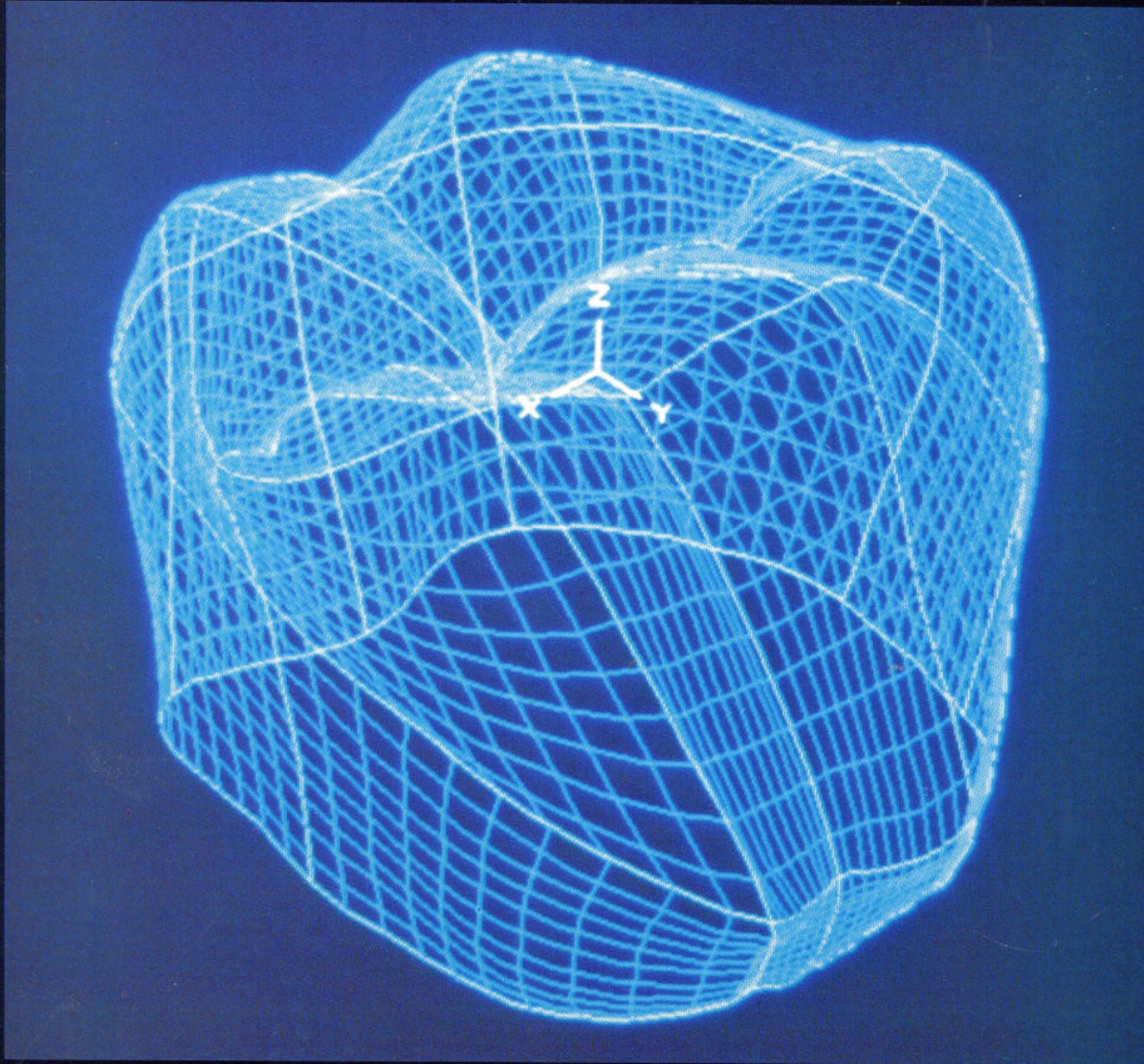


JADA™



CAD CAM in dentistry

After a long period of research, computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD-CAM) in dentistry has become clinically applicable. This article is exclusively aimed at the clinical practice of dentistry. Setting aside scientific considerations, the practitioner will learn, through this paper, how the system is used.

CAD-CAM in dentistry

Francois Duret, DCD, DSO, MS, PhD
Jean-Louis Blouin
Bernard Duret, CD

A series of closely linked steps are required to make a fixed dental prosthesis. After any preparation, the dentist must take an impression of the prepared tooth, together with adjacent and opposing teeth, using elastic impression material. This impression is used to obtain a hard stone model, and a wax pattern of the crown or inlay is carved. The actual cast restoration is obtained by using the "lost wax method."

Regardless of the advanced state of this 300-year-old technique, information must still be transferred by hand from the impression to the finished crown via a series of materials, each of which may induce error in the final castings. This system of casting does not allow us to take advantage of tremendous advances in computers and robotics. For these reasons, we introduced CAD-CAM technologies to the dental profession in 1971.

Early studies have been more experimental and theoretical than clinical.¹⁻⁴ Although these outstanding works have been consulted, we have stressed the clinical aspects of application rather than the fundamental.^{5,6}

In 1979, Heitlinger and Rodder,⁷ followed by Moermann and Brandestini⁸ in 1980, began to share this approach. The former researchers milled the equivalent of the stone model used by a dental technician to make the crown, inlay, or pontic, while the latter team took a single picture and milled only the internal surfaces of the inlay. During

the next 5 years, little was heard. The first dental CAD-CAM prototype was presented at the Garanciere conference (France) in 1983,⁹ and the first crown was publicly milled and installed in a mouth without any laboratory involvement in 1985.¹⁰ Though 1985 was a decisive year for computer-aided dentistry, there was still a long way to go. Several engineers took 2 hours⁵ to operate the first usable system in a dental office. Nevertheless, this demonstration at the French Congress¹¹⁻¹³ vindicated principles established 14 years earlier.

Two new names appeared at this time, the Aoki team in Japan¹⁴ and Diane Rekow at the University of Minnesota.^{15,16} Dr. Rekow chose a photogrammetric method to acquire the third dimension

and used the principle of the theoretical tooth, which we had established earlier,⁵ for her second and third steps. It should also be mentioned that Reggie Caudill, at the University of Alabama,¹⁷ started a project aimed in the same direction.

In this paper, a system that is already functional in dental offices in France—the Duret system, developed by Henson International (Los Angeles) under our direct supervision—is described.

Equipment needed in dental office

Instead of using a physical model (die) to acquire and transmit information, the CAD-CAM system uses a three-dimensional probe system, surface modeling, and screen display, and an automatic

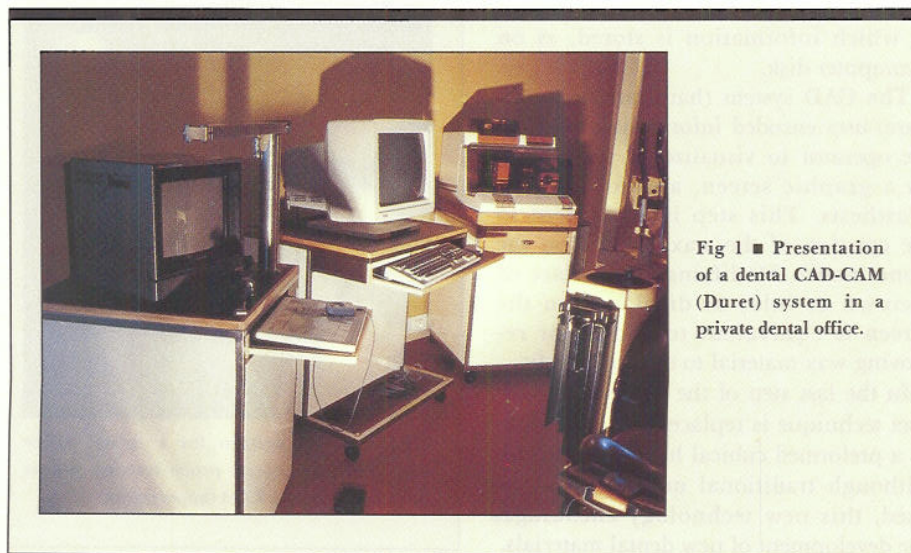


Fig 1 ■ Presentation of a dental CAD-CAM (Duret) system in a private dental office.

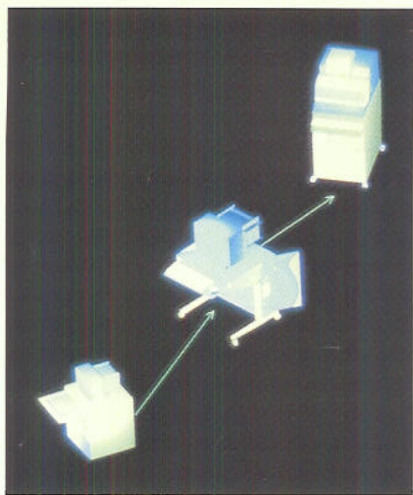


Fig 2 ■ Drawing of a system consisting of, left to right, a probe, a CAD system, and a machine tool.

milling machine. Exchanges and transformations of information from one material to another during which precision may be lost, are thus limited.

An electro-optical method is used to obtain the "impression" (that is, the necessary three-dimensional information).¹⁸ This method combines holography¹⁹ and Moire²⁰: the light carries volumetric information, which is digitized by camera and fed into the computer. The resulting data are stored by the computer. Because all of the variables contained in a single impression (more than 1 million values for three teeth) cannot be measured, dentists had to use visualization. They understood quickly that measuring and reproducing with a model are identical functions. The only difference between an optical and a traditional impression is that the former uses numerical values in place of a physical model. The stone model or die is thus analogous to a memory system in which information is stored, as on a computer disk.

The CAD system (hardware and software) uses encoded information to allow the operator to visualize an impression on a graphic screen, and to design a prosthesis. This step is equivalent to the creation of the wax pattern on the stone model. Modifying the surface of a crown or inlay as displayed on the screen is equivalent to adding or removing wax material to or from the die.

In the last step of the process, the lost wax technique is replaced by the milling of a preformed cubical block of material. Although traditional materials may be used, this new technology encourages the development of new dental materials.

The CAD-CAM system includes three parts, which correspond to the three basic steps of the process:

—First, a device is used to input the existing dental shapes into the system. This device includes a laser source (diode) which, through the first endoscope, projects light on the desired picture area. A second endoscope, adjacent to the first, allows a camera to take pictures in the mouth. This camera is connected to a system that digitizes the information and correlates the different views (Fig 1).

—Next, the CAD system, including all necessary hardware and software, allows the operator to create an electronic model of the impression, display it on the screen, and use it to design the prosthesis. The CAD system is linked to a proprietary articulator, called the Access Articulator, which provides the data relating to the dynamic movements of the jaw.

—Third is the CAM system, which includes a numerically controlled machine tool with four-axis capability. This machine will automatically mill the prosthesis from conventional or special materials.

These three parts can be linked in several different ways. Three possible configurations are presented:

—A complete system may be used in a dental office with a single operating room. The optical probe system should be located near the dental chair; the CAD-CAM parts should be placed in another room. This configuration allows for immediate milling of the prosthesis while the patient is still under local anesthesia. It is possible to reduce costs if several

practitioners share the system (Fig 2), which could be installed in a specified area, as was done in the past with X-ray equipment.

—A dental office with several operating rooms may have one CAD-CAM system installed in a separate room, whereas each chair would have its own optical probe system. Although somewhat more expensive, this configuration eliminates the necessity of moving the patient to the equipment or of waiting to use the system. It is also possible to connect a second machine tool to the system, thereby greatly increasing the number of prostheses that can be done in a single day (Fig 3).

A dentist who is equipped with an optical probe in a remote location could have access to the CAD-CAM system either through the phone line (with a modem) or by sending a picture-containing floppy disk to the home base of the computer and the micro-milling machine, whether a dental office or dental laboratory.

A dental laboratory may be equipped with one or several CAD-CAM systems, and dentists are equipped with the optical probe system. Data between the two are transferred as described (Fig 4).

In all cases, the dentists can personally handle all the operations of the system after a training period of only a few days. A large dental office equipped with several probe systems may find it logical to have an assistant responsible for the CAD-CAM operations. In fact, different office setups and procedures may easily be envisioned, depending on the interests and preferences of staff members. As a

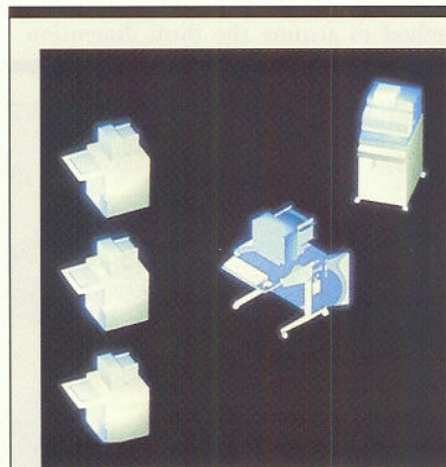


Fig 3 ■ Configuration for a dental office equipped with several probe systems; probes (left), CAD (center), CAM (upper right).

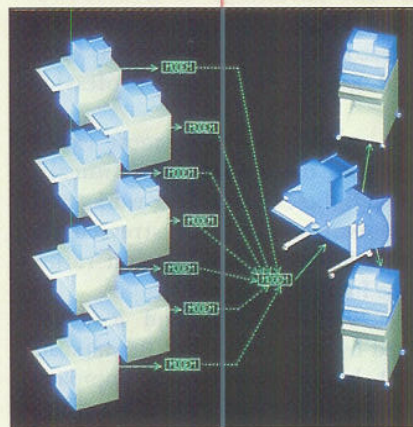


Fig 4 ■ Mixed configuration showing dental offices linked via modem to a production center (laboratory).



Fig 5 ■ Optical probe (right).

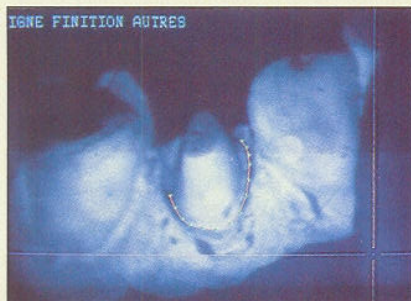


Fig 6 ■ Tracing of the margin on the video screen.

production tool, the CAD-CAM system will thus offer greater internal flexibility to the dentist.

Clinical production of crown

The production of a fixed prosthesis with a CAD-CAM system, regardless of its configurations, includes a series of simple and precise steps that are the same for crowns, inlays, or bridges. The process may be divided into seven steps—some clinical, others theoretical.

Preparation of the tooth

The preparation of the tooth for a CAD-CAM crown does not require methods and rules that are different from those used today. The traditional rules of sparing dental tissue, retention, and stability of the future crown to maximize the life span of the prosthesis are still followed. It is wise to avoid proximal surfaces that are too vertical when the space between teeth is small, and occlusal planes containing deep grooves that will cause projected shadows on the video screen. For a clear continual view of the finish line of the crown preparation on the video screen, some operators prefer to use a chamfer with or without a shoulder.

Preparation of the impression area

For optimum visibility of the sulcus, the impression area must be cleaned of all debris, water, blood, or saliva, as required for a conventional impression, even if a light source is developed that is capable of penetrating the buccal fluids and selectively reflecting on the tooth surface. Moreover, drying and gingival retraction with conventional methods are desirable. Retraction must be routinely used if the crown finish line is more than 1 mm below the free margin

of the gingiva. Retraction will allow a proper view of the sulcus during the impression; an adequate angle of incidence is necessary between the plane of the tooth and the axis of projection of light from the probe, to obtain three-dimensional acquisition.

The tooth must be dry before any impression is taken with the probe, so that a thin coating of white, nontoxic material can be sprayed on the tooth to enhance the quality of the picture. Light that strikes the uncoated tooth is reflected in part, while the remainder penetrates the structure, thus considerably reducing the quality of the three-dimensional acquisition. It is advantageous to have a regular (Lambertian) reflection on the tooth, as the natural tooth reflection would blind the camera. Special clamps, which include certain references that are recognizable in each view, have been designed to help achieve a good correlation between views. These clamps are placed around the preparation, much like rubber dam clamps, after the tooth has been dried and coated.

The impression

The dentist or an assistant starts the laser and the camera controls. The operator holds the probe like a handpiece, and places it in the patient's mouth to take the pictures. Some operators use a suspension arm for more comfort. Several views are taken of the preparation, including one buccal view, one lingual view, two proximal views, and one view of the occlusal surfaces of the opposite teeth (Fig 5).

To take these pictures, the dentist moves the probe around the preparation, controls the positioning of the probe on a TV monitor facing him, and activates a foot switch to record the picture.

A final, important view must be taken

with the teeth in occlusion. The patient's masticatory apparatus is placed in an occlusal position of reference, according to the dentist's preference. It could be, for example, either the centric relation or the maximal intercuspal position. Considering that the preceding views have led, like the models of the maxilla and the mandible, to the creation of two objects, the view in centric occlusion will enable the practitioner to determine the relative position of these two objects with a minimum risk of error. It is possible to make this correlation process entirely automatic without taking the view in centric occlusion. But today, it is faster and less costly to keep the process interactive by requiring input from the operator. It must be noted that this last view is also a starting reference point for the analysis of the dynamics of the occlusion.

This third step takes 2 to 3 minutes, depending on the case. After recording each view, the camera is immediately available to take a new view, which ensures the comfort of the dentist and the patient. (The storage of views in the computer's memory is rapid.) After all views have been taken, the probe must be sterilized.

Work on the video model

All views taken are stored in the memory of the computer, as a stone model would be stored in a tagged laboratory pan. Before figuring the computations needed to develop the three-dimensional shape of each view and to correlate the views to obtain two objects in a correct relative position, additional information must be given to the computer.

The complete set of pictures is first displayed on a high-resolution video screen, and each is recalled one by one from the memory so that characteristic zones, such as the contact areas, certain cusps, and the alignment of grooves and cusps of the upper and lower arch, can

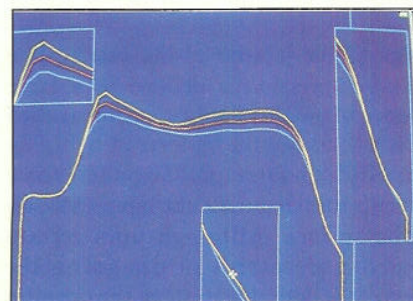


Fig 7 ■ The cement space is created only beyond the margin.

be identified. Identification takes place on the video screen with the help of a mouse and a tablet—input devices that are user-friendly.

One of the more interesting operations is the tracing of the margin. Using a view of the preparation on the screen, the dentist defines a series of points along the desired position of the margin, thereby tracing the line as would be drawn with a fine pencil on the stone die (Fig 6). After completion of this step, the computer automatically calculates the three-dimensional shapes of the impressions and transfers them to the CAD system to design and build the computer model (also called the "virtual model") of the crown.

Design of the crown

The design of a crown with a CAD system is an interesting operation in that it clearly shows the superiority of the CAD-CAM approach over medical imaging techniques such as magnetic resonance imaging or scanners. Three-dimensional medical imaging does not go beyond the development in space of an observed image. As early as 1973, we were explaining that such a representation was of limited interest, and that the power of a medical application for CAD-CAM would be in its ability to design a piece that would replace what was being observed. In dental CAD-CAM, there is a big difference between the initial object (the preparation) and the final object (the prosthesis). It is possible to go beyond the stage of a mere reproduction because prosthetic rules can be integrated in the software. Therefore, a form of creativity called artificial intelligence exists in the dental application as defined in the early 1970s.

The design of the crown includes four stages: design of the interior of the crown; design of the buccal, lingual, and proximal surfaces of the crown; build-up of the occlusal surface; and modification of the shape of the crown.

Design of the interior of the crown. The optical impression is defined by a large number of small picture elements (called "pixels"), as would be seen in a highly magnified photograph. Together, these elements form a mosaiclike representation of the surface. Although only certain elements are useful in designing the crown, it is desirable to show the operator a complete model on the screen, including the preparation and the margin.

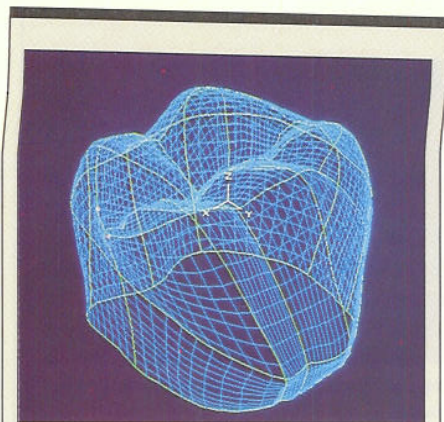


Fig 8 ■ Mandibular right first molar retrieved from the library of theoretical teeth.

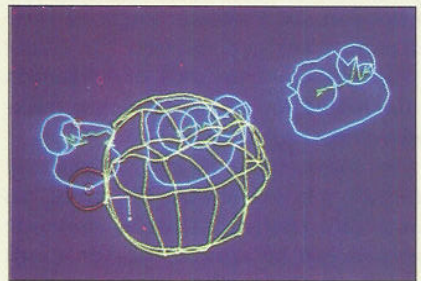


Fig 9 ■ Optical wax-up evaluation of the occlusal surface.

A computer (virtual) model may be viewed from different angles, just as a physical model. Buccal, lingual, or perspective views may be displayed instantly on the screen. Among the latter, the axonometric view will be widely used, as it is the easiest to understand.

The operator can recall to the screen, at any time, the views of the adjacent and opposite teeth, although there is no need to do so at this stage of the procedure.

The system displays a menu of actions that may be executed. The menu is executed from top to bottom in a simple, strict order; it is impossible to skip over an operation. Although a short procedure exists to design a crown without any intervention, it is more interesting to describe the interactive method, because it is more precise and provides better control over the successive operations.

The operator checks the impression and the margin, which may be modified if an error or imperfection is detected. The display of one of four points is sufficient. As the hidden lines and surfaces have been automatically removed by the system, it is possible to work as with a stone model (Fig 7).

When the display is deemed correct, a value is entered for the desired cement

space, and the interior of the crown will be automatically generated, starting with the margin line. No cement space enlargement is applied to the margin (Fig 7).

Design of the buccal, lingual, and proximal surfaces of crown. The crown to be designed is first retrieved from the memory bank of theoretical teeth stored in the computer. A special program builds a set of contours that will allow for esthetic modification of the shape of the theoretical tooth (Figs 8, 9).

The program first modifies the theoretical shape to fit the existing morphology while respecting the buccal and lingual curvatures, the alignments of the grooves and cusps, and the contact areas of the arch. The operator may make additional modifications; for example, change the shape of the lingual or buccal surfaces, or create a diastema between adjacent teeth. Any contour line may be moved to achieve the desired result.

Use of a theoretical library of teeth allows the anatomy recognized by anatomists to be respected. With the interactive editing capabilities, the practitioner can personalize anatomy as desired. The deformation of the tooth, taken from memory in the environment of the patient, results in a custom crown. This operation may be compared with the development of a wax pattern in which the technician uses the shape of the tooth that he has, from experience and memory, to sculpt it on the physical model (die).

Build-up of the occlusal surface. This operation could justify a separate article. We describe it briefly without expanding on the dynamic analysis.

The term "build-up" is used to emphasize that the CAD design is much like the "wax-up" technique used in the laboratory. The occlusal surface is roughly aligned according to the opposite grooves and cusps, after the wax-up technique of Lundeen,²¹ or according to the adjacent teeth. The choice is defined by the operator. To have a correct "build-up" of the centric points of the crown on the opposite centric points, their positions are first proposed to the operator on the basis of a theoretical arch corresponding to the opposite arch. These points can be freely moved to obtain a cusp-to-fossa or cusp-to-marginal ridge occlusion. In addition, the choice between functional and gnathologic options allows the morphology of the contact (centric freedom or tripod blockage) to be defined. The CAD system

does not impose a concept but leaves choices open to the practitioner.

When these elements have been defined, a program projects the cusps and the grooves of the crown onto the opposite teeth, according to Lundeen's technique. Functional occlusion is achieved with the use of a specially designed articulator.

Modification of the shape of the crown. If the shape is not satisfactory, the practitioner may modify the shape by moving a point or retracing a contour. It is also possible to raise a cusp (although care should be taken with the resulting occlusion) or to create a diastema (Fig 10).

In all cases, it is sufficient to indicate which point must be moved and to show its new position. The software reshapes the tooth while respecting the rules of esthetic dentistry. For this operation, a specific interactive program was developed that does not require computer experience. The result compares to the work on the wax pattern of the physical model. Adjacent and opposite teeth may be displayed at the same time, and their presence on the screen is often helpful.

Milling the prosthesis

The milling of the prosthesis is performed on a robot. This robot is a micro-milling machine (28 × 20 × 20 in) with four-axis machining, coolant, and automatic tool-change capabilities. All fixed prostheses can be milled with eight tools placed on a rotating disk near the spindle.

The machine retrieves them automatically according to the machining program. Before starting a cycle, the condition of the tool is checked automatically (Figs 11, 12).

To start the milling process, the block of material must be installed in the machine and the start button must be

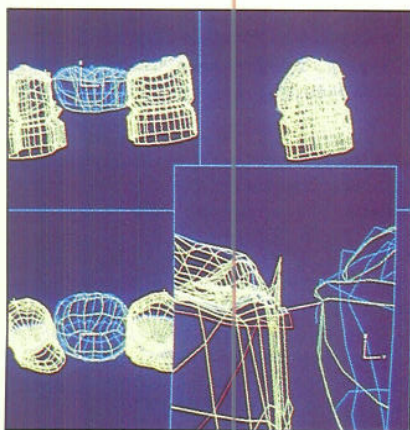


Fig 10 ■ The dentist can create a diastema on the model.

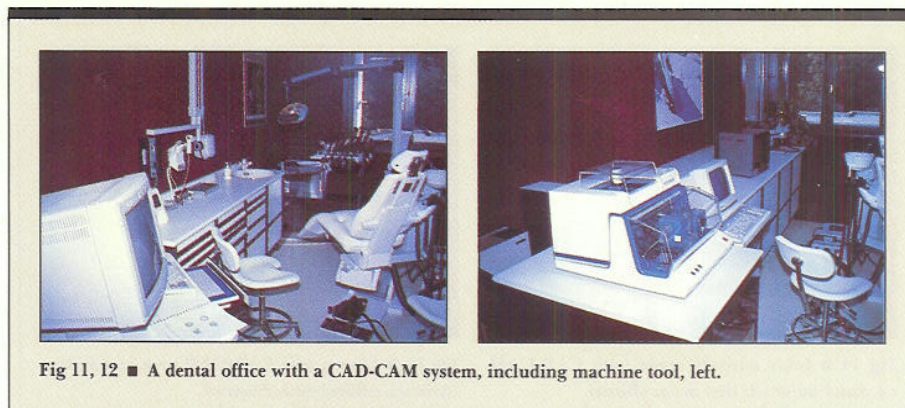


Fig 11, 12 ■ A dental office with a CAD-CAM system, including machine tool, left.

pushed. The process is automatic and delivers a crown that is ready to be polished and colored, with an accuracy of fit that meets accepted dental standards in the United States. The operation includes two phases: computation of tool paths and execution of milling.

Computation of the tool paths. Each tool is basically a cylinder or a sphere, removing material progressively to shape the exterior and interior of the crown. The software computes the path that must be followed by each tool, the feed and spindle speed, and the machining sequence, to permit a smooth, efficient operation.

The software controls not only the tool movements but also technological factors such as coolant, tool changes, or checks for wear. Instructions are read sequentially and translated into electrical impulses that drive the moving parts of the machine tool.

Execution of the milling. This second phase automatically follows the preceding one. After a surfacing operation is completed to take into account manufacturing tolerances of the preformed block of material, the material is rough-cut in the form of a prism corresponding to the line of greatest circumference of the crown. Several tools are used successively to obtain a precise occlusal surface, which is completed by the fine milling of the secondary grooves. A realistic occlusal morphology results. All tool paths are calculated in three-dimensional space.

After the occlusal surface is completed, the material is automatically rotated for the milling of the interior and base of the crown. The interior is milled first to keep a maximum amount of material at the level of the margin. The portion of the exterior buccal, lingual, and proximal surfaces below the margin is milled last (Fig 13).

A precise tool is used to finish the margin because it is obviously the area of the crown that requires the most precision. When this step is completed, the machine removes all waste material, except for two attachment pieces (that may be compared with a sprue) located below or above the proximal contact areas. The operator then removes the crown from the machine.

Coloration

The last step in the production of a CAD-CAM crown is a quick polishing, followed by coloration of the inside and surface of the crown.

Coloration principles defined 20 years ago and recently reintroduced by Dentsply for their Dicor crowns are followed. Although CAD-CAM can mill all traditional dental materials, appealing alternatives exist with Dicor (Dentsply), and Aristee (Spad)—a new ceramic composite with an oriented fiber structure specially designed for CAD-CAM.

A preformed cube of Dicor is placed in the milling machine. After it is milled, coloration is applied as is currently done in the United States.

With Aristee, cement provides the basic color (type A, B, C, or D), whereas surface coloration accounts for local effects. Blue colors, for example, increase translucency at the incisal edge; yellows increase color density of the cervix. More intense



Fig 13 ■ Milling of a three-unit prosthesis.

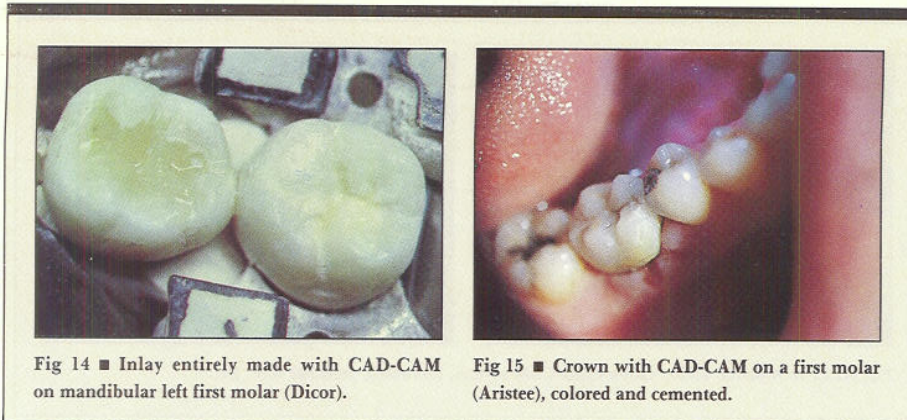


Fig 14 ■ Inlay entirely made with CAD-CAM on mandibular left first molar (Dicor).

Fig 15 ■ Crown with CAD-CAM on a first molar (Aristee), colored and cemented.

colorants have been added to these base colors to simulate grooves or imperfections in the enamel. To maintain this added color for wear resistance, the crown, bridge, or inlay must be fired at 200 C. To facilitate the coloration process and better control the results, a proprietary spectrophotometer (Bertin) can be integrated into the CAD-CAM system.

All that remains is to cement the crown, following standard practice (Figs 14, 15).

Discussion

Great progress in dentistry appears possible with CAD-CAM technology, which uses the most advanced scientific concepts. It is nevertheless necessary to answer practical questions concerning, for example, the accuracy of user-friendliness of the system.

In systems that use CAD-CAM technology, the number of points defining views varies between 50,000 (Moermann) and 16,000,000 (Rekow).

Clinical experience has shown, contrary to intuitive beliefs, that a high number of points is no guarantee of accuracy. Overall accuracy of the object is considerably reduced when different views are correlated. This phenomenon is visible on high-resolution stereoscopic images of small objects.²² On the other hand, it is possible to compensate for the limitation because of the number of points by increasing the number of views (provided the correlation is correct). By working with these two factors, better accuracy can be obtained than is normally achieved in most dental offices and laboratories (the prepared tooth is defined by 200,000 to 400,000 points). The quality of the restoration does not require accuracy greater than 40 μm .²³⁻²⁵ In addition, it must be noted that during the CAD and CAM stages, precision cannot be guaranteed beyond 5 μm

because of the smoothing of curves and the positioning of tools in the milling process. It is therefore necessary to be cautious in terms of precision (not to be confused with resolution) and to realize that to reach a level of precision equivalent to 10 μm , although technically feasible, an uneconomical investment of human, material, and financial resources would be required.

The interaction between the operator and the system has been simplified as much as possible, to a level comparable to the user-friendly aspect of a Macintosh computer, which allows for complete training of the user in less than a week.

Conclusion

The introduction of CAD-CAM in dentistry will influence the direction of clinical practice and research at universities. Results achieved must be analyzed with caution, but the extraordinary speed of development of this technology in industry affirms that it will be rapidly and definitively accepted in the dental profession. Its future evolution could be spectacular considering its numerous possibilities.

JADA

Information about the manufacturers of the products mentioned in this article may be available from the authors. Publication of the names of products or manufacturers does not imply endorsement by the American Dental Association. Because of the French origin of this paper, not all products may be available in the United States.

Dr. Francois Duret is director of the CAD-CAM laboratory and professor, University of Marseilles School of Dentistry, Marseilles, France, where Mr. Blouin is a robotics engineer, and Dr. Bernard Duret is a clinician and researcher in biomaterials. Address requests for reprints to Mr. Jean C. Haas, Hennson International, 11444 W Olympic Blvd, Suite 1050, Los Angeles, 90064.

1. Altschuler, B. Holodontography: an introduc-

tion to dental laser holography. School of Aerospace Medicine AD-758.191:1-29, 1973.

2. Swinson, J. Dental fitting process, US Patent no. 3.861.044, 1973.

3. Garnick, J., and McGivern, R. Error in the photogrammetric determination of volume of small object. *J Dent Res* 2(53):495, 1974.

4. Schmidt, R., and others. Automated crown replication using solid photography. US Army Contract no. DAMD 17.77.C-7041, 1977.

5. Duret, F. Empreinte optique these: 2c cycle, no. 231, 1973.

6. Duret, F. Analyse d'images holographiques dentaires en vue de la commande des systemes automatiques. Congres IRIES, Tours, France, Bois des Hates, 1976.

7. Heitlinger, P., and Rodder, F. Verfahren zur Herstellung von Zahnersatz und Vorrichtung zur Durchfuehrung des Verfahrens. De Patent no. 25911, 1979.

8. Moermann, W.H., and Brandestini, M. Verfahren zur Herstellung medizinischer und zahntechnischer alloplastischer, endo und exoprothetischer Passkorper. European patent no. 0 0054 785, 1985.

9. Duret, F., et coll. Demonstration pratique de l'empreinte optique, 9^e. Entretiens de Granciere. Paris, 21 Septembre, 1983.

10. Duret, F., et coll. Realisation d'une couronne par ordinateur. Congres A.D.F., Paris, 25 Novembre, 1985.

11. Duret, F. Vers un nouveau symbolisme pour la realisation de nos pieces prothetiques. *Cah Prothese* 50:65-72, 1985.

12. Duret, R., et coll. Principes de fonctionnement et applications techniques de l'empreinte optique dans l'exercice de cabinet. *Cah Prothese* 50:73-110, 1985.

13. Duret, F.; Duret, B.; et Blouin, J.L. Bases fondamentales dans la conception et fabrication assistees par ordinateur des protheses dentaires. *QOS* 39:197-215, 1985.

14. Fujita, T., and others. Preliminary report of construction of prosthetic restorations by means of computer aided design (CAD) and numerically controlled (NC) machine tools. *Bull Kenagowa Dent Coll* 12:79-80, 1984.

15. Williams, A.G. The Switzerland and Minnesota developments in CAD/CAM. *J Dent Pract Adm* 4(1):50-54, 1987.

16. Rekow, D. Computer-aided design and manufacturing in dentistry: a review of the state of the art. *J Prosthet Dent* 58(4):512-516, 1987.

17. Caudill, R. Computer-integrated dentistry. New Harbor, Academy of Dentistry, 1988.

18. Williams, A.G. Dentistry and CAD/CAM: another French revolution. *J Dent Pract Adm* 4(1):2-5, 1987.

19. Gabor, D. Microscopy by reconstructed wavefront. *Proc Roy Soc* 197:437-457, 1949.

20. Rayleigh, L. On the manufacture and theory of diffraction gratings. *J Science (4^e Serie)* d(310):81-93, 1874.

21. Lundeen, H.C. Introduction to occlusal anatomy: teaching manual for dental students. Earleton, FL, L and J Press, 1969.

22. Duret, F. Letters to the editor. *J Dent Pract Adm* 4(3):132-133, 1987.

23. McLean, J.W., and others. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J* 131:107-111, 1971.

24. Belsler, U.C.; MacEntee, M.I.; and Richter, W.A. Fit of three porcelain-fused-to-metal marginal designs in vivo: and a scanning electron microscope study. *J Prosthet Dent* (53):24-34, 1985.

25. Allan, D.N. A macroscopic study of filled teeth. *Br Dent J* (21):386-390, 1970.

Hundreds witness dental history

CAD/CAM innovator Francois Duret and commentator Gerry McLaughlin performed North America's first live demonstration of the CAD/CAM system to a packed house Sunday afternoon in the Marriott's Grand Ballroom.

As part of the closed-circuit television program, Duret and McLaughlin, who were introduced by Peter J. Lio, chairman of the Closed-circuit Television Division, demonstrated the CAD/CAM innovation live from Northwestern University Dental School. The three procedures which constitute the CAD/CAM system of restoration were presented.

First, using a camera-like prong, Duret input the existing dental shapes into the system. This device included a laser source (diode) which, through the first endoscope, projected light on the desired picture area. A second endoscope, adjacent to the first, allowed the camera to take pictures in the mouth.

Duret took many pictures of the area in question, each providing him with a different viewpoint. The objective of the multi-picture process, in Duret's opinion, increased the computer's ability to recreate a more



Capacity crowd witnesses the USA TV premiere of Duret's CAD/CAM system on Sunday.

new boundaries for the computer to take into consideration. Taking all information into account, including adjacent teeth, school of occlusion, etc., the computer designed a replacement prosthesis to the exact specifications Duret proposed.

McLaughlin entertained questions from the audience. In response to an inquiry on how much training was necessary to utilize the CAD/CAM system, McLaughlin said, "If I can learn it, anyone can. I had a total time training of about 10-12 hours,

method. In France, the breakthrough point of the CAD/CAM system is six restorations per day."

McLaughlin said, "The real question is: Is it worth the price? What is the value of the system? It is an individual question. What does it mean to your prac-

Television Gives MWM Edge on Excellence

The 1989 Midwinter Meeting of the Chicago Dental Society will mark the 22nd consecutive year that live clinical demonstrations will be shown through the use of closed circuit television.

Two and a half days of programming have been scheduled with this year's theme "United Through Knowledge" in mind. Clinicians will operate on selected patients at the facilities of Northwestern University School of Dentistry facility. The audience will view the program before television monitors at the Marriott Hotel. A two-way audio hook-up between the Marriott and the dental school will allow the audience to address questions to the clinician, through the moderator, and then see and hear the response.

According to Calvin Akal, DDS, Midwinter Meeting program chairman, the Midwinter Meeting's television program is unique because it is live. "It is the only live presentation program, anywhere in the world. It is also the best means of continuing education that I can think of. The dentist learns more about the subject from seeing it live, watching it happen and asking questions. We have one requirement of the clinicians: Do not lecture. We assume the audience already knows the subject matter. They are there to learn something new."

Akal indicates that he travels throughout the U.S. in search of the best and most qualified clinicians for the television program. He says that the chosen clinicians are quite honored to give television presentations at the Midwinter Meeting. "Because we are known for having the finest clinicians in the world at our meeting, they (the clinicians) see it as their springboard to fame. The Midwinter Meeting is definitely the most prestigious of all annual meetings."

The Midwinter Meeting's television program has gained such prominence that world-renowned clinicians, who wish to give presentations, confront the program chairman. "This year, Francois Duret who is giving the first ever live demonstration of the CAD/CAM system of dentistry in the U.S., came to us and asked to be on the program. I think this shows the great respect the television program has within the international dental community." (see accompanying story on Duret and CAD/CAM on p. 1)

The continued success of the television programs is due to the efforts of the members of the closed circuit television committee who have been working the past year with the clinicians and television crew in preparation for the Midwinter Meeting. Akal has long recognized the importance

of
M
se
of
co
se
co
l
bu
tel
ber
pro
exp
me
enc
clir
the
the
pro
ing
The
with

Recent research¹ has
previously thought. ¹
below 4.5 (deminera
The same res:



Chicago Dental Society
Television/Video

CAD/CAM LIVE!

Francois Duret, D.D.S.
Director of Research and Education
University of Marseilles, France

**Study Guide Prepared by
Robert M. Wood, D.D.S.
Emeritus Professor
College of Dentistry
University of Nebraska Medical Center**

Copyright 1989 CDS

**Videotapes Edited by Robert M. Wood, D.D.S.
at University of Nebraska Television**

Distributed by Great Plains National Instructional Television
Library, Box 80669, Lincoln, Nebraska 68501 (a service agency of
the KUON-TV/Nebraska ETV Network, University of Nebraska-Lincoln)

Phone 1-800-228-4630 or (in Nebraska and Alaska) 402-472-2007

Duret, CAD/CAM U.S. Television Debut Today



For the first time in the United States, Francois Duret will perform a live television demonstration of his CAD/CAM

System of restoration fabrication at the 124th Midwinter Meeting.

Computer-aided-design and computer-aided-manufacturing (CAD/CAM) has revolutionized the field of dentistry. After many years of research and trial, the CAD/CAM system has become clinically applicable to dentistry. This revolutionary technology will allow preparation and installation of a finished crown or bridge in a single visit. Such a system will eliminate the need for impressions, temporary crowns, waxing and casting and the need for further adjustments.

The man behind the idea, Francois Duret, DDS, of France has been dedicated to the CAD/CAM effort for over 20 years.

With his discoveries, Duret has created a revolution in the international dental profession.

Duret who, in addition to his degree in dentistry holds an MS in physiology, a PhD in human biochemistry and a PhD in dental biochemistry, is the director of the CAD/CAM Laboratory and director of research and education at the University of Marseilles, France.

According to Duret, in an article published in the November 1988 issue of the Journal of the American Dental Association

(JADA), CAD/CAM technology was initially considered a troubleshooting device and alternative to the "tedious" method already in existence. "Regardless of the advanced state of this 300-year-old technique, information must still be transferred by hand from the impression to the

finished crown via a series of materials, each of which may induce error in the final casting. This system of casting does not allow us to take advantage of tremendous advances in computers and robotics. For these reasons, we introduced CAD/CAM technologies to the dental profession in 1971."

The first dental CAD/CAM prototype was introduced to the public in

1983 at the Caranciere conference, France. Two years later the dental profession witnessed for the first time a crown milled and installed in a mouth without the assistance of an outside laboratory.

In his presentation at 2-4 pm today in Grand Ballroom I on the Seventh floor in the Marriott, Duret will demonstrate the Duret System of CAD/CAM already in use in dental offices throughout France.

For many, the thought of using a computer can be an intimidating idea. However, the CAD/CAM process as it is applied to dentistry is relatively simple. By using a laser "probe" placed within the mouth, a picture is taken of the area to be restored. The images are transferred into a computer, which uses the image to create a crown that can be adapted perfectly to the patient's mouth. After studying the "replica" image and making necessary modifications, the dentist begins the manufacturing process. Using a micro-milling machine, the crown is automatically shaped out of a solid block of material. The finished

Continued on page 4

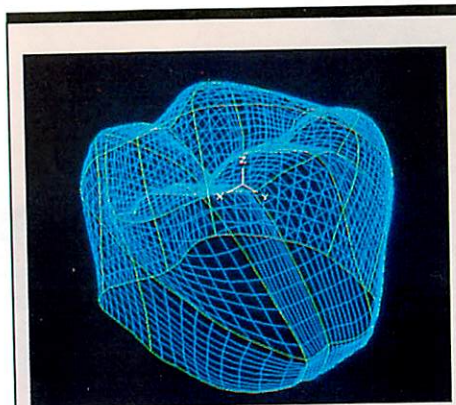


Fig 8 ■ Mandibular right first molar retrieved from the library of theoretical teeth.

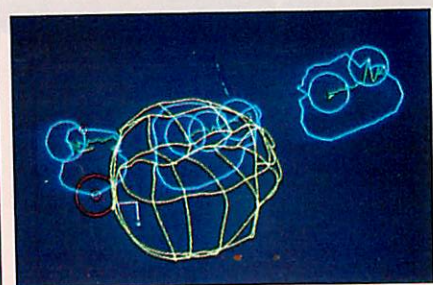


Fig 9 ■ Optical wax-up evaluation of the occlusal surface.

DAY by DAY

SUNDAY, FEBRUARY 19, 1989

VOL. 27, NO. 1



CHICAGO DENTAL SOCIETY
PRESS MATERIAL

CONTACT:
Michael Argetsinger
Michael Argetsinger Communications
(312) 321-0341

FACT SHEET

124th Annual Midwinter Meeting
Chicago Dental Society

February 19-22, 1989

"United Through Knowledge"

Background

- Sponsored by the Chicago Dental Society
- One of the oldest and largest dental conclaves in the world
- More than 27,000 Dental and Auxiliary personnel from 26 countries will attend
- More than 150 lectures and panels presented over

Page 2

Closed Circuit Television

Live, closed circuit television will broadcast from the clinical facilities of Northwestern University Dental School directly to an audience at the Marriott Hotel.

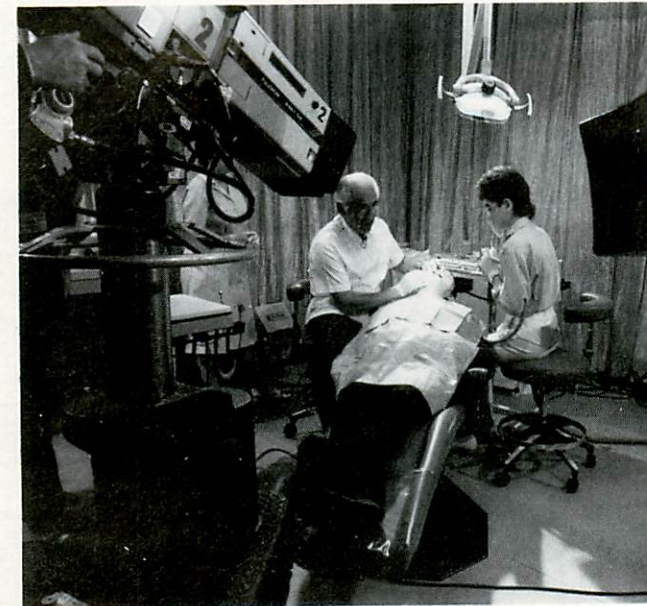
Internationally prominent clinicians presenting via the closed circuit medium include: Francois Duret of Marseilles, France presenting, for the first time live in the United States, his "CAD/CAM System" of tooth restoration; Myron Nevins of Boston, Massachusetts demonstrating periodontal techniques; David Garber of Atlanta, Georgia demonstrating esthetic and

more than 150 lectures and panels are: Implants - an alternative to dentures; Computer assisted dentistry

THE 124TH MIDWINTER MEETING
OF THE CHICAGO DENTAL SOCIETY

TELEVISION

Live closed-circuit television has been a special part of the Chicago Midwinter Meeting for 22 years, where skilled clinicians demonstrate techniques and procedures for general practitioners. Television programs are scheduled Monday and Tuesday mornings and afternoons and Wednesday evenings. Only your registration badge is required for admittance.



CAD/CAM Live!

Francois Duret

Director of Research and Education, University of Marseilles, France

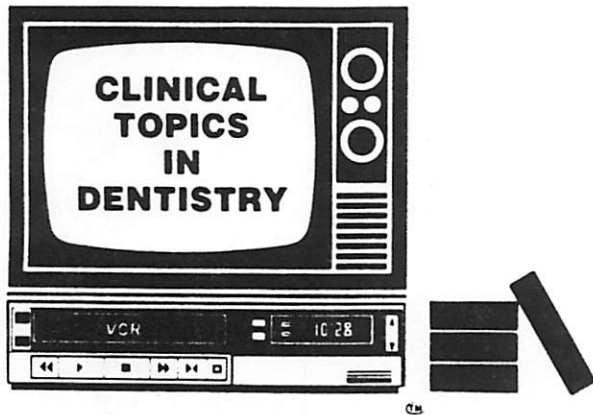
Grand Ballroom I, Marriott, Seventh floor
Sunday, 2-4p

Francois Duret has selected the Chicago Midwinter Meeting for the first live television demonstration in the U.S. of his CAD/CAM System of restoration fabrication. This revolutionary technology will allow preparation and installation of a finished crown or bridge in a single visit. All this with no impressions, no temporary crowns, no waxing and casting and no further adjustments needed. Dentists and patients will also benefit from the development of new dental materials unavailable with traditional methods.

The way the new system works is simple. The dentist uses a laser probe to take pictures of the area to be restored. These pictures are then used by a computer to design a crown perfectly adapted to the patient's mouth. After reviewing and if necessary, modifying the design on a computer screen, the dentist starts the manufacturing process, using a micro-milling machine which automatically shapes a crown out of a solid block of material. The finished crown can be immediately cemented in place.

Combining three of the most modern developments in science, the laser, the computer, and the micro-milling machine, dentistry of the future is certainly going to be different, easier and will be here apparently soon.

Commentator: Patrick J. Pierre



Chicago Dental Society Television/Video

INSTRUCTIONS

- FIRST:** Review the objectives and summary of the purpose of the presentation.
- SECOND:** Read the presentation outline which summarizes the videocassette presentation.
- THIRD:** View the videocassette.
- FOURTH:** Review the suggested readings.
- FIFTH:** Complete the post-test and transfer your responses to the answer sheet. Include your continuing education reporting card for the ADA and/or Academy of General Dentistry. We will send it directly to the appropriate registry. If there is a specific form which we must file with your state's licensing board or state association, include it with appropriate instructions to us.
- SIXTH:** Complete the evaluation form.
- SEVENTH:** Return the post-test and evaluation form.
- PROBLEMS?** Call or write: **CHICAGO DENTAL SOCIETY TELEVISION/VIDEO**
P.O. Box 80669
Lincoln, Nebraska 68501
Phone 800-228-4630 or (in Nebraska) 402-472-2007

CAD-CAM LIVE!

OBJECTIVES

This program shows the clinical application of computer-aided design (CAD) and computer-aided manufacturing (CAM) in the fabrication of a molar crown. The major objective of the program is to demonstrate how robotics and computers are used in dentistry.

Upon completion of this module, the practitioner-participant should be able to:

1. recall the background of development for computer-aided dentistry
2. list the equipment used in the dental office for CAD-CAM systems
3. understand how the impression is made using the electro-optical method
4. know the difference between an optical and traditional impression
5. understand that the stone model or die is analogous to a memory system in which information is stored, as on a computer disk
6. list the three parts corresponding to the three basic steps of the process in the CAD-CAM system
7. describe three configurations for using the CAD-CAM system in dental offices
8. list the seven steps involved with the clinical production of a fixed prosthesis

9. state two phases performed in milling the prosthesis.
10. describe in general the computation of tool paths in the machine tool process
11. describe in general the execution of the milling process used to produce prosthesis
12. describe coloration of the prosthesis

CAD-CAM LIVE!

PRESENTATION OUTLINE

- I. Introduction
- II. Electro-Optical Impression.
- III. Work on the Video Model.
- IV. CAM - Demonstration and Explanation.
- V. Coloration of Prosthesis - Dr. Bernard Duret.
- VI. Closing Remarks - The Finished Crown.

CAD-CAM LIVE!

Francois Duret, D.D.S.
Director of Research and Education
University of Marseilles, France

I. INTRODUCTION

This program provides the viewer a demonstration of the CAD-CAM system in the production of a molar crown on a typodont. The system was introduced to the dental profession in 1971 and is presently being used in dental offices in France. The Duret System, developed by Henson International, is described by Dr. Francois Duret and Dr. Gerald McLaughlin.

The crown preparation demonstrated had been prepared prior to the start of the program. A chamfer preparation is preferred by both Dr. Duret and Dr. McLaughlin for full crowns.

The traditional method of crown fabrication, after tooth preparation has been completed, includes taking impressions of both the prepared tooth, adjacent teeth and opposing dentition. A stone model is then made and the prepared tooth becomes a die to which a wax pattern is carved. The actual cast restoration is made using the "lost wax method." The entire process includes different materials and various steps in handling which can lead to

errors being introduced into the final product. The CAD-CAM system eliminates use of the stone die and other steps necessary to complete the crown.

The accompanying article (from the JADA, Vol 117, November 1988), "CAD/CAM in Dentistry," should be read by the viewer before completing the test. The two footnote references in the following paragraph refer to the footnotes for the article.

II. ELECTRO-OPTICAL IMPRESSION

After the tooth preparation has been completed, a three-dimensional probe system, which utilizes two small cameras, takes a series of views which follow the path of insertion for the crown. The electro-optical method of impression-taking combines holography¹⁹ and Moire²⁰ which carries volumetric information which is digitized and is fed into the computer's memory.

A rubber dam clamp was modified to include three small spheres, which serve as reference points in correlating the various views which are taken.

Several views are taken including the buccal, lingual and proximal. During the demonstration, Dr. Duret took eleven views which included the opposing dentition, check bite, path of insertion, proximals, mesial, distal,

occlusal and vestibular views. The pictures were in three dimensions and were stored in the computer's memory for later use. The "munion" view referred to by Dr. Duret is actually the path of insertion.

The teeth must be dry before taking the electro-optical impression and a thin coating of white, non-toxic material is sprayed on the teeth to enhance the quality of the picture.

A silicon check-bite allows a picture of the opposing occlusion, with the three spheres in place, making correlation of occlusion near perfect. The length of time required to take the optical impression is from five to ten minutes.

The optical impression corresponds to the traditional steps taken to produce a stone model. The only difference is in the use of numerical values in the optical system which are stored in the memory of the computer, and take the place of steps used to make the stone model.

III. WORK ON THE VIDEO MODEL

After the views have been taken and stored in the computer's memory, the complete set of pictures is first displayed on the video screen. Each view is recalled and

identified from the memory and characteristic zones, such as contact areas, cusps and alignment of grooves and cusps of the upper and lower arch.

The margins are established by using a view of the preparation on the video screen and defining a series of points along the desired position of the margin. The tracing of the margin is analagous to drawing the margin on the stone die with a fine lead pencil. When these steps have been completed the computer automatically calculates the three-dimensional shapes of the impressions and transfers them into the CAD system to design and build the computer model of the crown.

Cement space of ten microns is entered into the program and the interior of the crown will be automatically created. The space will begin with the margin line and no space enlargement is made to the margin itself. The occlusal surface is established by the operator's preference of the school of occlusion. The "build-up" term is used in the CAD design, similar to the "wax-up" technique used in the traditional laboratory procedure.

Functional occlusion is achieved by use of a specially designed articulator which includes a camera connected to the CAD, and a small light which is attached to the labial surface of a mandibular incisor. Mandibular movements are

read by the camera and are entered into the computer's memory. A special prototype of an articulator with three lights and two cameras was shown. It will provide an even more precise record of movements than the one presently being used.

IV. CAM - DEMONSTRATION AND EXPLANATION

The operation of the CAM is described by Dr. Duret and Dr. McLaughlin. The robot is a micro-milling machine with five electric motors and with four axis machining. The prosthesis is milled by eight tools which are placed on a rotating disk. Each tool is automatically checked prior to its use. A stream of coolant plays over the cutting tool and the block of material from which the prosthesis is made, to prevent over-heating. The milling is automatic and is controlled by the software program in the computer. The computer program controls tool movements and technical factors such as coolant, tool changes and wear on the tools. All of the tool paths are calculated in three-dimensional space and the pre-formed block of material is sequentially milled into a crown that is ready for polishing and coloring.

The material used in the demonstration is a specially designed ceramic composite with fibers aligned to withstand

the forces which are placed upon it. The material is not a homogenous mass as seen in other available materials. A number of finished Dicor (Dentsply) crowns were also shown.

The completely milled crown, ready for coloring, took approximately two hours time from start to finish. It was removed from the CAM and given to Dr. Bernard Duret for coloration.

V. COLORATION OF PROSTHESIS - DR. BERNARD DURET

The crown was examined by Dr. Bernard Duret and slight modifications were made to the final shape prior to start of the coloration process. Several factors were considered in determining the correct color for the crown. They included:

- * optical properties of the material being used,
- * the hue which was proper for the material,
- * a decision as to color and tint of the cement to be used, and
- * surface tinting and final coating which would also influence the final color and shade of the unit.

Dr. Duret would normally work under a microscope to aid in controlling the thickness of the material being applied. A microscope also helps in detecting any dust

particles or bubbles of air which might be present in the varnish. In designing the crown, 10 microns of space was made to accomodate the different coats of stain and varnish which were applied. This would prevent an incorrect occlusion which had been established so accurately in the milling process.

The crown was placed on a special holder which has the same color as the cement which would be used for comentation.

The stains selected were from the Vita Shade Guide. The stain layers were polymerized in an electric oven for ninety seconds. The crown was degreased after polymerization using ethynol alcohol -- and allowed to air-dry thoroughly.

The occlusal surface was stained with shade modifiers which contained strong pigments. The darkest stain was placed carefully in the bottom of the central grooves. Care was taken to prevent stain layers from becoming too thick, particularly on the cusps.

A final coating of polyurethane varnish was placed on the entire surface of the crown and was polymerized for ninety seconds.

The polyurethane varnish is between 20 to 40 microns thick. It is charged with silicone and becomes part of the

100 micron thickness built up on the crown. Hardness compares closely to that of enamel after it has been polymerized. The whole staining process should take about 20 minutes.

VI. CLOSING REMARKS - THE FINISHED CROWN

Dr. Francois Duret and Dr. McLaughlin showed the completed crown placed in the mannequin with its relationships to the adjacent teeth and occlusion. The crown and die was shown to have excellent marginal adaptation.

A point was made that the amount of time spent was longer than normal due to showing steps that are not necessary in changes made to the crown, and taking time to explain them. Without the explanation, the time for completion would be under 1 1/2 hours.

Another important point was that the completed crown was made from the work which was done during the program presentation and was not pre-selected from a bank of successful crowns after rejecting the unsuccessful ones.

END OF PROGRAM

SUGGESTED READING

CAD-CAM LIVE!

1. Refer to references found on page 720 of the attached article from JADA, Vol. 117, Nov. 1988.
2. Leinfelder, Karl F. (D.D.S., M.S.), Isenberg, Barry P. (D.M.D., M.A.), and Essig, Milton E. (D.M.D.).
A New Method for Generating Ceramic Restorations:
A CAD-CAM System. JADA. 118 (60) 703-7 June 1989.

LA CFAO dentaire

François DURET, DCD, DSO, MS, D. Etat

Jean Louis BLOUIN, Ig

Bernard DURET, CD

La CFAO dentaire devient une technique clinique après avoir été longtemps du domaine de la recherche expérimentale. Ce premier article exclusivement orienté vers l'acte en cabinet et faisant abstraction de données scientifiques permettra au praticien de mieux comprendre comment s'utilise cet appareil et d'estimer son besoin face aux réalités économiques de son exercice.

La réalisation actuelle de prothèses dentaires fixées comprend une succession d'étapes étroitement liées les unes aux autres. Pour toute préparation, le premier travail du chirurgien-dentiste est d'enregistrer sa taille, l'environnement adjacent et antagoniste à l'aide d'un matériau plus ou moins élastique. Cette empreinte, dite négative, est ensuite utilisée pour obtenir, en général par coulée de plâtre dur, un modèle de travail ou positif. C'est à partir de cette pièce qu'une maquette en cire de la future prothèse sera réalisée et que nous pourrons, grâce à la méthode de la cire perdue, obtenir une pièce de recouvrement.

Quel que soit le progrès de la technique, le fait de transmettre une information sous forme matérielle de l'empreinte à la couronne nous oblige à la plus grande réserve quant à la pérennité de la résolution et de la précision requise pour ce travail. Par ailleurs, ce support réel de l'information qu'est le modèle empêche le chirurgien-dentiste de bénéficier des progrès remarquables de l'informatique et de la robotique. C'est ce constat qui nous poussa, en 1971, à introduire dans notre métier ces technologies de pointe. Cela permettrait de profiter de l'évolution continue et fabuleuse des mathématiques appliquées et de quitter les anciens principes établis il y a plus de 300 ans, même s'ils avaient très largement fait leurs preuves: la CFAO dentaire était née.

La première période de cette nouvelle approche a été marquée par des propositions diverses et variées tenant plus de la recherche expérimentale et de l'hypothèse de travail que de l'objectif clinique (1), (2), (3), (4). Quoiqu' utilisant ces remarquables travaux, nous n'avons cessé de privilégier le clinique sur le fondamental (5), (6).

Dès 1979, RODDER et HEITLINGER en R.F.A. (7), puis en 1980 MOERMANN et BRANDESTINI (8) nous ont rejoint dans cette voie, les premiers passant par l'usinage du modèle et la réalisation de la pièce par un prothésiste alors que les seconds se refusaient à dépasser le stade du cliché unique et de la réalisation de la partie interne de l'inlay.

Pendant presque 5 ans le silence fut de mise à l'exception de quelques percées comme la présentation du premier prototype de CFAO dentaire au Congrès de Garancière en 1983 (9) puis la réalisation en bouche de la première couronne dentaire par CFAO en 1985 lors du Congrès de l'ADF (10). Même si cette année 1985 marquait une étape décisive pour la CFAO Dentaire, le chemin à parcourir restait encore important car un temps long de réalisation (2 heures) et une assistance technique importante (5 personnes) s'avéraient nécessaires pour faire fonctionner la première machine de CFAO dentaire utilisable en cabinet. En tout état de cause, cette démonstration du Congrès de l'A.D.F. (11), (12), (13) validait définitivement les principes que nous avons établis envers et contre tous 14 années plus tôt.

C'est à cette époque que deux nouveaux noms sont apparus : l'équipe de AOKI au Japon (14) et surtout Diane REKOW à l'Université du Minnesota (15), (16). Diane REKOW choisit une autre méthode pour la mesure du relief, fondée sur la photogrammétrie, et utilisa pour sa deuxième et troisième étape le principe de la dent théorique établi au début de nos travaux (5). Signalons enfin l'effort de Reggie CAUDILL (Alabama) (17) qui n'hésita pas, n'étant pas dentiste, à se lancer dans cette aventure.

Pour plus de simplification, et pour vous présenter la CFAO dentaire, nous vous parlerons d'un système CFAO opérationnel en cabinet dentaire : le système DURET développé par la société HENNSON et dont nous avons eu la responsabilité de guider le développement.

I - Le matériel utilisé en cabinet dentaire

Plutôt que de saisir et de transmettre l'information sous forme de modèle, le système CFAO utilise le captage photonique tridimensionnel, les surfaces modélisées sur l'écran et l'usinage automatique limita ainsi les échanges d'énergie et supprima donc leurs variations qui, nous le savons, sont sources d'imprécisions (11).

L'empreinte, c'est à dire la mesure du relief comme nous l'avons définie (18), se fait par une méthode opto-électronique, mélange entre l'holographie (19) et le Moiré (20) : l'énergie lumineuse véhicule les informations volumiques jusqu'à une caméra qui les numérise.

Le stockage de ce relevé tridimensionnel se fait dans la mémoire de l'ordinateur. L'impossibilité qu'avait l'homme à mesurer autant de variables qu'en renferme une empreinte en cabinet et à les stocker (plus de 1 million de valeurs pour 3 dents) obligea le chirurgien-dentiste à faire jouer son imagination.

Il comprit très vite que mesurer ou reproduire à l'aide d'un modèle sont des fonctions identiques. La différence entre l'empreinte optique et l'empreinte traditionnelle réside dans le fait que la première méthode nécessite de connaître les valeurs métriques d'un objet pour le travailler alors que la seconde ne le nécessite pas de par sa matérialisation. Le plâtre nous apparaît alors comme un système de mémoire, c'est-à-dire de stockage au même titre que la disquette d'un ordinateur.

L'information ainsi codée sera exploitée par un ordinateur et son logiciel de CFAO. Elle permettra au praticien de visualiser son empreinte et de dessiner sa future prothèse. Cet ensemble matériel et logiciel correspond à la création de la maquette en cire sur le modèle. Chaque intervention à l'écran, sur une surface dessinée, est comparable au retrait ou à l'adjonction de cire sur la maquette.

Enfin la technique de la cire coulée, dernière étape de la réalisation de la prothèse sera remplacée par l'usinage d'un bloc préformé. Cette nouvelle méthode de réalisation, tout en n'empêchant nullement l'utilisation des matériaux traditionnels, offre l'avantage d'augmenter considérablement les possibilités d'utiliser de nouveaux matériaux.

L'ensemble CFAO est composé de trois parties :

1) - Un **système de captage ou mesure des formes dentales** comprenant une source laser (diode) éclairant la zone à photographier (sorte de flash) au travers d'un premier endoscope. Un deuxième endoscope accolé au premier permet de voir et d'enregistrer dans la bouche à l'aide d'une caméra. Cette dernière est reliée à un système de numérisation et de corrélation des différentes vues .
(Fig. 1)

2) - Un **ensemble de traitement de l'information** (ordinateur et progiciel associé) permet de reconstituer l'empreinte à l'écran et de bâtir la future couronne. Un périphérique spécialisé (Access Articulator) intègre les mouvements dynamiques de la mâchoire dans la conception informatique de la prothèse .

3) - Un **ensemble d'usinage** constitué d'une machine-outil 3 1/2 axes et de sa commande numérique associée permet la réalisation dans un nouveau matériau de la future couronne.

Ces trois fonctions peuvent être configurées de différentes manières. Nous présenterons ici trois versions différentes :

- CABINET DENTAIRE A UN SEUL FAUTEUIL

Il est possible d'utiliser un système complet intégrant les 3 fonctions . La sonde et le système de traitement d'image seront placés préférentiellement dans le cabinet dentaire, attendant ou à proximité du bloc, alors que la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et la machine-outil : FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) seront installées dans une autre pièce.

Cette configuration offre l'avantage de permettre l'usinage en temps réel (par exemple pendant la période d'anesthésie de la taille de la prothèse préparée). Pour répartir les charges de fonctionnement, le système peut être installé dans une pièce spécialisée comme l'était la pièce de radiologie afin que plusieurs praticiens puissent exécuter leurs prothèses en se partageant l'utilisation de l'appareil (Fig. 2).

- CABINET DENTAIRE A PLUSIEURS FAUTEUILS

Chaque bloc opératoire sera équipé d'un ensemble de saisie (caméra), les parties CAO et FAO se trouvant dans une pièce indépendante. Quoique plus coûteuse, cette configuration offre l'avantage de libérer le praticien de la contrainte de déplacer le patient ou de devoir attendre que le cabinet soit libéré. Par ailleurs, il est possible d'adjoindre une deuxième machine-outil (FAO) soit pour lui permettre de réaliser un nombre de prothèses plus important, soit pour gérer de façon privilégiée certains travaux urgents (Fig. 3).

Une liaison modem ou une transmission par disquette permet à un autre praticien d'utiliser le système CFAO de son confrère en ne s'équipant que de la partie prise d'empreinte.

- RESTE BIEN ENTENDU LA SOLUTION DU LABORATOIRE SPECIALISE

Les techniciens peuvent s'équiper d'une ou plusieurs machine-outils et d'un ou plusieurs systèmes de CAO. Ils récupéreront les empreintes effectuées dans les cabinets dentaires équipés d'une sonde à l'aide des mêmes procédés (liaison modem ou transmission par disquette) et réaliseront les prothèses par CFAO (Fig. 4).

Dans tous les cas un chirurgien-dentiste peut effectuer lui-même l'ensemble des opérations conduisant à la réalisation complète de la prothèse. Une semaine de formation est nécessaire pour apprendre à utiliser le système de prise d'empreinte , de CAO et d'usinage.

II - Réalisation clinique d'une couronne

Quelle que soit la configuration utilisée, la réalisation par CFAO d'une prothèse fixée suit une succession d'étapes simples et précises, identiques pour une couronne ou pour un bridge. Cette méthode étant la même pour chaque type de prothèse, l'apprentissage en sera grandement facilité. Nous divisons ce travail en 7 temps successifs : les uns cliniques, les autres en laboratoire de CFAO.

2.1 Premier temps ou préparation de la dent

La préparation d'une dent destinée à recevoir une couronne CFAO ne présente aucune particularité si on se réfère aux méthodes connues et pratiquées à ce jour. Nous retrouvons les règles traditionnelles d'économie du tissu dentaire, de rétention et de stabilité, et notre souci de garantir au système dento-prothétique exécuté le maximum de pérennité. Il peut paraître judicieux de ne pas avoir des faces proximales trop verticales lorsque les espaces interdentaires sont réduits et des plans occlusaux suivant les sillons trop marqués, pour éviter les ombres de projection.

Par ailleurs, afin de bien voir à l'écran et à tout moment l'endroit où doit s'arrêter la couronne, certains utilisateurs préfèrent marquer par un épaulement ou un chanfrein cette limite importante du travail.

2.2 Deuxième temps ou préparation de la zone d'empreinte

Le maximum de confort pour le patient et la visibilité idéale dans les sulcus au moment de l'empreinte, oblige à procéder à une évacuation minutieuse et précise des débris de taille, d'eau, de sang ou de salive pouvant se trouver dans la zone d'empreinte. Même si un jour prochain nous disposions d'un rayonnement capable de traverser les liquides buccaux et de rebondir sélectivement à la surface de la dent, nous sommes tenus aujourd'hui, comme pour une empreinte traditionnelle, de rendre particulièrement propre et nette la zone d'empreinte. Par ailleurs, l'assèchement ainsi que toute forme d'éviction gingivale par bistouri ou fil rétracteur seront les bienvenus. Cette dernière technique doit être systématiquement utilisée dans le cas d'une pénétration supérieure à 1 mm de la couronne dans la gencive ; cela permettra une bonne visualisation du sulcus pour l'empreinte (il ne faut pas oublier qu'un angle d'incidence minimum est nécessaire entre le plan de la dent et l'axe de projection de la lumière de la sonde pour obtenir sur cette dent le tramage de la lecture tridimensionnelle).

Avant toute empreinte, la dent doit être parfaitement sèche pour recevoir le dépôt régulier d'un fin film blanc ou film coating. Ce produit est absolument nécessaire pour réhausser la qualité de la dynamique de la prise de vue ; en effet, le rayonnement arrivant directement sur une dent s'y reflète en partie, alors qu'une autre partie pénètre dans sa structure, réduisant considérablement la qualité du signal permettant le relevé des 3 dimensions. Par ailleurs, il y a toujours avantage à donner à une dent une réflexion régulière ou lambertienne alors que naturellement cette dernière se comporte comme un corps spéculaire risquant d'éblouir la caméra.

Enfin pour permettre une bonne corrélation des vues, des clamps spécialisés ont été créés. Ils sont porteurs de certaines références concordantes, reconnaissables dans chaque vue et permettent de les associer les unes aux autres. Une fois la dent séchée et recouverte de son coating, ils seront placés, comme un clamps de digue, autour de la préparation.

2.3 Troisième temps ou prise d'empreinte proprement dite

Pour réaliser son empreinte le praticien ou son assistante met en fonctionnement le laser et les cartes de commande de la caméra. Il prend la sonde comme une pièce à main et l'introduit dans la bouche du patient pour faire ses clichés. Certains, par souci de confort, utilisent un bras suspenseur. Plusieurs vues sont faites autour de la préparation. On effectue généralement une vue vestibulaire, une vue linguale, deux vues proximales et une vue des dents antagonistes (Fig. 5) .

Pour effectuer cette succession de clichés, le praticien déplace sa sonde autour de la préparation, contrôle ses mouvements sur un moniteur face à lui et déclenche l'enregistrement de l'image par la pression légère du pied sur une pédale destinée à cet effet.

Une dernière vue très importante sera effectuée dents serrées. Pour ce faire, le patient est mis en position occlusale de référence. Il ne nous appartient pas de la définir car elle est propre à chaque praticien ou à chaque patient ..., mais ce peut être par exemple la relation centrée ou la position d'intercuspide maximale. Si nous pouvons considérer que l'ensemble des vues précédentes a conduit à la création de deux objets comme nos deux modèles du maxillaire supérieur et du maxillaire inférieur, cette vue dents serrées permettra de les positionner l'un par rapport à l'autre avec un minimum de risque d'erreur.

Il est envisageable d'automatiser ce type de corrélation sans passer par une vue dents serrées en puisant dans les ressources de la CFAO, mais aujourd'hui il paraît plus rapide et moins coûteux de passer

par une action interactive. Cette vue qui permet de positionner le modèle optique du maxillaire supérieur sur le modèle inférieur sera un point de référence de départ pour l'étude des mouvements dynamiques d'occlusion.

Ce troisième temps clinique propre à l'empreinte optique dure environ 2 à 3 minutes suivant les soins apportés. La caméra est immédiatement disponible après chaque prise de vue, ce qui est particulièrement confortable à la fois pour le dentiste et le patient (il existe un stockage très rapide des empreintes successives dans la mémoire de l'ordinateur).

Si aucune empreinte ne doit être faite nous pouvons procéder à la désinfection de la sonde par une méthode spécialement adaptée.

2.4 Quatrième temps ou travail sur le modèle vidéo

L'ensemble des empreintes, c'est-à-dire chacune des prises de vues, est stocké en mémoire comme un modèle de plâtre le serait dans une boîte identifiée. Avant de faire les calculs qui permettront de reconstituer le relief de chaque zone de travail puis de corréliser les vues entre elles pour que nous obtenions deux objets placés correctement l'un par rapport à l'autre, nous devons identifier, pour aider l'ordinateur, un certain nombre d'éléments.

A cette fin, l'ensemble des prises de vues apparaît sur l'écran vidéo. Chacune sera rappelée pour identifier certaines zones typiques comme les points de contact, certaines cuspides, les sillons gouttière de l'arcade, les gouttières de l'antagoniste...

Le travail de repérage de ces zones s'effectue sur un écran vidéo remarquablement précis à l'aide d'un instrument interactif convivial puisqu'il s'agit d'une souris associée à une tablette graphique.

L'une des opérations les plus intéressantes est le tracé de la ligne de finition. Le chirurgien-dentiste pointe la limite souhaitée pour sa couronne sur la vue du moignon puis, petit à petit, trace à l'écran cette ligne comme il le ferait avec un crayon sur son modèle de plâtre (Fig. 6) .

Ce travail terminé, l'ordinateur calcule automatiquement le relief des empreintes. Ces données sont reprises en CAO pour permettre la construction de la maquette de la couronne.

2.5 Cinquième temps ou réalisation de la maquette de la prothèse

La réalisation d'une couronne par CFAO est une opération particulièrement intéressante car elle marque de façon spectaculaire la supériorité de la CFAO dentaire sur les techniques d'imagerie médicale comme la résonance magnétique ou le scanner.

C'est cet apport supplémentaire à la robotisation médicale qui explique que, bien qu'inventée avant les méthodes d'imagerie médicale, la CFAO dentaire entre dans les cabinets plus tardivement. En effet, faire de l'imagerie médicale 3 D, ce n'est que représenter à l'écran une reconstitution spatiale de l'image observée.

Dès 1973, nous expliquions que cette représentation était d'un intérêt réduit et que toute la force de la CFAO médicale se placerait dans la conception d'une pièce venant réparer ce qui était observé. En CFAO dentaire, il existe une grande différence entre l'objet dont on fait l'empreinte, correspondant à la préparation, et l'objet usiné correspondant à la prothèse.

C'est l'intégration dans l'ordinateur de nos règles prothétiques qui permet d'aller bien au-delà d'une simple reproduction. Il existe donc une certaine forme créative appelée intelligence artificielle dans la démarche de la CFAO dentaire telle que nous l'avons définie au début des années soixante-dix.

La réalisation de la maquette se divise très exactement en 4 étapes

- Réalisation de l'intérieur de la couronne
- Création du bol de la couronne
- Montée en occlusion
- Déformation interactive

2.5-1 Réalisation de l'intérieur de la couronne

Comme nous l'avons expliqué précédemment, l'empreinte optique est définie par un grand nombre de points représentant sa surface. Même si nous pouvons admettre que seuls certains points sont utiles pour construire une couronne, il nous est apparu judicieux de proposer au praticien, à l'écran, sa préparation ainsi que la ligne de finition qu'il a tracée, sous forme d'un modèle complet.

Une vue CFAO peut être visionnée sous différents angles, comme un modèle peut être regardé vestibulairement, lingualement ... ou en pseudo-relief que nous nommerons axonométrique.

Quoique assez complexe, c'est surtout ce dernier que nous présenterons pour des raisons de rendu esthétique et pour faciliter la compréhension de chacun.

A tout moment, en utilisant un dialogue interactif le praticien peut rappeler à l'écran les vues de chaque dent adjacente et antagoniste. A ce stade du travail cette opération n'est pas nécessaire.

Un menu, c'est-à-dire un certain nombre d'actions possibles, est proposé au praticien. Il s'exécute de haut en bas, dans un ordre simple et strict : il est impossible de sauter une opération. Même s'il existe une action dite "rapide" permettant d'atteindre directement la couronne sans intervention à l'écran, il nous a semblé plus intéressant de décrire la méthode interactive complète, car elle est réellement plus précise et permet un juste contrôle de la succession des opérations.

Le praticien étudie son empreinte et la ligne de finition. Il peut la modifier si celle-ci s'avère inexacte ou imprécise. La représentation à l'écran d'un point sur 4 est suffisante et nous permet de travailler comme sur un modèle en plâtre (Fig. 7) .

Lorsque l'ensemble est jugé correct, il suffit d'indiquer la valeur que nous souhaitons pour l'espace laissé au ciment pour que l'intérieur de la couronne se construise à partir de la ligne de finition. Aucune dilatation n'a lieu sur cette ligne et son proche voisinage (Fig. 7).

2.5-2 Création du bol de la couronne

Ce bol correspond très exactement aux faces vestibulaires, linguales et proximales de la future couronne limitée sur leurs parties supérieures par la surface occlusale . La dent théorique que nous devons adapter est alors retirée automatiquement de l'ensemble des dents stockées dans la mémoire pour qu'un logiciel spécialisé la déforme en s'appuyant sur des règles prothétiques éprouvées et vérifiées (Fig. 8 et 9).

Cette déformation se fait de telle sorte que l'on respecte les bombés vestibulaires et linguaux, la gouttière occlusale et les points de contact de l'ensemble de l'arcade. Chaque ligne peut être déplacée au gré du praticien s'il souhaite vestibuler, lingualer ou créer un diastème sur sa dent (Fig.9) .

Le fait d'utiliser une bibliothèque de dents théoriques nous permet de respecter une anatomie reconnue par les fondamentalistes mais chaque praticien peut les personnaliser à son gré en utilisant un interactif de déformation. Cette déformation de la dent en mémoire dans l'environnement du patient nous conduit à avoir une couronne individualisée. Cette opération est à rapprocher de notre action traditionnelle qui consiste à se rappeler la forme d'une dent et à la sculpter sur le modèle traditionnel mis à notre disposition.

2.5-3 Montée en occlusion

L'opération de mise en occlusion justifierait un article à elle seule. Nous la décrivons succinctement sans nous attarder sur l'analyse dynamique.

La surface occlusale est alignée grossièrement en fonction des sillons et des crêtes antagonistes selon la technique du Wax Up de LUNDEEN ou en fonction des dents adjacentes. Ce choix est défini interactivement par le praticien. Pour que la montée des centrées de la surface occlusale de la couronne sur les centrées antagonistes se fasse selon une position correcte, ces derniers sont proposés au praticien sur une arcade théorique correspondant à l'antagoniste. Il peut en toute liberté les déplacer pour obtenir une occlusion cuspide-fosse ou cuspide-crête. Par ailleurs, le choix entre les options fonctionnaliste et gnathologique lui permet de définir la morphologie de ce contact (liberté en centrée ou blocage tripodique). Il n'appartient pas à la CFAO d'imposer un concept mais de laisser le choix clinique au praticien en fonction de la thérapeutique qu'il applique.

Ces éléments définis, un logiciel projète les cuspides et sillons de la couronne sur les dents antagonistes selon la technique de LUNDEEN.

L'occlusion dynamique, c'est-à-dire le respect des sillons de dégagement latéraux, du desengrènement immédiat de l'angle cuspidien, etc... est possible par utilisation d'un articulateur développé à cet effet. Cela sort du sujet de cet exposé.

2.5-4 Déformation Interactive

Il se peut que la morphologie ne plaise pas au praticien. Cet interactif de déformation permet de personnaliser à la pièce l'extrados de la prothèse . Cela va du déplacement d'un point au tracé complet d'un bombé. On peut aussi élever une cuspide (attention à l'occlusion résultante) ou créer un diastème.... (Fig. 10)

Dans tous les cas, il suffit d'indiquer le point que l'on veut déplacer et de déterminer sa nouvelle position. Le logiciel déforme la dent en respectant son harmonie (création de courbes régulières). Pour la déformer de façon stricte et rationnelle, nous avons développé un interactif spécifique utilisable sans connaissances informatiques et dont l'effet est comparable au travail sur la cire de la maquette.

Un menu spécial permet de faire apparaître les dents adjacentes et antagonistes. Ce travail est souvent facilité par leur présence à l'écran.

2.6 Sixième temps ou usinage de la prothèse

L'usinage de la prothèse s'effectue sur un micro-robot. Ce robot est une mini-fraiseuse (70 x 50 x 50 cm) travaillant en 3 1/2 axes sous lubrification. 8 outils, définis comme nécessaires et suffisants pour l'usinage de toute la prothèse fixée, sont placés sur un disque proche de la broche.

La machine les prend automatiquement en suivant les ordres de la commande numérique après avoir contrôlé leur état sur un micro-switch situé sous le capôt porte-préforme (Fig. 11 et 12) .

Pour faire son usinage le praticien doit contrôler les outils, placer sa préforme de matériau (bloc compact) dans le réceptacle d'usinage et mettre en marche l'appareil par une pression sur l'un des quatre boutons situés en façade.

L'opération de fraisage est automatique et livre une dent prête au maquillage, précise à quelques dizaines de microns près. L'opération de fraisage se divise en deux temps :

- Calcul des trajets d'usinage
- Usinage proprement dit .

2.6-1 Calcul des trajets d'usinage et des ordres analogiques

Chaque outil peut être représenté par un cylindre ou une sphère enlevant progressivement de la matière pour façonner la forme externe et interne de la couronne. La commande numérique calcule le chemin que doit suivre chaque outil, sa vitesse de rotation et de déplacement, ainsi que son ordre d'apparition pour permettre un usinage rationnel sans à-coups.

Ces ordres correspondent, les uns aux mouvements de l'outil (donc aux axes de la machine) , les autres (appelés analogiques) à des fonctions plus annexes comme la lubrification, le changement d'outil ou la vérification de leur usure. Un premier étage de cette commande commencera par lire les instructions après les avoir ordonnées alors que le second les transformera en coordonnées capables d'asservir les mouvements des organes mécaniques de la machine.

2.6-2 Usinage proprement dit :

La préforme ayant été fixée et les outils vérifiés, cette deuxième étape suit automatiquement la précédente.

Après un surfaçage de la pièce, opération nécessaire compte tenu des variations naturelles de la forme du matériau dans un cycle de production industrielle, la préforme est dégrossie de telle sorte qu'elle se présente sous la forme d'un cylindre correspondant à la ligne des plus grands contours de la couronne. Plusieurs outils se succéderont pour créer une surface occlusale très précise. Cette succession de fraises se termine par un travail particulièrement délicat correspondant aux sillons secondaires afin d'obtenir un rendu réaliste dans la morphologie occlusale.

Tous ces trajets sont calculés dans l'espace (usinage 3D).

Lorsque la surface occlusale est terminée, le quatrième axe retourne la préforme et permet l'usinage de l'intrados et de la base de la couronne. L'intrados est usiné en premier afin de garder un maximum de matière au niveau de la ligne de finition . La partie de l'extrados située sous la ligne de finition est ensuite réalisée (Fig. 13).

Enfin, un outil très précis viendra terminer doucement la limite de la couronne car il apparait évident que c'est à cet endroit que la couronne doit avoir le maximum de précision.

Cette dernière étape étant terminée, il ne restera plus à la machine qu'à dégager la couronne à l'exception de deux points d'ancrage, et au praticien à la récupérer sur le plateau de la machine (nous pouvons comparer ces points d'attache aux tiges de coulée).

2.7 - Septième temps de laboratoire, ou maquillage

L'étape ultime dans la réalisation d'une couronne par CFAO consiste si nécessaire à un polissage rapide suivi d'un vernissage en surface .

Nous avons repris les grands principes du maquillage définis il y a une vingtaine d'années et utilisés tout récemment par DENTSPLY pour le DICOR. Même si la CFAO permet l'usinage de tous les matériaux traditionnels de la dentisterie, il apparait comme très intéressant d'usiner le matériau Aristée du Laboratoire SPAD, nouveau matériau organo-céramique à structure fibreuse orientée, spécialement développé pour la CFAO.

Avec L'Aristée, il est proposé une trousse de maquillage contenant des ciments , des maquillants et un vernis de surface. Les produits de surface permettent au praticien d'obtenir des effets de couleur localisés.

On trouve par exemple des bleus ajoutant de la translucidité au bord incisal ou des jaunes densifiant le collet. A ces valeurs dites de base ont été adjoints certains colorants plus marqués pour simuler les sillons ou les défauts dans l'émail.

Pour que ce film maquillant et le vernis superficiel résistent à l'usure, ils sont catalysés au four à U.V. Il peut paraître difficile pour un praticien de maîtriser ce maquillage. C'est pour faciliter le contrôle des résultats obtenus que nous avons développé un spectrocolorimètre (BERTIN) dentaire intégrable à la CFAO.

Il ne restera plus au praticien qu'à sceller sa couronne selon les méthodes classiques (Fig. 14 et 15)

Discussion :

La CFAO dentaire nous apparaît comme pouvant faire progresser de façon considérable l'odontologie en lui permettant de bénéficier des techniques de pointe . Cette rigueur dans la gestion des données nous oblige à nous poser un certain nombre de questions comme : la précision est-elle suffisante ? , un praticien pourra-t-il facilement l'utiliser? quelle en sera la rentabilité ?

Si nous étudions les systèmes connus utilisant cette technologie, nous découvrons très vite que le nombre de points définissant les prises de vues s'échelonne entre 50 000 (Mörmann) et 16 000 000 (Rekow). Nous serions tentés de penser qu'il est plus logique d'en avoir le maximum.

L'expérience clinique nous a démontré que le fait d'utiliser un nombre élevé de points n'était pas la garantie d' une bonne précision. En particulier au moment de la corrélation des différentes vues entre elles, la précision globale de l'objet est considérablement réduite.

Ce phénomène est très visible sur des images stéréoscopiques de haute résolution comme sur des petits objets (21). Par ailleurs, il est tout-à-fait possible de remédier aux limitations du nombre de points par une augmentation du nombre de vues saisies (si l'on admet que la corrélation est correcte).

En jouant sur ces deux facteurs, nous pouvons obtenir une précision de l'ordre de 40 μm (un moignon est défini par 200 000 à 400 000 points). Aller au-delà de cette valeur ne semble pas une nécessité (22), (23), (24) pour la qualité de la prothèse mais aussi parce que la CFAO utilise des courbes lissées et un usinage qui ne peut garantir une précision de l'ordre de 5 μm dans le positionnement de la zone de coupe de ces outils. Il convient donc d'être très prudent en terme de précision (ne pas confondre avec la résolution) et ne pas oublier qu'un travail à 10 μm près suppose une infrastructure lourde (chambre isotherme, table de marbre, ...)

Enfin le mode interactif choisi, proche de la convivialité du Macintosh de Apple est très directif, et permet de former un professionnel en moins d'une semaine.

La CFAO dentaire peut permettre une réduction du coût de la prothèse dans la mesure où un minimum d'éléments est posé chaque année. En particulier, plus un tel système produit d'éléments par jour et moins ceux-ci sont coûteux. On pourra donc considérer que l'investissement réalisé requiert un calcul de rentabilité.

Nous avons calculé qu'en France un cabinet dentaire de trois dentistes travaillant chacun 220 jours par an et réalisant chacun 2 éléments/jours (couronne, élément de bridge, inlay...) dépensait moins s'il était équipé avec la CFAO que s'il suivait les méthodes traditionnelles.

Conclusion :

L'introduction de la CFAO dentaire risque de perturber considérablement toutes les habitudes cliniques ainsi que les axes de recherches de nos universités. Nous sommes dans le devoir d'analyser avec prudence les résultats obtenus aujourd'hui, mais l'extraordinaire rapidité et le perfectionnement qu' a connu cette méthodologie dans industrie nous permet d'affirmer qu'elle s'implantera rapidement et définitivement dans nos cliniques. Son évolution risque d'être spectaculaire de par les nombreuses possibilités qu'elle offre.

Le docteur François Duret est directeur de laboratoire de CFAO Dentaire, enseignant à l'université de Marseille, Monsieur Jean Louis Blouin est ingénieur roboticien et le docteur Bernard Duret est clinicien et chercheur en Bio-matériaux.

Bibliographie

1. **Altschuler, B.**; Holodontography an intruduction to dental laser holography. *School of Aerospace Medecine AD-758.191* : 1-29, 1973
2. **Swinson, Jr.**; Dental Fitting Process, *US Patent n° 3.861.044*, 1973.
3. **Garnick, J.; Mcgivern, R.**; Error in the Photogrammetric determination of volume of Small object. *J. dent. Res.*, 2, (53) : 495, 1974.
4. **Schmidt, R.; Waszak, L.; Rongo, R.; Segnini, R.**; Automated CROWN Replication using Solid Photography. *US Army Contract* , n° DAMD 17.77.C-7041, 1977.
5. **Duret, F.**; Empreinte Optique Thèse : 2e cycle , n°231, 1973.
6. **Duret, F.**; Analyse d'images holographiques dentaires en vue de la commande des systèmes automatiques. Congrès I.R.I.E.S., Bois des Hates, Tours, Mai, 1976.
7. **Heltlinger, P.; Rodder, F.**; Verfahren zur Herstellung von Zahnersatz und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. *De Patent n° 25911*, 1979.
8. **Mörmann, W.H.; Brandestini, M.**; Verfahren zur Herstellung medizinischer und zahntechnischer alloplastischer, endo und exoprothetischer Passkörper. *Européen patent n° 0 0054 785.* , 1985.
9. **Duret, F. et coll**; Démonstration pratique de l'empreinte optique, *9^e Entretiens de Garancière*. Paris, 21 Septembre, 1983.
10. **Duret, F.; Duret, B.; Jourdan, Ph.; Rizzolo, L.**; Réalisation d'une couronne par ordinateur. *Congrès A.D.F.* , Paris, 25 Novembre, 1985.
11. **Duret, F.**; Vers un nouveau symbolisme pour la réalisation de nos pièces prothétiques. *Cah. Prothèse*, 50, : 65-72, 1985.
12. **Duret, F.; Blouin, J.L.; Nahmani, L.; Duret, B.**; Principes de fonctionnement et applications techniques de l'empreinte optique dans l'exercice de cabinet. *Cah. Prothèse*, 50, 73-110, 1985.
13. **Duret, F.; Duret, B.; Blouin, J.L.**; Bases fondamentales dans la conception et fabrication assistées par ordinateur assistées par ordinateur des prothèses dentaires. *Q.O.S.*, 39 : 197-215, 1985.
14. **Fujita, T. and coll**; Préliminary report or construction of Prosthetic Restorations by means of Computer Aided Design (CAD) and Numerically Controlled (NC) Machine Tools. *Bull of Kenagowa dent. Col.*, V12 : 79-80, 1984.
15. **Williams, A.G.**; The Switzerland and Minnesota Developments in CAD/CAM. *J.P.D.A.*, 4, (2) : 50-54, 1987.
16. **Rekow, D.**; Computer-aided design and manufacturing in dentistry : A review of the state of the art. *J. Prosth. dent.* , 58, (4), : 512-516, 1987.
17. **Caudill, R.**; Computer integrated dentistry. *New Harbor, Acad. Dentistry*. 18 Mars, 1988.
18. **Williams, A.**; Dentistry and CAD.CAM. Another French Revolution. *J.D.P.A.*, 4, (1), : 2-5, 1987.
19. **Gabor, D.**; Microscopy by reconstructed wavefront. *Proc. Roy. Soc.*, 197 : 437-454, 1949.
20. **Rayleig, Lord.**; On the manufacture and theory of diffractiongratings. *J. of Science*, (4^e Série), 4, 310 : 81-93, 1874.
21. **Duret, F.**; Letters to the Editor. *J.D.P.A.4*, (3) : 132-133, 1987
22. **McClean, J.W.; von Fraunhofer, J.A.; and Coll.**;The estimation of cement film thickness by an in vivo technique, *Br. Dent. J.*,131 : 107-111, 1971
23. **Belser, U.C.;MacEntee, M.I; Richter,W.A.**; Fit of three porcelain-fused-to-metal marginal designs in vivo : A scanning electron microscope study, *J. of Prost. Dent.*,(53) : 24-34,1985.
24. **Allan, D.N.**; A macroscopic study of filled teeth,*Br. Dent. J.*, (21) : 386-390,1970.



FIG. 1

Système de CFAO Dentaire

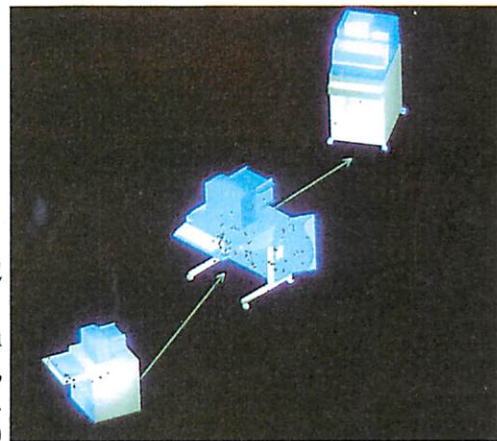


FIG. 2

Configuration d'un système équipé d'une sonde, d'une CAO et d'une machine-outil. (pour un ou plusieurs cabinets)

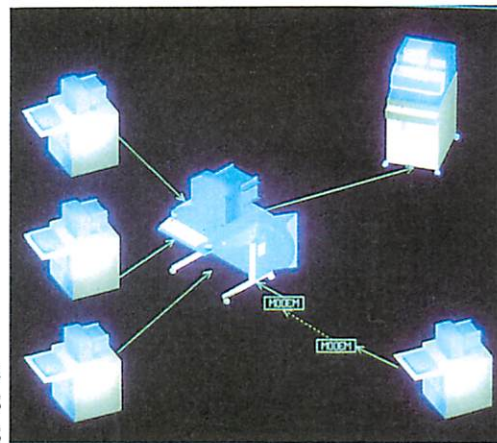


FIG. 3

Configuration destinée aux cabinets équipés de plusieurs systèmes de prises d'empreintes

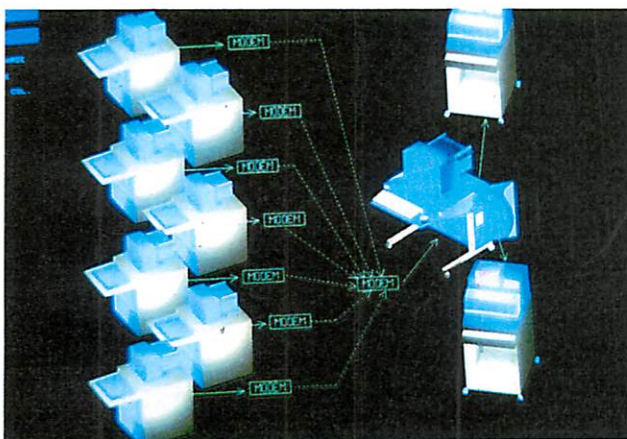


FIG. 4

Configuration mixte présentant les différents cabinets reliés par modem sur un centre de production de prothèses (laboratoire)



FIG. 5

Sonde de prise d'empreinte

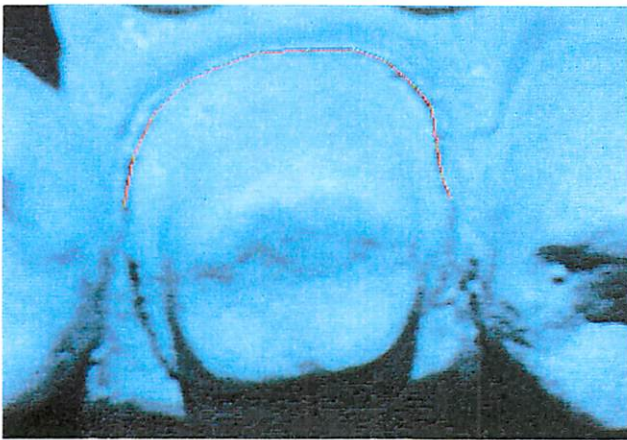


FIG. 6

Tracé de la limite d'une couronne sur l'écran du système de prise d'empreinte (SPE)

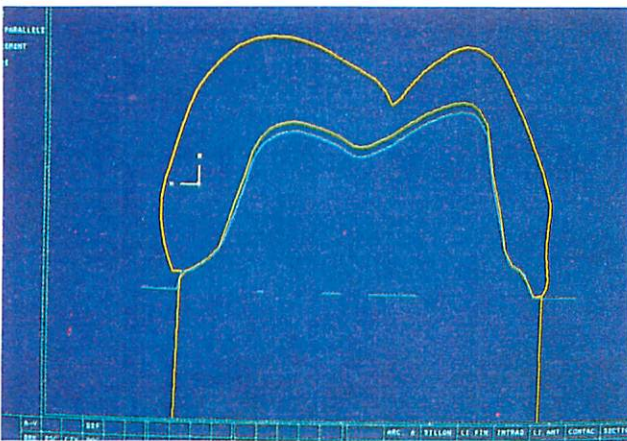


FIG. 7

L'espace pour le ciment n'est créé qu'au-delà de la ligne de finition

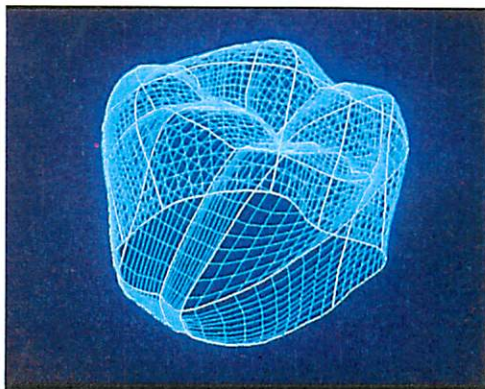


FIG. 8

Première molaire inférieure droite extraite de la bibliothèque de dents théoriques

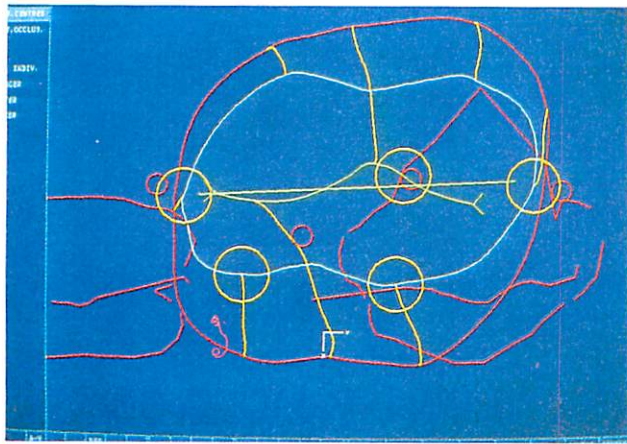


FIG. 9

Evaluation en WAX UP optique de la surface occlusale de notre dent

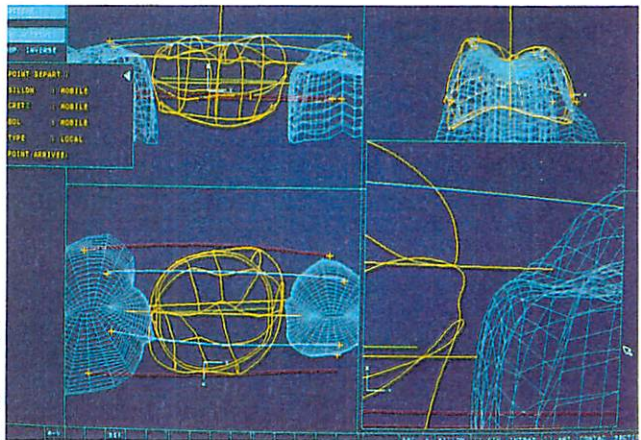
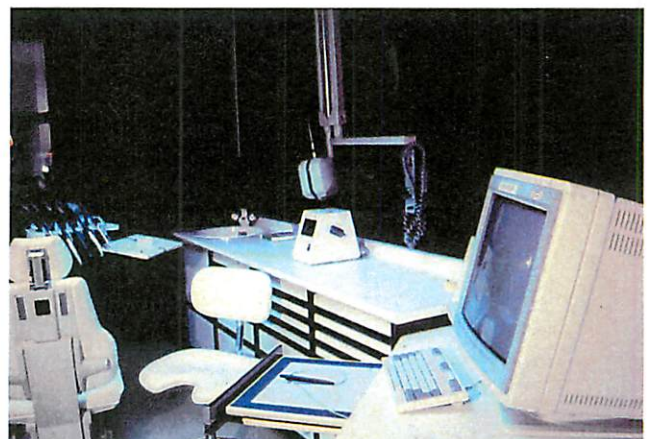


FIG. 10

Il est possible pour le dentiste de créer des diastèmes sur sa maquette



Un cabinet dentaire équipé du système CFAO : on remarque la machine-outil à gauche de l'image

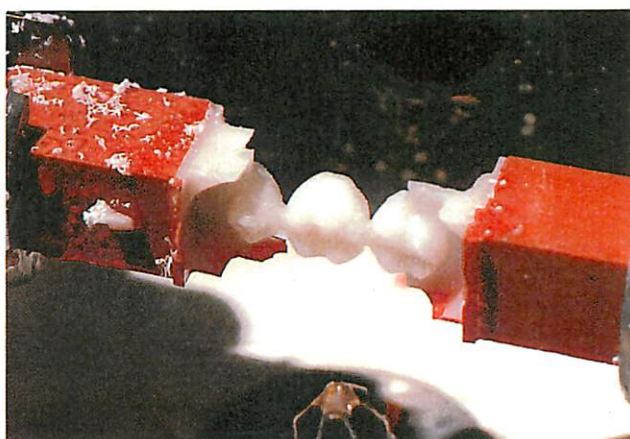


FIG. 13

Usinage d'un bridge de 3 éléments



FIG. 14

Inlay réalisé entièrement
par CFAO sur une 36

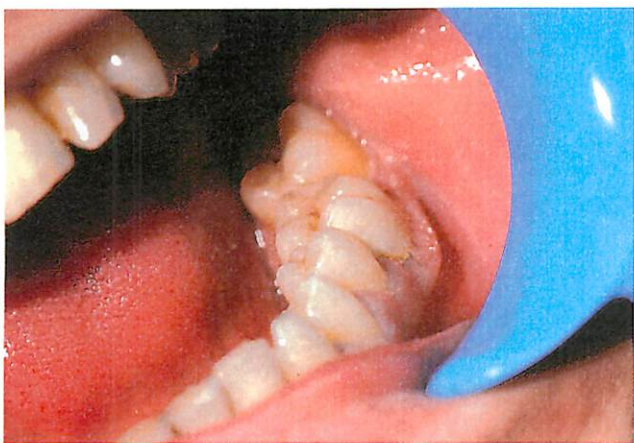


FIG. 15

Couronne sur 36 réalisée en
CFAO maquillée et scellée
(ARISTEE)

P3 *