

4. Empreinte sur le grenat de différentes fréquences spatiales.

Le dopage du grenat est contrôlé pour que la grandeur naturelle des domaines aimantés du grenat, grandeur qui résulte d'un équilibre entre l'énergie d'interaction des zones aimantées et l'énergie consommée dans les parois où l'aimantation s'inverse, corresponde exactement à la taille des domaines magnétiques sur la bande magnétique défilante. Ainsi les domaines du grenat se réarrangent sous l'effet du passage de la bande, mais ce réarrangement correspond à une dépense d'énergie quasi-nulle.

Les grenats se révèlent, d'une part, le transducteur idéal pour prendre une empreinte fidèle de la bande magnétique, et, d'autre part, un excellent dispositif d'imagerie optique qui met à profit l'effet Faraday. Les couches de grenat sont très fines et l'érosion due au

passage de la bande magnétique les détruirait très vite : aussi recouvre-t-on le grenat d'une couche de carbone adamantin dont la structure est proche de celle du diamant. Les qualités de dureté, de résistance à l'érosion et de « glisse » d'une telle couche sont indiscutables.

Le marché de tels dispositifs est colossal : il englobe non seulement les appareils de type magnétoscopes, mais aussi les dispositifs associés à la télévision numérique, les appareils de lecture de données par ordinateur, etc. Les fonctions lecture et écriture sont dissociées (un procédé d'écriture a également été mis au point au Laboratoire Central de Recherche). La bande magnétique a de riches possibilités et encore un bel avenir.

Les prothèses dentaires

La CFAO utilise des matériaux appropriés.

Les premières prothèses dentaires connues – des couronnes en or – datent de plusieurs siècles avant notre ère. Depuis, des perfectionnements ont été apportés à la fabrication des prothèses, mais la méthode est restée artisanale depuis deux siècles : elle a peu changé depuis 1788, date à laquelle le dentiste parisien Dubois de Chemant réalisa le premier dentier par prise d'empreinte à la cire.

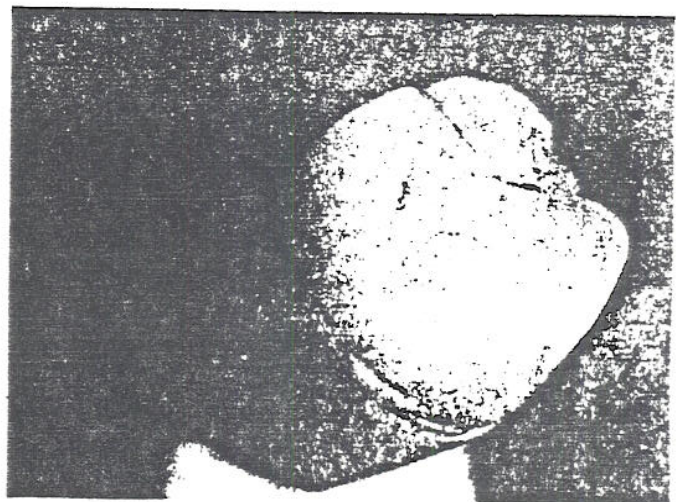
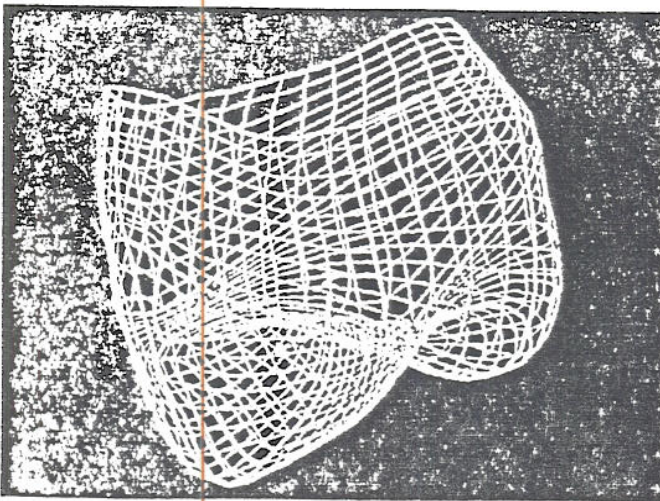
Le chirurgien-dentiste dauphinois François Duret, a automatisé la fabrication des prothèses dentaires par un système de CFAO (conception et fabrica-

tion assistées par ordinateur) : avec ce procédé, une couronne sera fabriquée en moins de 30 minutes, lors d'une unique visite chez le dentiste ; aujourd'hui, il faut deux semaines pour fabriquer une prothèse avec parfois de nombreuses retouches. Les premiers systèmes de CFAO dentaire doivent être commercialisés au début de 1989.

Comment fabrique-t-on une prothèse dentaire ? Le dentiste taille la dent en tronc de cône puis prend une empreinte, en bouche, avec une pâte élastique, du moignon et des deux dents qui l'entourent. À partir de cette empreinte le prothésiste réalise un modèle en plâtre du moignon sur lequel il construit la maquette en cire de la prothèse de la dent détruite ; il utilise ensuite la technique « de la cire perdue » où la maquette est enfermée dans un bloc de plâtre muni d'un orifice ; on chauffe le bloc, pour fondre la cire qui s'écoule par l'orifice. Dans le vide ainsi créé et qui reproduit la forme de la prothèse, le prothésiste injecte du métal fondu (généralement de l'or ou de l'acier inoxydable). Il reste alors au dentiste à ajuster et à corriger la prothèse qu'on recouvre ensuite éventuellement de céramique.

En 1971, François Duret réalise des empreintes à l'École dentaire et, en même temps, travaille sur un laser à la Faculté des sciences : la confrontation des deux techniques, l'une vieille de 300 ans, l'autre nouvelle, l'incite à appliquer les possibilités offertes par l'optique et l'informatique pour fabriquer des prothèses dentaires où il associe prise d'empreinte CAO et usinage automatisé. En 1984 est fondée, par le groupe industriel lyonnais OCE, avec le soutien de l'Anvar, la Société Hennson International chargée de mettre au point l'invention de F. Duret, qui suscite un intérêt international.

Le nouveau système de CFAO dentaire combine l'optique tridimensionnelle, la



Reconstitution par l'ordinateur de la dentition manquante (à gauche) et la prothèse, taillée automatiquement par la micro-fraiseuse (à droite).

CAO et une machine-outil à commande numérique. Le dentiste taille toujours la dent, mais l'étape de la prise d'empreinte est supprimée : une sonde optique - une caméra DTC (dispositif à transfert de charges) miniaturisée et prolongée par un endoscope double - forme une image tridimensionnelle de la bouche du patient, image qui est mémorisée par un logiciel. Cette empreinte optique est numérisée, corrigée et épurée par un logiciel de traitement d'image avant d'être adressée au système de CAO, constitué par un logiciel classique *Euclide* et plusieurs logiciels spécifiques de prothèse dentaire ; ces logiciels intègrent des techniques d'intelligence artificielle. À partir de ces données, la dentition manquante est alors reconstituée par l'ordinateur qui pilote une micro-fraiseuse automatique ; cette fraiseuse usine la prothèse dans un bloc de matériau choisi.

Le procédé simplifie le travail du dentiste et soulage le patient ; il permet d'utiliser une plus grande variété de matériau pour tailler la prothèse, alors que la méthode classique est limitée aux matériaux qui peuvent être coulés, essentiellement des métaux, puis éventuellement recouverts. La Société *Henson International* a mis au point un nouveau matériau dont les propriétés physico-chimiques sont les mêmes que celles de la dent. Fabriquée par la Société SPAD, ce matériau comprend des fibres de verre chargées en céramique et orientées, imitant ainsi les fibres orientées de collagène et de kératine de la dent naturelle. L'invention de F. Duret résoud l'un des problèmes majeurs des prothèses dentaires, résumé par l'oncle de l'inventeur : « ayant brisé une belle faïence, imaginez que le réparateur vous la rende collée, mais avec une pièce en acier à la place du morceau détruit... ce serait quand même mieux avec de la porcelaine ! ».

Betterave et herbicide

Une betterave résiste aux herbicides qui tuent les herbes... et la betterave.

La culture de la betterave sucrière couvre, en Europe, 1,5 million d'hectares ; or les jeunes plants sont vulnérables, c'est-à-dire sensibles aux mauvaises herbes et... aux herbicides ; pour



BASTA 41 16

TRANSFORMÉ

20 D.A.T.

CONTROL

La plante de gauche, transformée génétiquement, a résisté au traitement herbicide, contrairement à la plante témoin de droite (la photographie a été prise 20 jours après pulvérisation de phosphinotricine).

pallier cette faible résistance, la Société *Plant Genetic Systems* (Gand, Belgique) a incorporé dans le génome de la betterave sucrière un gène de résistance à un puissant herbicide : on pourra ainsi répandre l'herbicide sans endommager la plante cultivée.

Les principaux producteurs de betterave sucrière sont la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni et les pays du Benelux. On estime le marché européen global des semences de betteraves à plus de un milliard de francs et les dépenses en herbicides à 2,5 milliards de francs environ ; la dépense en herbicides est considérable car il faut utiliser un mélange d'herbicides élaborés.

Il y a quelques années, le Groupe *Hochst* a mis sur le marché un herbicide à large spectre, le *Basta*, aux nombreux avantages : excellent pouvoir de destruction des mauvaises herbes, dégradation très rapide dans le sol, innocuité pour l'homme et l'animal. Ce produit, destiné à remplacer d'autres herbicides, se dégrade si rapidement qu'il a disparu 15 jours environ après son application ; cet « avantage » peut être considéré comme un inconvénient pour le cultivateur qui doit renouveler l'application de l'herbicide deux ou trois fois tant que les plantes ne sont pas suffisamment développées et que les mauvaises herbes ont assez d'espace et de lumière pour se développer.

Le composant actif du *Basta* est la phosphinotricine, dont l'application provoque une accumulation d'ammoniaque dans la plante qui en meurt ; ce produit est tellement efficace qu'il détruit toutes les mauvaises herbes... et les plantes cultivées.

Les chercheurs de *Plant Genetic Systems* (PGS) ont désiré protéger la betterave sucrière de la phosphinotricine. La bactérie *Streptomyces hygrosopicus* produit la phosphinotricine mais régule aussi sa concentration ; elle synthétise une enzyme - la phosphinotricine acétyltransférase - qui détecte la phosphinotricine et la dégrade en sous-produits inoffensifs. Les biologistes moléculaires de PGS ont isolé le gène codant l'enzyme anti-phosphinotricine, c'est-à-dire celui qui doit protéger la betterave contre la phosphinotricine. Ils ont ensuite incorporé ce gène dans la bactérie vecteur *Agrobacterium tumefaciens*, qui l'a introduit à son tour dans le génome de la betterave (voir *Biotechnologies et agriculture, Pour la Science* n° 123, pages 8 et 9).

Lorsque l'on est en possession d'une cellule qui a incorporé un nouveau gène, il s'agit ensuite de régénérer la plante entière à partir de cette cellule isolée et ce fut, selon M. Leemans, de PGS, l'étape la plus délicate. Si l'on sait régénérer des plants de pomme de terre, de tomate ou de tabac, la betterave est une plante difficile à transformer (le même problème s'est posé aux Américains avec le coton et il n'y a que quelques mois qu'ils ont réussi à régénérer des plants de coton à partir de cellules isolées transformées).

Les plants régénérés résistent à la phosphinotricine (voir la figure), mais il faut maintenant prouver qu'on ne retrouve pas, dans la plante, de métabolites nuisibles dus à la présence du gène codant l'enzyme phosphinotricine acétyltransférase. Selon M. Leemans, les résultats préliminaires obtenus à ce jour sont très encourageants.