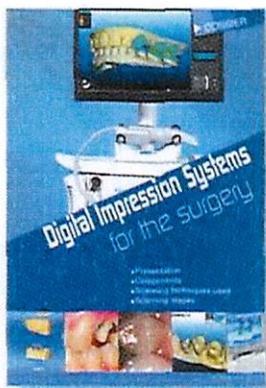
By François Duret

TABLE DES MATIERES



13

**SCANNERS
INTRA-ORAUX**
Comment
fonctionnent-ils ?



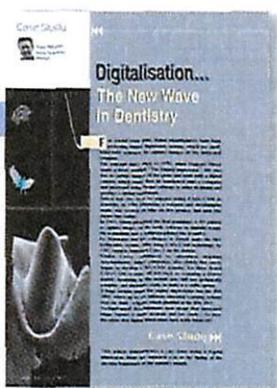
23

**ETUDE
SYSTEMES**
- Sirona
- Straumann
- 3M
- 3Shape

52

ETUDE DE CAS

Numérisation...
La nouvelle vague
en Dentisterie



62

**AU BANC
D'ESSAIS**
L'empreinte
optique



2

EDITORIAL

Par Poppy Stoddart & Jemma Cooper

4

Par Wilky Bunyan

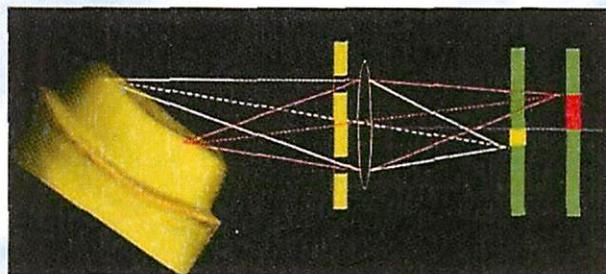
8

VU A CHICAGO

13

SCANNERS INTRA ORAUX

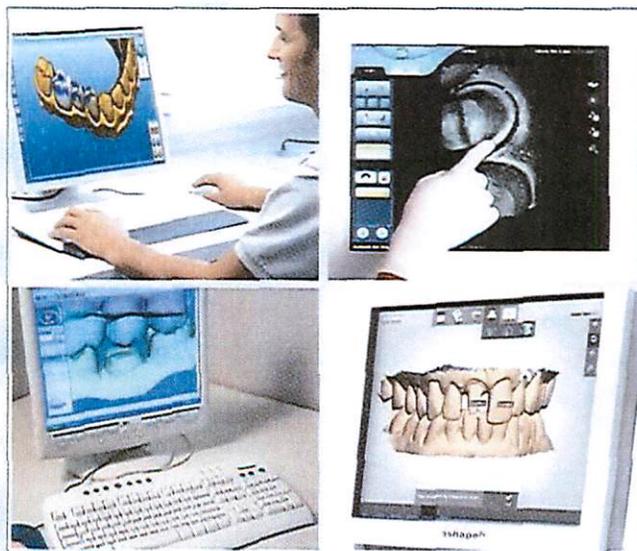
Comment fonctionnent-ils réellement ?
Par François Duret



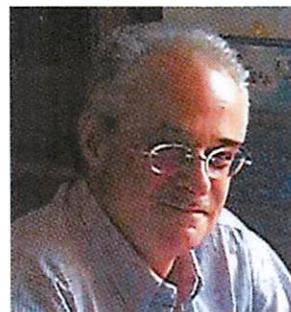
23

ETUDE SYSTEMES

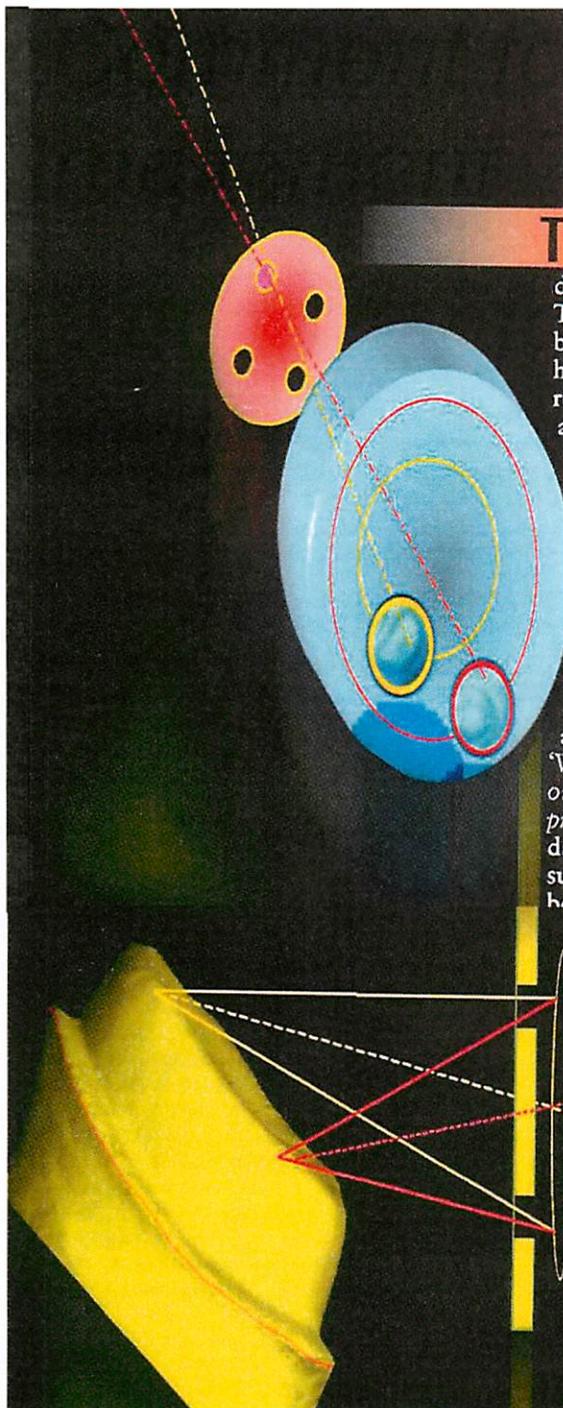
- Sirona
- Straumann
- 3M
- 3Shape



Comment fonctionnent-ils réellement ?



Par François
Duret
Physicien
& Bruno Pélissier



Ce nouveau millénaire a été marqué par une vague de révolution sociale et technologique et l'industrie dentaire ne fait pas exception.

Ces changements sont importants. Nous laissons derrière les matériaux d'empreinte traditionnels, que nous utilisons depuis plus de 300 ou 400 ans, et les remplaçons par les scanners intra-oraux. C'est à la fois un changement difficile et passionnant. Difficile, parce que nous devons nous interroger sur la manière dont nous avons toujours travaillé - beaucoup seront tentés d'ignorer ces changements et, avec la retraite en vue, de les repousser à la fin de leur carrière.

Mais c'est aussi passionnant, car c'est un véritable bouleversement professionnel. Ces changements vont

révolutionner notre façon de travailler et de manière majeure car l'empreinte est à la base de la quasi-totalité de la collaboration entre les laboratoires et les cabinets dentaires.

'Quoi?' Je vous entends crier: 'Remettre en question le sacrosaint plâtre ou le puissant alginate est une hérésie, pas un progrès scientifique!' Peu importe. Un petit groupe de chercheurs a osé commettre l'hérésie et a plutôt très bien réussi. Cela ne plaira peut-être pas aux puristes, mais croyez-moi, c'est pour le mieux.

Comment est-il possible de remplacer une empreinte traditionnelle par un scan de la bouche?

Question intéressante, cher Watson ...

Juste pour le plaisir, généralisons un peu. Une surface d'alginat rose est vue par l'œil humain comme un morceau de matière solide. En réalité, il faut comprendre une série de 'points' qui donnent l'impression d'uniformité et de solidité dues à la proximité entre eux. Bien sûr, à un niveau atomique, il existe en fait des espaces entre chacun de ces points.

Lorsque nous prenons une empreinte, nous reproduisons la bouche du patient pour la rendre accessible afin que le travail puisse se poursuivre en l'absence du patient. Toute technique permettant de copier et de reproduire en 3D les arcades dentaires peut être considérée comme une «prise d'empreinte».

Cette copie peut être un simple transfert de surface, sans aucune information supplémentaire sur l'objet copié (techniques d'empreinte classiques). Alternativement, ce pourrait être une technique de transfert qui consiste à enregistrer numériquement la position spatiale (x, y et z) de chaque point constituant la surface - il s'agit des nouvelles techniques de micro-palpation ou d'empreinte optique.

Ces derniers types de technique de transfert sont de plus en plus populaires car ils peuvent être transformés en fichiers

numériques pouvant être utilisés directement par un logiciel.

Pendant la 'prise d'empreinte', l'ordinateur visualise une série de points très proches les uns des autres, chacun contenant des données associées (un minimum de 3 valeurs, x, y et z, est inclus pour chaque point). Ces trois chiffres correspondent à la position spatiale du point par rapport à un point de référence central, avec les valeurs 0, 0 et 0. Il est courant de parler de «nuage de points».

Pour l'ordinateur, une empreinte optique est constituée d'une série de fichiers. Plus le nombre de points est élevé, plus le fichier est volumineux; plus la précision est grande, plus le nombre de points nécessaires est important, car la distance entre les points sera plus petite. Pour une capture précise à 10 microns, l'ordinateur enregistre des millions de points. Si l'empreinte optique nécessite 3000 vues par seconde, comme dans le cas des scanners IR, nous parlons de centaines de millions de points pour reproduire avec précision un arc dentaire.

Cela explique pourquoi les scanners intra-oraux ne sont devenus que récemment une option viable. Un ordinateur capable de gérer de nombreux calculs était jusqu'à récemment très coûteux - en tout cas trop cher pour notre secteur d'activité.

Mais comment les scanners intrabuccaux 3D peuvent-ils mesurer avec précision?

Nous voilà au cœur du sujet ! Comment mesurer la position exacte de ces points dans la bouche afin de reproduire une partie ou la totalité d'une arcade dentaire?

En dentisterie aujourd'hui, il existe deux techniques principales pour prendre des empreintes numériques. Il existe la technique de micro-palpation (telle que Procera ou Cadim) et les empreintes optiques (tous les autres systèmes d'empreinte CFAO). Alors que pour les techniques d'empreintes traditionnelles, il existe plus de 40 systèmes disponibles pour la prise d'empreinte, les empreintes numériques restent un sujet plutôt confidentiel. À ce jour, nous en avons trouvé sept disponibles sur le marché.

Mettons ça au clair tout de suite. Les empreintes par micro-palpation sont particulièrement lentes. Pour cette raison, ces techniques ne conviennent pas vraiment aux empreintes intra-oraux, malgré plusieurs essais (Mushabac ou Rekow). Le moindre mouvement lors de la prise d'empreinte peut conduire à des erreurs de référence irrémédiables. Les choses sont assez différentes avec les empreintes optiques. Ces techniques sont beaucoup plus

rapides et la manipulation des appareils est relativement simple. Pour ces raisons, les empreintes optiques sont devenues populaires auprès des cliniciens qui souhaitent passer au numérique.

Cela a pris assez longtemps dans le secteur dentaire, non pas parce que les techniques n'étaient pas au point, mais parce que certains critères devaient être résolus par le biais de développements scientifiques. Les facteurs essentiels comprenaient la puissance de calcul informatique, la précision du CCD, la miniaturisation des lentilles et l'éclairage offrant un bon rapport qualité / prix.

Il existe aujourd'hui différentes techniques de prise d'empreinte optique pour mesurer une arcade dentaire; les plus populaires sont :

- 1) Les principes de la triangulation, y compris la stéréoscopie, et
- 2) Les principes que l'on peut appeler «intensité de vol», pour établir un parallèle avec la technique bien connue appelée «temps de vol».

A. Scanners intra-oraux et triangulation

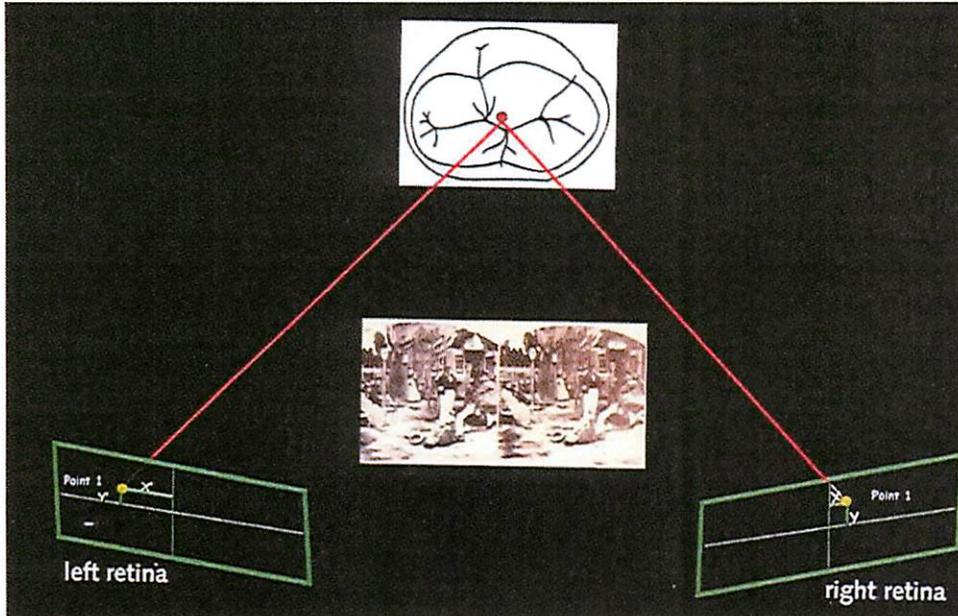


Figure 1 - Vue stéréoscopique au niveau de l'œil humain

C'est la technique la plus simple et la plus connue. C'est aussi la plus utilisée en dentisterie. Le principe est de reproduire la vision humaine, binoculaire... avec quelques ajustements.

Comme le montre la figure 1, le même point d'une arcade dentaire, comme un point de cuspide, n'aura pas la même position sur la rétine de l'œil droit (x & y) et sur celle de l'œil gauche (x' & y'). Le cerveau est instinctivement capable de trouver ces deux points (appelés points homologues), d'observer les différentes positions sur les deux rétines et de déduire la distance qui sépare l'œil de ce point.

En observant tous les points d'une arcade dentaire, il peut construire une vue en 3D. Mathématiquement, calculer cette distance (z) est un calcul trigonométrique simple que tout ordinateur peut effectuer rapidement.

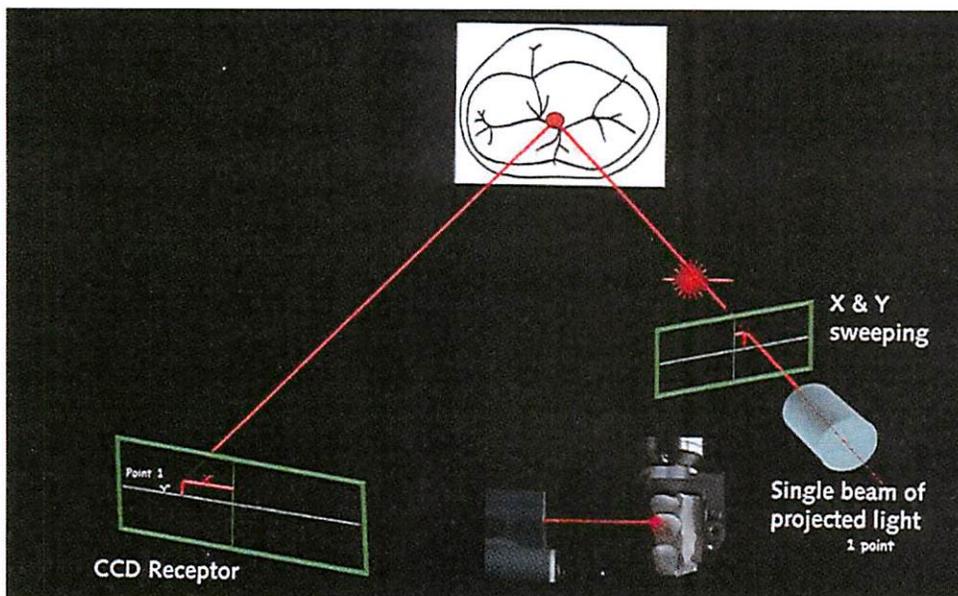
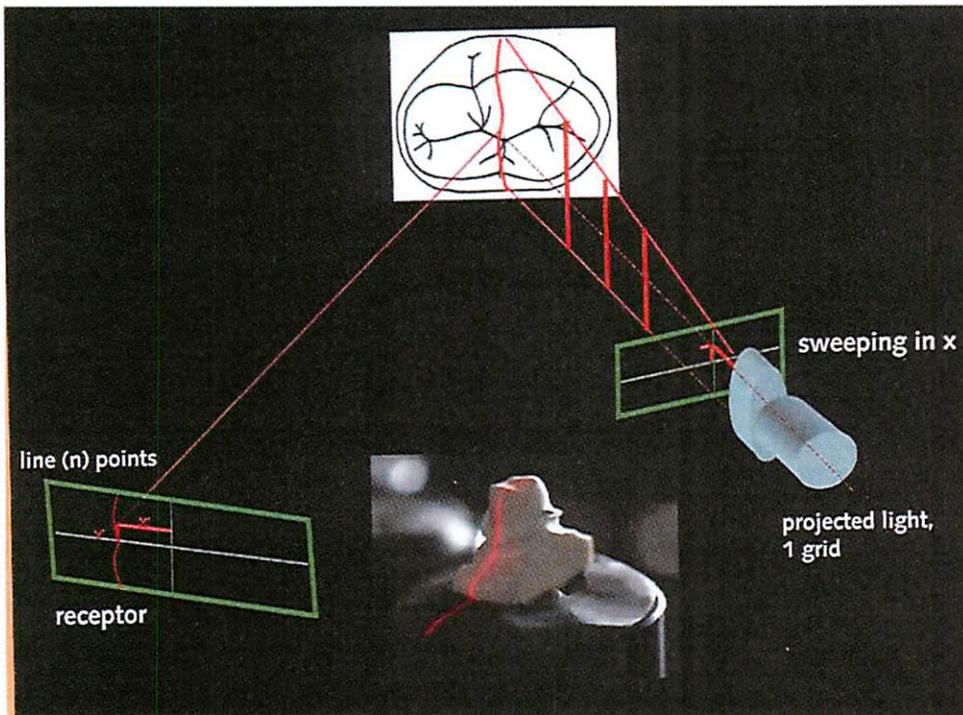


Figure 2 - Triangulation par balayage à faisceau unique

Comme c'est plutôt sombre dans la bouche et que la recherche de points homologues n'est pas particulièrement aisée, en particulier sur les surfaces lisses, blanches et brillantes, les scanners à empreintes numériques remplacent le deuxième œil par un faisceau de lumière (laser). En figure 2, nous pouvons voir les deux distances (x & y) et (x' & y') vues sur la rétine. L'ordinateur connaît la distance (x et y) car elle dépend du balayage du système mécanique prédéfini en usine. Il lui suffit de mesurer la position (x & y) du faisceau lumineux sur le CCD afin de trouver, avec le même calcul trigonométrique, la valeur de (z) qui correspond à la troisième dimension - la distance du CCD du point d'objet.

Cette technique de balayage (ou de scannage) en un seul point est trop lente pour être appliquée en bouche, car le moindre mouvement introduirait des erreurs de calcul. Il ne peut être utilisé qu'avec les scanners de table, où le modèle en plâtre ne risque pas de se déplacer pendant que le faisceau de lumière le scanne.



Pour le balayage intra-oral, l'utilisation d'une grille ou d'une rangée de faisceaux laser (Fig. 3) est désormais préférée. Lorsqu'elle est utilisée en conjonction avec les nouveaux systèmes de balayage motorisé ultra-rapide (piezo), il est possible de capturer plus de 3000 images par seconde.

« Plus de 3000 images peuvent être capturées par seconde. »

Figure 3 – Triangulation par balayage sur une ligne

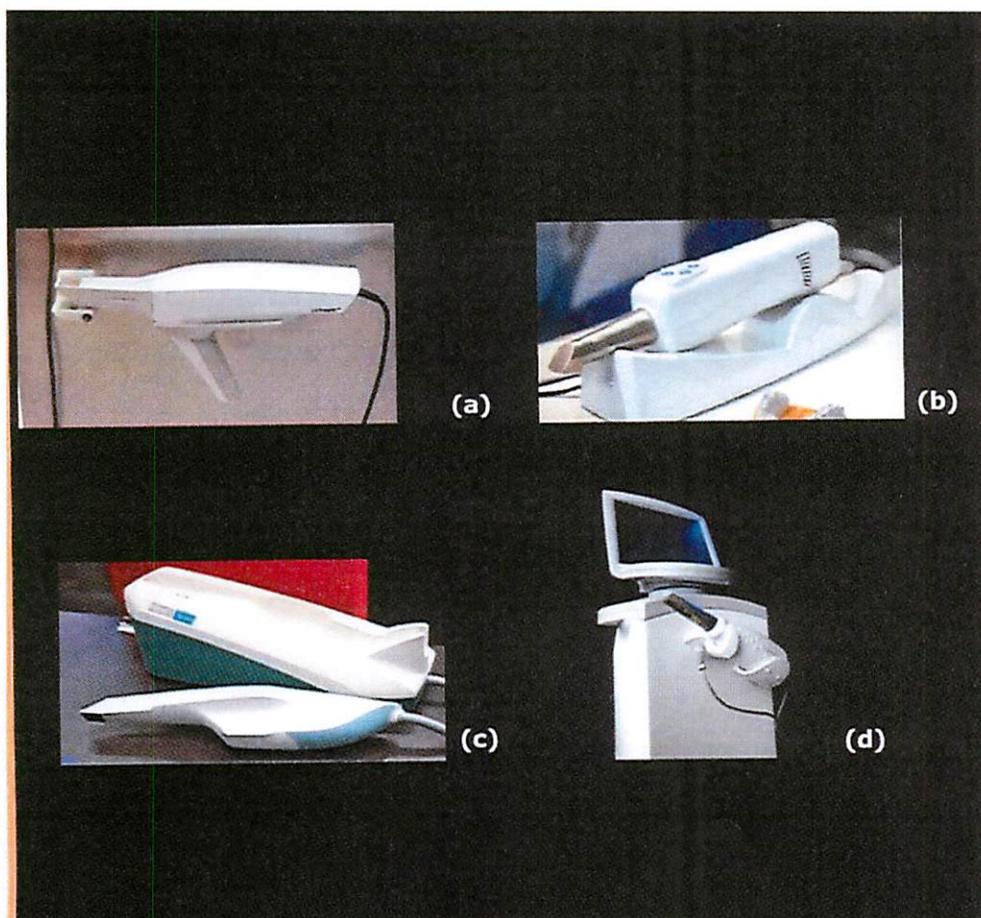


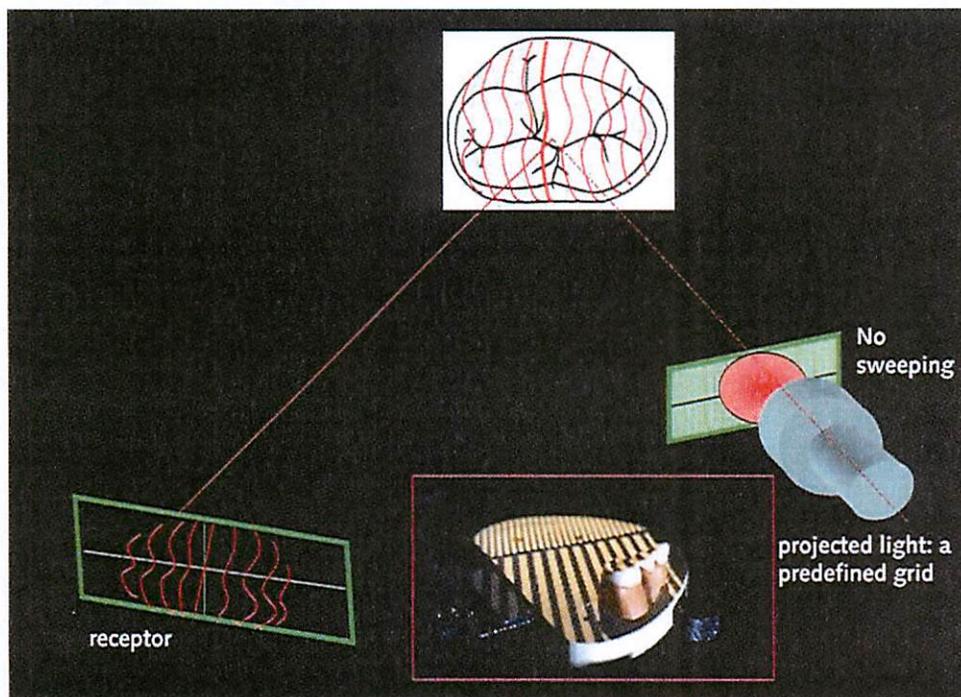
Fig.4 : Scanners à balayage de grille: 3 Shape (a), Cyrtina (b), HintEls (c) et Ios (d).

Le principe de balayage de grille se retrouve dans des scanners tels que l'ios, le 3Shape, le Cyrtina ou le HintEls (fig. 4). En général, ces scanners projettent une grille (ou une rangée) de faisceaux laser rouges ou bleus qui balayent continuellement l'arcade dentaire. La saisie des données, c'est-à-dire l'enregistrement du profil de la grille sur le CCD, se fait sous la forme d'une série de prises de vues rapides, ce qui laisse une plus grande liberté de manœuvre aux praticiens. Ils doivent simplement déplacer la pièce à main de la surface de l'arcade dentaire pour construire et développer l'empreinte numérique. Cette technique s'appelle une empreinte numérique dynamique.

La corrélation des vues, c'est-à-dire la superposition des vues les unes après les autres pour ne représenter qu'un objet, est rendue possible par la combinaison de deux concepts complémentaires. Le premier concept consiste à capturer le profil maximum avant de déplacer le scanner (pièce à main). Cela est possible car les prises de vues du scanner sont

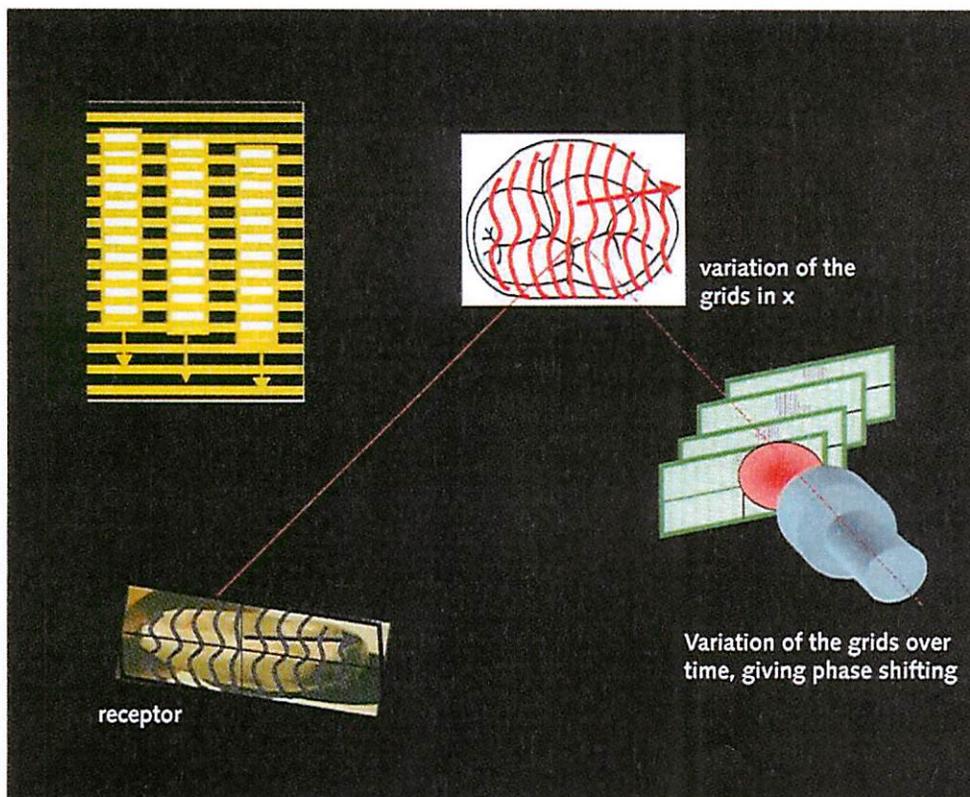
rapides et nombreuses. Le deuxième concept consiste à maintenir un chevauchement constant (un chevauchement minimum de 1/3 est habituel) entre les deux vues. Cela reste possible si l'opérateur ne déplace pas le scanner trop rapidement.

Scanners intra-oraux



Il existe différentes variantes de développement de cette méthode de projection d'une grille de faisceaux laser. Certains systèmes en cours de développement projettent une série de grilles parallèles identiques (Fig.5), tandis que d'autres projettent plusieurs grilles parallèles sous des angles différents à la fois (recherche de B. Altschuler). Le principe reste le même, mais avec ces variations, nous pouvons accélérer la prise d'empreinte et améliorer la précision.

Figure 5 - Triangulation par projection de grill



Le système Cerec offre une variante intéressante. Une grille étroite de faisceaux laser (entre 10 et 50 microns, selon le système) est toujours projetée. Cependant, elle est statique et est projetée sans balayage. Ensuite, avec le scanner toujours immobile, la grille laser est légèrement déplacée sur l'arcade (en dentisterie, la distance est de $\pi/2$) (Fig.6). Cette méthode s'appelle la mesure 'par déphasage'. Une vue 3D est construite en utilisant au minimum 3 ou 4 images capturées dans différentes grilles. Le patient ne doit pas bouger pendant la capture d'image. Cependant, la vitesse à laquelle les scanners intègrent les images capturées sur le CCD est extrêmement rapide, l'opérateur peut alors déplacer le scanner et le redémarrer. Comme il ne s'agit pas d'un film, mais d'une série de prises de vue individuelles, cette technique est appelée «empreinte optique statique».

Figure 6 - Interférométrie électronique par déphasage

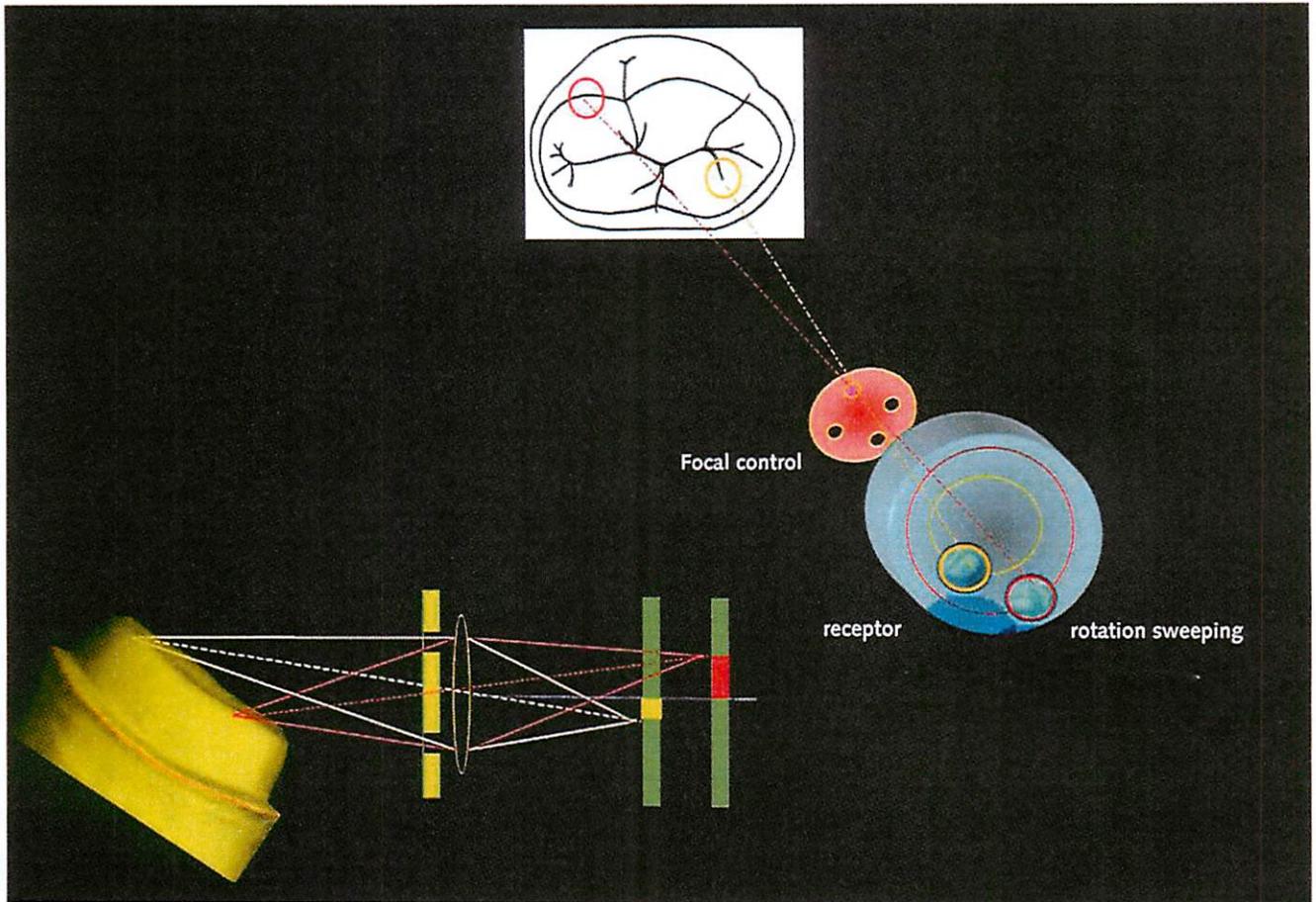


Figure 7 – échantillonnage actif du front d'onde
(AWS – Active Wavefront Sampling)

B. L'étude de cas : Le Lava COS

Le Lava Cos est un cas à part. Il s'agit du premier scanner d'empreinte numérique dynamique en dentisterie. Il a été développé par le MIT de Boston et utilise les principes de l'échantillonnage actif (AWS), qui combinent les avantages de la triangulation avec la focalisation/défocalisation des machines télémétriques (Leica) et de l'axe de vision (presque) associé à l'axe de projection. La conoscopie du nouveau scanner de table Procera prétend à cela également – à juste titre-. C'est un programme bien pensé et particulièrement efficace.

Le scanner est esthétique et les principes AWS adoptés lui permettent de ne pas être trop encombrant en bouche (fig. 7). La technique de balayage intra-oral consiste à viser une zone très spécifique de l'arcade dentaire et à développer la clarté de cette petite zone; comme la surface est petite, la profondeur de champ est réduite, de même que les erreurs de calcul possibles (z). Le calculateur mesure le mouvement de la lentille pour aller du point zéro au point de clarté. Ce mouvement, identique à celui utilisé pour la mise au point avec une caméra, indique la différence entre le CCD et la petite surface enregistrée sur le CCD (ce qui explique le principe appelé focalisation / défocalisation). Avec Lava Cos, le principe est fondamentalement le même, bien qu'il soit un peu plus compliqué car la distance est calculée en fonction de l'axe visé pour utiliser la position de l'image sur un disque en rotation. L'arcade dentaire doit simplement être scannée, zone par zone, afin de construire progressivement le modèle virtuel. Le nom «empreinte optique dynamique» est plutôt approprié.

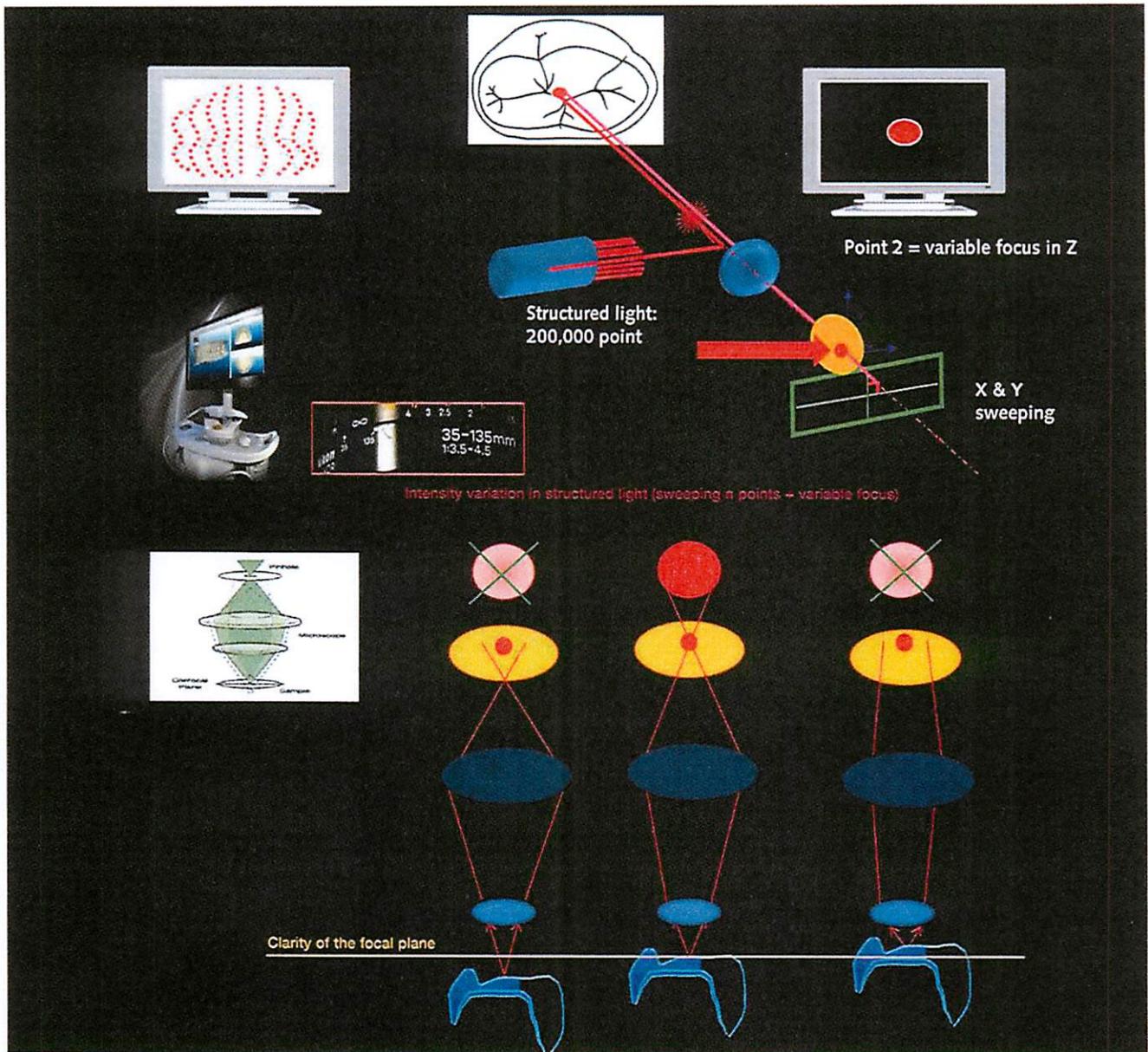


Figure 8 – Le système Cadent / Itéro ou concept d'intensité de vol

C. Scanners intra-oraux et intensité de vol

Cadent (Fig. 8) est la seule entreprise à avoir évolué d'un système de déphasage (développé par Henson et Cerec) à un «Flight Intensity System».

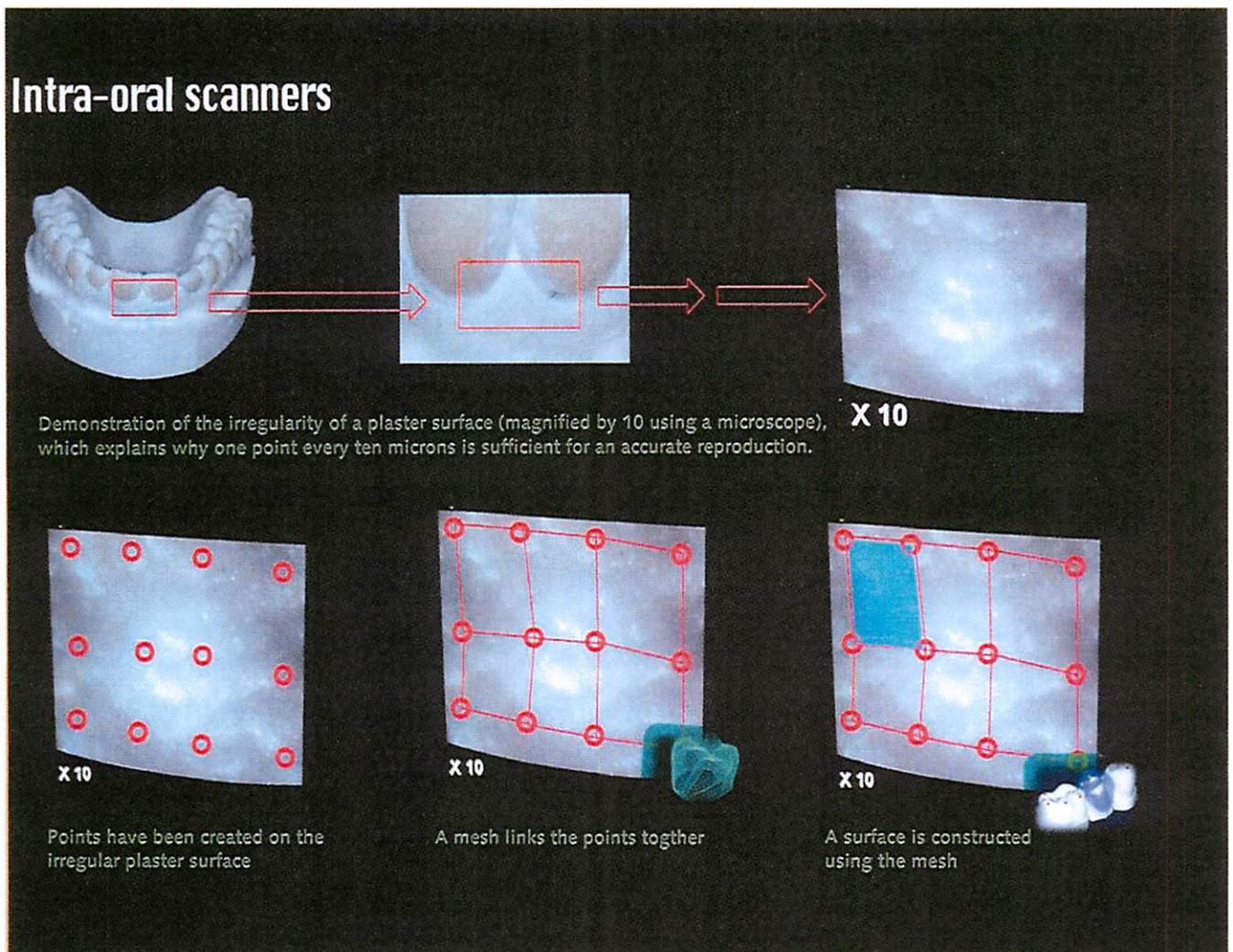
Cette décision rend le Straumann Scanner Itero particulièrement original. Le principe est de projeter une multitude de faisceaux (entre 100 000 et 300 000) sur l'arcade dentaire. Chacun de ces faisceaux laser rebondira lorsqu'il atteindra une surface et sera renvoyé au CCD ("dispositif à transfert de charge" en français). Un système de lentilles absorbantes déplace le point focal, c'est-à-dire scanne la profondeur du champ, depuis le point le plus bas (la gencive) au point le plus haut (les régions cuspidés).

Si un rayon de lumière est réfléchi par la surface et est bien focalisé, il sera suffisamment puissant pour traverser le «filtre d'intensité sélective». Si le rayon de lumière est trop faible, il sera alors détruit.

Cela peut être comparé à la combustion d'une feuille avec une loupe - le faisceau de lumière est flou et n'est pas assez puissant pour brûler une feuille, mais au centre, il est plus petit, concentré et assez puissant pour brûler ... Dans ce cas, le rayon de

lumière disparaît quand il est flou, tandis que quand il est net, il traverse le filtre, qui représente une ouverture de la taille d'un trou d'épingle, et il active alors le CCD.

Le résultat est une sorte de coupe transversale de l'arcade dentaire, déterminée par l'intensité de la lumière réfléchie. C'est une méthode rapide et précise. Il n'est pas nécessaire de recouvrir de poudre blanche étant donné que les seuls rayons qui pénètrent sont d'intensité élevée.



« La fin de la double empreinte... ! »

Figure 9 – Construire un modèle virtuel basé sur un modèle en plâtre.

Le nombre de points utilisés créera une surface d'irrégularité comparable à celle de la surface en plâtre

Quelques indications :

La précision à l'écran n'est pas celle de l'empreinte (Fig. 9) : afin d'avoir une vue rapide à l'écran et informer l'opérateur de la qualité de la numérisation, une vue simplifiée est affichée à l'écran en temps réel. Cette vue utilise seulement un point sur trois ou cinq pour créer le modèle à l'écran. Cela accélère le processus et est à peine perceptible à l'œil nu. Bien entendu, le logiciel de modélisation utilisera tous les points.

Le coating (poudrage) n'empêche pas les faisceaux de lumière projetés de pénétrer dans la dent et de limiter la précision. Mais cela ne pose pas de problème, car les faisceaux qui pénètrent dans la dent ne sont pas réfractés ou, s'ils le sont, seront si faibles par rapport aux faisceaux réfléchis qu'ils ne pourront pas influencer le résultat.

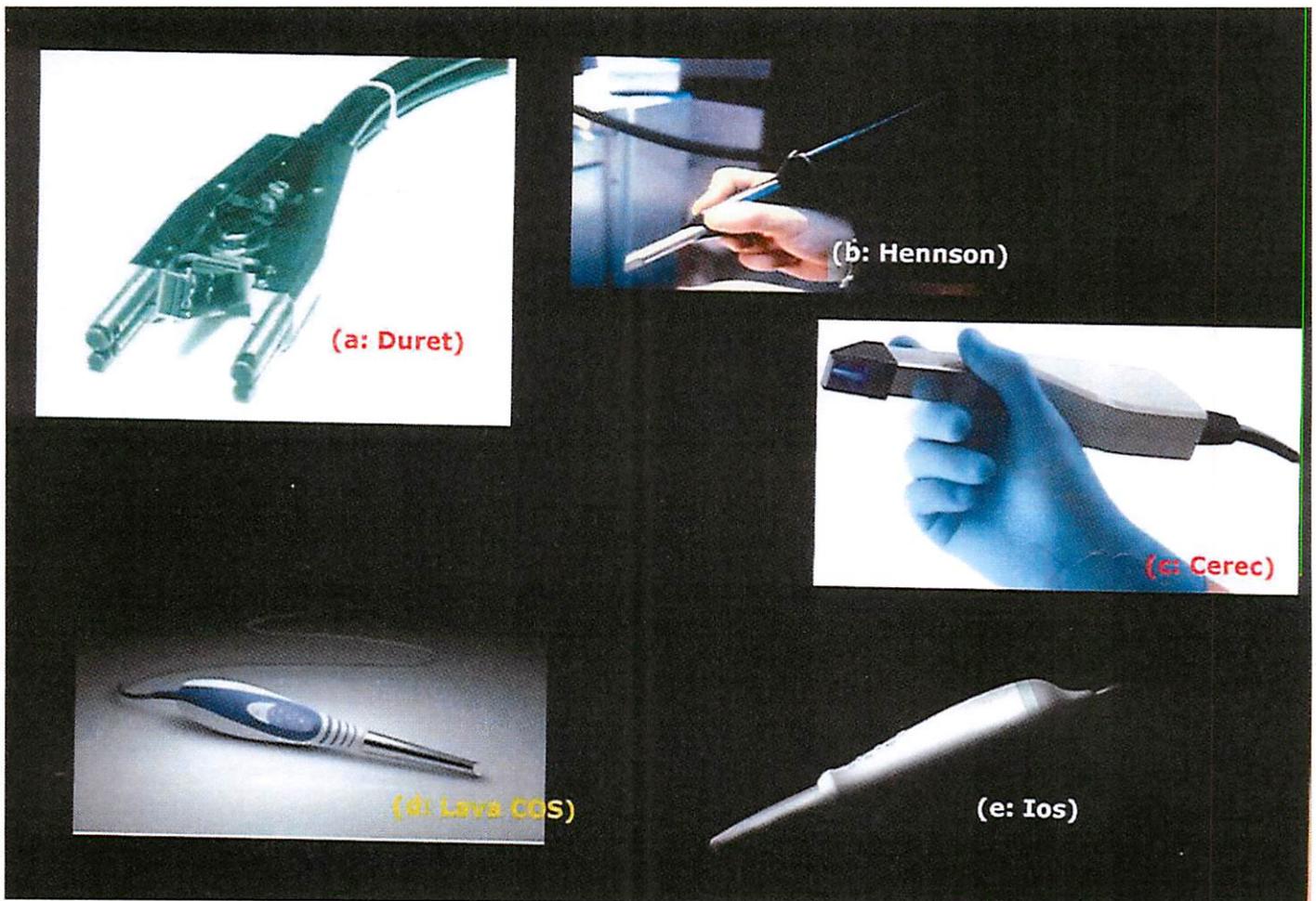
Scanners intra-oraux

Le coating sert à la fois à limiter les variations de couleur potentiellement gênantes dans la bouche (ce qui n'est pas le cas lors du scannage avec une technique de déphasage) et, surtout, à garantir que des influences perturbatrices (telles que des bruits légers ou électroniques) ne perturbent pas les points, les lignes ou les grilles de lumière projetées sur les dents puis réfléchies par celles-ci.

La quantité de poudrage utilisée pourra être réduite si des faisceaux de lumière bleue sont utilisés, car cela donnera aux dents un aspect plus crayeux (pensez aux dents sous UV dans une boîte de nuit ...). Cependant, les capteurs CCD sont moins sensibles à ces ondes lumineuses. À l'autre bout de l'échelle, les capteurs CCD sont très sensibles à la lumière rouge, mais les points auront tendance à s'étaler. À vrai dire, ce n'est pas très important étant donné que le logiciel calcule le centre du point en utilisant une itération mathématique et utilisera uniquement le point central pour construire les surfaces.

Enfin, sachez que le nouveau logiciel, présenté dans Lava COS 3M en 2007, permet de repositionner de nouvelles données dans un scan plus ancien. Cela se fait par la reconnaissance anatomique des éléments présents à la fois dans l'ancien et dans le nouveau. Ceci est fondamental car cela signifie que vous pouvez stopper le scanner et le reprendre à tout moment, pour compléter un scan imparfait ou pour déplacer un sulcus à peine visible.

Cela annonce la fin des doubles empreintes ! Cela signifie également que vous pouvez corrélérer une arcade supérieure et une arcade inférieure (occlusion) et les placer dans un articulateur virtuel. Aujourd'hui, c'est en mode statique, mais demain ce sera dynamique, comme nous l'avions montré en 1987 avec Access Articulator !



"Le flux lumineux sera transformé en information électrique ...
... L'empreinte est devenue numérique."

Fig. 10 - L'évolution des caméras intra-orales sur 30 ans: 1982 (a), 1985 (b), 1992 (c), 2007 (d), 2011 (e)

Conversion de l'analogique au numérique

L'étape suivante consiste à convertir ces données analogiques collectées en fichiers numériques.
Mais c'est une autre histoire !

Le flux lumineux sera transformé en informations électriques en mesurant la quantité potentielle de capture de la lumière (en fonction de l'intensité lumineuse) dans chaque pixel de la surface active du CCD. La quantité d'électricité nécessaire pour rétablir le potentiel de capture de la lumière et ramener le pixel à sa valeur initiale nous dira si le pixel a reçu de la lumière. C'est cette quantité (niveau de gris), ou le choix de la lumière reçue : oui / non (noir / blanc), qui sera la valeur numérique conservée et la base de la conversion numérique.

Nous avons bouclé la boucle, les conversions analogiques (lumière) et numériques (nombre) ont été effectuées, l'empreinte est devenue numérique.

Cela aura pris 40 ans depuis que nous avons commencé à travailler dessus ...

Par François Duret