

"CLUB DU TEMPS LIBRE"

Mardi 1 Mars 1983

L'Homme transparent

PRESENTATION DU SUJET.-

Un certain nombre d'animaux sont transparents naturellement.

Nous citons :

- la plupart des Protozoaires formés d'une seule cellule,
- les méduses qui échouent sur nos plages,
- certains vers marins et d'eau douce,
- de nombreuses larves aquatiques d'Insectes :
 - . larves de Moustiques,
 - . larves d'Ephémères ...
- certains Crustacés d'eau douce, et larves de Crustacés marins et d'eau douce,
- certains alevins de Poissons, à leur naissance,
- et même un Poisson exotique que connaissent les aquariophiles ; le *Pristella* tellement transparent qu'on l'aperçoit mal dans un aquarium.

Pour observer l'anatomie de ces animaux, il suffit d'une loupe ou d'un microscope ... et, bien sûr, de rayons lumineux.

Ce n'est pas notre cas : notre peau est opaque aux rayons lumineux.

Pour connaître les organes, sains ou malades, qui sont à l'intérieur de cette enveloppe opaque, sans l'ouvrir, il faut utiliser des techniques qui en donnent indirectement un aspect.

On peut :

- écouter : l'oreille perçoit les bruits dûs à des vibrations mécaniques (auscultation) sonores.

Mais il y a des vibrations mécaniques inaudibles (les ultra-sons) à l'origine de l'échographie.

- utiliser les pressions sanguines :

- . tâter le pouls,
- . mesurer la tension artérielle.

- utiliser des radiations électromagnétiques, de longueur d'onde inférieure à celle des radiations lumineuses, qui traversent la peau et inégalement les tissus.

Là est le grand succès des rayons X découverts en 1895, dont les techniques d'utilisation ont considérablement évolué, et se sont multipliées.

Sans doute trouvera-t-on encore mieux.

Le mardi 1er mars, Monsieur BINET, Professeur à l'Hôpital Pitié-Salpêtrière et enseignant à l'École du Louvre, a traité, devant une centaine de personnes, le sujet suivant : "L'Homme transparent".

Il l'a traité d'abord longuement sous un aspect artistique, en montrant de nombreuses diapositives de sculptures évoquant pour la plupart la douleur.

Le temps lui a manqué pour traiter, avec précision, des techniques qui permettent l'exploration visuelle du corps humain et d'en constituer une imagerie à l'usage de la médecine.

Nous allons dans ce compte rendu, évoquer, en première partie, la conférence proprement dite et en deuxième partie, aborder différentes méthodes d'investigation du corps humain ; cette seconde partie, telle qu'elle est présentée, est notre fait à partir, d'ailleurs, des éléments fournis par Monsieur Binet ; nous espérons que les adhérents en seront satisfaits et excuseront notre intervention personnelle.

°°

Monsieur BINET dit qu'il ne s'agit pas de rendre l'homme transparent comme s'il était en verre, mais de voir indirectement l'intérieur du corps et d'en étudier la "machinerie".

L'imagerie du corps a commencé avec la médecine. Les faits réels ont donné lieu à des théories successives ; on connaît celle des humeurs ; on passe de théorie en théorie. Les méthodes d'investigation se succèdent pour arriver à mieux détecter les anomalies du corps ; quelles sont les meilleures ?

L'imagerie médicale présente encore beaucoup de lacunes.

I.- FAITS PLASTIQUES.-

Le vaste problème de la visualisation du corps se pose dans des métiers tout à fait différents de celui de médecin.

1.- Les années 1937-1938.

. A cette époque, René Leriche, chirurgien français, occupe la chaire de médecine expérimentale du Collège de France.

Il fait une analyse très critique de la médecine de cette période et dit que les maladies expérimentales sont différentes des vraies.

Vues par ce grand esprit, en 1938, qu'il s'agisse de la macroscopie, de la biologie, du métabolisme, du traitement, les méthodes restent rudimentaires.

Il est obsédé par le problème et la nature de la douleur qu'il a vu de près parmi les blessés de la guerre ; il y consacre d'importants travaux et s'intéresse aux "membres fantômes". Il écrit entre autres ouvrages : "La chirurgie de la douleur".

. La même année, Paul Valéry ouvre le congrès de chirurgie.

A cette occasion, il fait une synthèse de la médecine.

"La faillite de l'imagerie scientifique est déclarée. Les notions de corps, de position, de durée, de matière et d'énergie s'échangent en quelque sorte entre elles. Le mot même de phénomène biologique n'a plus de signification et peut être le langage lui-même ne peut-il, avec ses substantifs et ses verbes, apporter que de l'erreur dans nos esprits ..."

Dans un autre texte il écrit : "Mais qu'avez-vous ? lui dis-je. J'ai, dit-il, pas grand chose. J'ai une dixième de seconde qui se montre. Attendez. Il y a des instants où mon corps s'illumine. C'est curieux, je vois tout d'un coup en moi. Se distinguent les profondeurs des troubles de ma chair. Je sens des ondes de douleur ... Voyez-vous ce vieux métier de la souffrance ? Il y a des éclairs qui ressemblent parfois à des idées. Il faut comprendre et pourtant toutes ces douleurs me laissent incertain ..."

Si on se réfère à cette période, on retrouve dans la médecine la philosophie, et dans le monde plastique cette préoccupation vis-à-vis de la douleur.

. Le sculpteur Julio Gonzalez (1876-1942) en est un exemple.

C'est peu avant la Seconde Guerre mondiale que se situent ses oeuvres principales où il faut preuve d'une grande maturité. "Femme au miroir" (1936) ; "Hommes-Cactus" (1939-1940). "La Montseviat" (1937) est sans conteste son oeuvre la plus célèbre : elle fut présentée au pavillon espagnol de l'Exposition internationale de 1937 et symbolise la révolte de la femme Catalane devant la souffrance et l'injustice.

. En 1940 Jean Fautrier réalise la sculpture d'une jeune fille : "Jeune fille au front". La même année, il réalise une sculpture où l'on voit apparaître la déformation du corps : "tête striée". En 1942 il sculpte : "grande tête tragique" où l'on voit monter la douleur qui couvre la moitié du visage.

La série de peintures : "les étages", peinture exécutée pendant la seconde guerre mondiale et exposée en 1945 tente de suggérer l'horreur, uniquement par le travail auquel l'artiste se livre sur des couches de couleurs à dominantes pâles ou acides.

. Emile Gilioli est un sculpteur abstrait. "Douleur accroupie" (1944), "J'ai mal au ventre" (1943), "Monument aux déportés de l'Isère" (1949). Il montre dans ces sculptures l'angoisse et la douleur.

. "L'orage" est une des principales réalisations de Germaine Richier (1904-1959). Ce bronze aux formes déchiquetées a une intensité dramatique indéniable. Il en est de même du Christ de l'Eglise d'Assy (1930).

. Une autre image de la douleur est celle représentée par Giacometti (1901-1966). "L'homme et la femme" (1928-1929 ; "Femme égorgée" (1932-1933) ; "table surréaliste" (1933) ; "la tête sur la tige" (1947) ; "la main" (1947) ; "Diego".

Monsieur BINET nous montre un dernier exemple de l'image de la douleur avec les sculptures d'Ipoustéguy, "Agonie de la mère" (1970), "le mangeur de gardien" (1970) qui ne sauraient s'approcher ou se regarder sans un extrême malaise.

. Constantin Brancusi (1876-1957), apporte un nouveau langage, une nouvelle inspiration. Les volumes sont ramenés à des formes ovoïdes essentielles. La perfection des surfaces luisantes et lisses, conquise patiemment constitue pour Brancusi une valorisation du matériau. Les motifs qu'il aime répéter sont empruntés le plus souvent à des thèmes cosmiques ; "commencement du monde", "Adam et Eve", "la colonne sans fin".

. Gilioli joue également avec la sphère en 1967 ; résistance de la sphère.

. Hajdu est un sculpteur qui fut très impressionné par la biologie.

Il travaille sur des plaques et y sculptera des formes proches de l'alphabet cellulaire. Le groupement de ces différents éléments formera une nouvelle sculpture : corpuscule ...

Des artistes se sont donc créés un langage. L'inspiration fut la douleur et à l'aide de la forme qu'était l'oeuf, ils purent représenter le corps.

II.- METHODES D'INVESTIGATIONS MEDICALES.-

La tendance initiale dominante de la médecine du XIXe et XXe siècle a été d'imaginer, de mettre en oeuvre, puis de développer des moyens objectifs d'examen et d'en confronter les résultats anatomiques correspondants pour définir et classer les différentes maladies.

1.- Auscultation.

C'est le grand clinicien français Théophile-Hyacinthe Laennec (1781-1826) qui découvre l'auscultation et a édifié la nosologie de la plupart des affections thoraciques : son célèbre traité de "l'Auscultation médiate" (1819, 1826) marque le début d'une ère nouvelle.

Les adhérents savent que tous les médecins pratiquent l'auscultation : ils écoutent les bruits du coeur et les bruits de l'appareil pulmonaire.

2.- L'endoscopie.

Puis on s'est efforcé d'étendre la portée des investigations et d'explorer par la vue les orifices, conduits et cavités du corps grâce à l'endoscopie. Cette méthode d'investigation paraclinique permet l'exploration du larynx, des bronches, de l'oesophage, de l'estomac, du rectum, de la vessie, de la cavité abdominale ou pelvienne.

Elle se pratique à l'aide d'un endoscope, instrument composé d'un conduit creux rigide que l'on introduit dans la cavité à examiner, d'une source lumineuse et de divers objectifs permettant de voir l'organe sous plusieurs incidences.

Une technique nouvelle fait appel au fibroscope, instrument composé d'un conduit souple en fibre de verre, conducteur de la lumière et qui permet des investigations plus poussées grâce à sa grande maniabilité.

L'endoscopie présente un intérêt "diagnostique" en permettant d'apprécier l'aspect des muqueuses intracavitaires, de localiser une sténose, l'origine d'un saignement, une tumeur, de pratiquer des prélèvements au niveau des lésions. Elle présente également un intérêt "pronostique" en permettant, d'une part, de préciser l'extension des lésions par rapport aux organes de voisinage et, d'autre part, de prendre des clichés photographiques, donc de faire des comparaisons et d'apprécier ainsi l'évolution. Enfin, elle présente parfois un intérêt "thérapeutique" en permettant l'électrocoagulation de certaines tumeurs ou l'extraction de corps étrangers notamment dans les bronches.

3.- Tension artérielle.

C'est par un abus de langage, consacré par l'usage que les médecins et le public parlent de tension artérielle, alors que, sous ce vocable, ils désignent la pression qui règne à l'intérieur d'une portion du compartiment artériel.

Il a fallu plus de cent ans, après que Harvey eut découvert la circulation du sang (1628) pour que Hales mesure pour la première

fois la pression artérielle (1730), grâce à un tube de verre relié à une canule placée dans l'artère crurale d'une jument ; un autre siécle s'écoule avant que Poiseuille applique à l'étude de la pression artérielle le manomètre à mercure (1828) ; la notion de pression était déjà bien précisée (une force rapportée à une surface : $\frac{F}{S}$) et aujourd'hui encore, les physiologistes ont conservé l'habitude d'évaluer la pression en millimètres de mercure.

Ludwig, vers 1847, met au point le "kynographion", qui permet de tracer le graphe de la pression artérielle (en millimètres de mercure) en fonction du temps. Marey et Chauveau, vers 1860, inventent les dispositifs qui rendent possible l'étude des variations de pressions à l'intérieur de l'appareil circulatoire. L'époque contemporaine a vu enfin la réalisation de capteurs convertissant l'énergie mécanique en signaux électriques auxquels on peut faire subir toutes les transformations qu'implique de nos jours le traitement de l'information.

Chez l'homme, les méthodes de mesure non sanglantes de la pression artérielle (par l'intermédiaire de la contre-pression exercée sur les troncs artériels des membres grâce à un brassard de caoutchouc gonflable) font partie de la routine clinique. La méthode la plus employée est celle de Korotkow (1905) qui s'appuie sur l'étude des caractéristiques des bruits artériels synchrones avec la pulsation artérielle.

Cette méthode mesure en fait l'aptitude de la paroi vasculaire à équilibrer (par son élasticité) la pression sanguine* ; elle permet ainsi d'évaluer la pression artérielle et de mettre en évidence ses variations normales et pathologiques.

4.- Electrocardiographie - Electro-encéphalographie.

L'électrocardiographie explore l'activité électrique du coeur par enregistrement des électrocardiogrammes (en abrégé : ECG), tracés scalaires bidimensionnels qui inscrivent en fonction du temps les variations du potentiel électrique induites dans les différents points du corps par le coeur en activité. Les innombrables cellules musculaires qui le constituent sont dotées de propriétés diverses dont les deux plus importantes sont le pouvoir mécanique de contraction et l'activité électrique rythmique, elle-même liée à des déplacements ioniques à travers la membrane des cellules.

L'activation des fibres musculaires cardiaques parcourt deux phases : l'une de dépolarisation, l'autre de repolarisation.

La dépolarisation, très brusque, se maintient environ durant 0,3 seconde puis est suivie aussitôt de la repolarisation qui rétablira les charges électriques initiales. Elle se propage de proche en proche à toute la cellule musculaire, aux cellules voisines et finalement au

* La tension artérielle est en réalité une force de réaction élastique de la paroi des artères à la pression proprement dite du sang sur cette paroi. Mais comme ces deux forces de sens opposé se font équilibre, mesurer l'une c'est mesurer l'autre.

coeur tout entier en 5 centièmes de seconde environ, 10 centièmes de seconde au plus. Ainsi se crée autour du coeur un champ électrique (fig. 1).

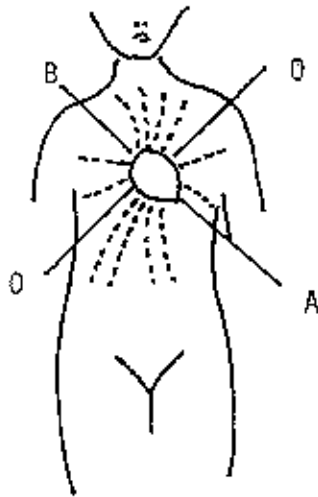


Fig. 1.- Répartition des champs électriques autour du coeur, A et B = pôles électriques OO = ligne de neutralité électrique.

Les électrodes sont donc placées de part et d'autre de OO ; par ex. une électrode au bras droit, l'autre à la jambe gauche.

Cependant, comme la repolarisation est beaucoup plus lente, la durée totale de l'activation de la masse cardiaque est de l'ordre de 30 centièmes de seconde. L'état de repos électrique avec polarisation cellulaire dure environ 60 centièmes de seconde. Au total, le rythme de l'activité électrique du coeur est de 60 à 80 activations par minute.

La variation globale de potentiel électrique induite par l'activité du coeur ne dépasse guère quelques millivolts. Elle est suffisante pour que l'on puisse déceler dans le corps humain un champ électrique intermittent et perpétuellement variable d'un instant à un autre, et d'un endroit à l'autre du corps.

Il en résulte que deux électrodes convenablement placées en des points conventionnels du corps sont soumises à des différences de potentiel qu'un appareil sensible peut enregistrer sur bande de papier ou sur bande magnétique (fig. 2). Par une disposition soigneusement étudiée des électrodes (fig. 1) à la surface du corps, on obtient des tracés électriques relativement simples dont l'interprétation a été facilitée et assurée par un certain nombre de postulats et de conventions.

. L'électro-encéphalographie est l'investigation électro-physiologique permettant d'enregistrer et d'analyser l'activité des générateurs bioélectriques cérébraux, telle qu'elle se manifeste au niveau des enveloppes cutanées du crâne (ou scalp).

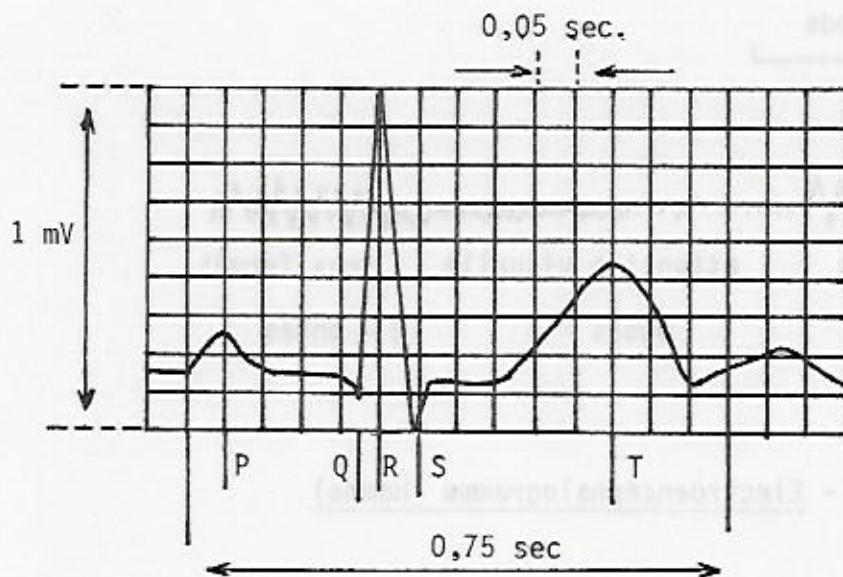


Fig. 2.- Tracé électrocardiographique normal
d'un cœur qui bat 80 fois par minute.

- P : correspond à la contraction auriculaire.
- Q.R.S. : correspondent à la mise en tension du ventricule.
- T : correspond à l'évacuation ventriculaire.

Le champ électrique créé par ces générateurs est complexe : il diffère selon les régions du scalp et varie constamment dans le temps.

Il est capté par des couples d'électrodes judicieusement disposés à la surface du cuir chevelu, amplifié et enregistré sous la forme d'une courbe, appelée tracé électro-encéphalographique ou électro-encéphalogramme, qui exprime la variation temporelle des différences de potentiel qui s'établissent entre les deux électrodes d'un couple. Dans la pratique, on désigne par électro-encéphalogramme (en abrégé : EEG) un ensemble de plusieurs tracés électro-encéphalographiques (fig. 3) recueillis en des points différents du scalp et enregistrés simultanément (voir le compte rendu de la visite du Palais de la Découverte le 25 mars 1982).

5.- Utilisation des rayonnements.

a) - Radiographie.

La faible absorption des rayons X par la matière donne un moyen d'explorer l'intérieur d'objets opaques aux radiations

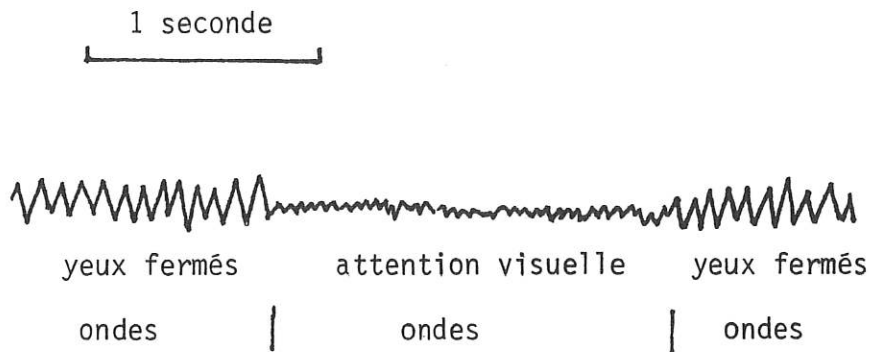


Fig. 3.- Electroencéphalogramme (Homme)

lumineuses. Le principe consiste à faire l'ombre de l'objet à partir d'une source ponctuelle sur un écran fluorescent ou un film photographique ; suivant l'épaisseur de l'objet à traverser, on change la longueur d'onde moyenne du rayonnement.

La radiographie est utilisée en médecine pour l'observation de l'intérieur du corps humain. Les différences de densité des tissus, comme les os et la chair, des cavités ou des corps étrangers, sont rendues visibles.

La superposition d'ombres aboutit naturellement à l'impossibilité de mettre en évidence une structure sous-jacente à une autre de plus forte opacité. Dans ce cas il est fait appel à une technique particulière appelée : tomographie.

b) - Tomographie.

Le but de la tomographie est d'effacer la quasi totalité des informations pour ne conserver que celles correspondant à une couche unique dans laquelle se trouve la structure de faible opacité à analyser.

Pour réaliser cette couche préférentielle, le foyer du tube radiogène décrit au cours de l'exposition une trajectoire plus ou moins complexe au dessus du patient ; le récepteur, en l'occurrence, le film, parcourt en synchronisme un mouvement inverse. Ces mouvements sont essentiellement des oscillations autour d'un même axe. L'axe d'intersection de ces mouvements marque le plan préférentiel où l'image de l'objet est nette mais au prix d'une perte considérable d'informations dans les plans sus ou sous-jacents qui apparaissent flous.

Si l'on désire visualiser un autre plan de coupe, il faut recommencer un "balayage", ce qui implique une nouvelle irradiation du patient, une exposition supplémentaire pour le tube Radiogène et un temps d'examen plus long.

Ainsi, en prenant une série de radiographies des différents plans on peut effectuer une exploration tridimensionnelle.

Mais la radiologie conventionnelle, même avec les perfectionnements dont elle a pu bénéficier au cours des années (foyers ponctiformes, réduction du temps de pose, meilleur pouvoir séparateur, amélioration des contrastes, etc ...) restera limitée par :

- l'importance du flou attaché à la distance objet/film,
- la difficulté de différencier deux organes d'opacité proche,
- le rayonnement diffusé,
- l'impossibilité de réaliser des mesures quantiques d'organes à faible différence d'absorption.

c) - Scanographie.

La structure générale d'un Scanographe (fig. 4-5) est un système qui entraîne solidairement un tube à rayons X et un ou plusieurs détecteurs dans un mouvement autour du corps à étudier ; les signaux obtenus, qui sont fonction des absorptions de ce corps, sont "traités" dans un ordinateur qui reconstitue une image pouvant être visualisée sur un récepteur vidéo.

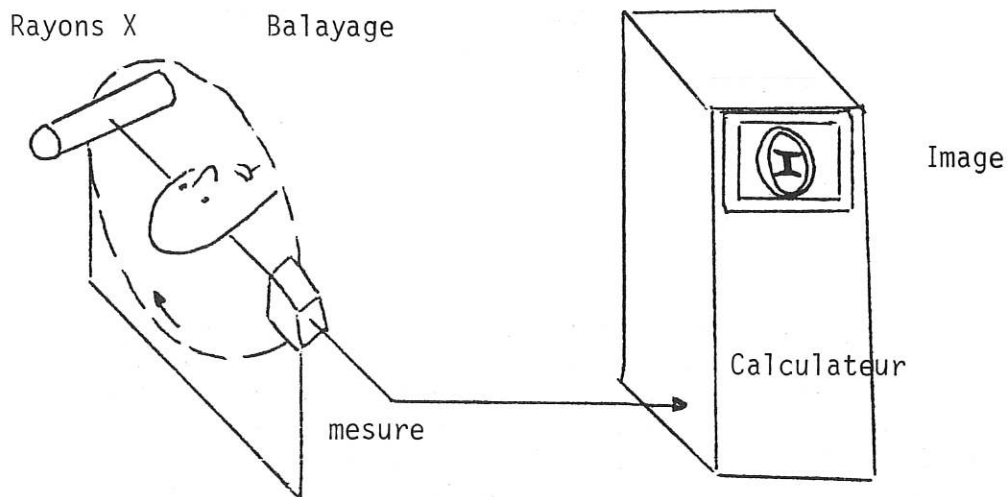


Fig. 4

Elle permet la représentation de la 3ème dimension de l'objet puisqu'elle est réalisée par tranche de section dans un plan axial transverse (fig. 6).

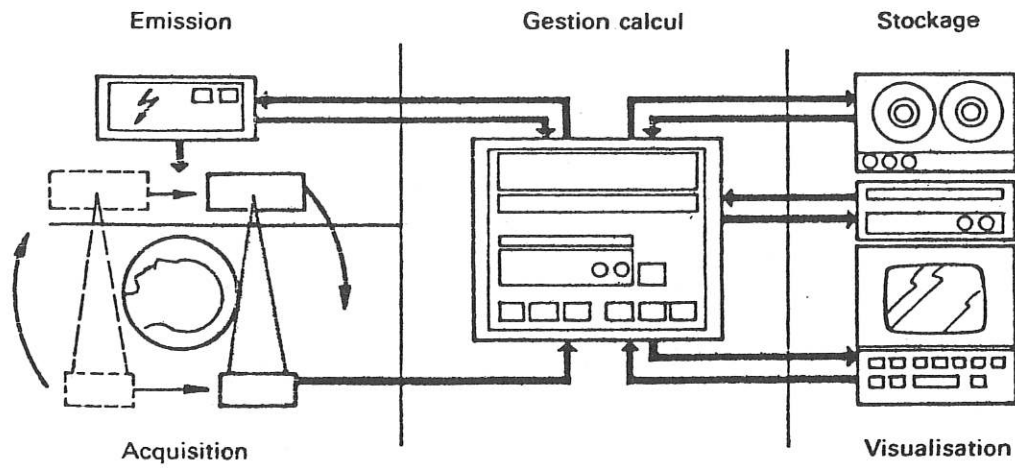


Fig. 5

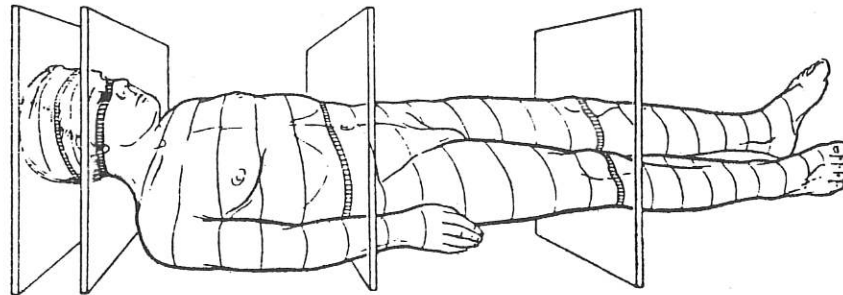


Fig. 6

Toutefois le Scanographe utilisant comme récepteur non plus un film à cristaux d'argent mais une chaîne de détection à cristaux scintillateurs associés à des photomultiplicateurs, ou bien des chambres d'ionisation au xénon sous pression, permet la distinction de différences de densité pouvant être inférieures à 1%, alors que la radiologie conventionnelle ne permet de distinguer, dans les meilleures conditions, que des différences d'opacité de l'ordre de 5 à 10%.

En même temps cette méthode permet d'opérer une quantification en mesurant les différences d'opacité des tissus traversés par le rayonnement X. Elle fournit donc une image "numérisée", point par point, qui augmente les possibilités d'analyse de la tranche d'organe.

Utilisant un ordinateur pour la reconstitution de la coupe, une évolution, déjà en application courante, a consisté à

la reconstitution de portions d'image dans les plans frontal et sagittal, partant d'une "pile" de coupes axiales transverses. Nous avons alors un système permettant l'analyse, dans les 3 dimensions et l'on comprend pourquoi cette méthode fut qualifiée de révolutionnaire par le corps médical (fig. 7-8).

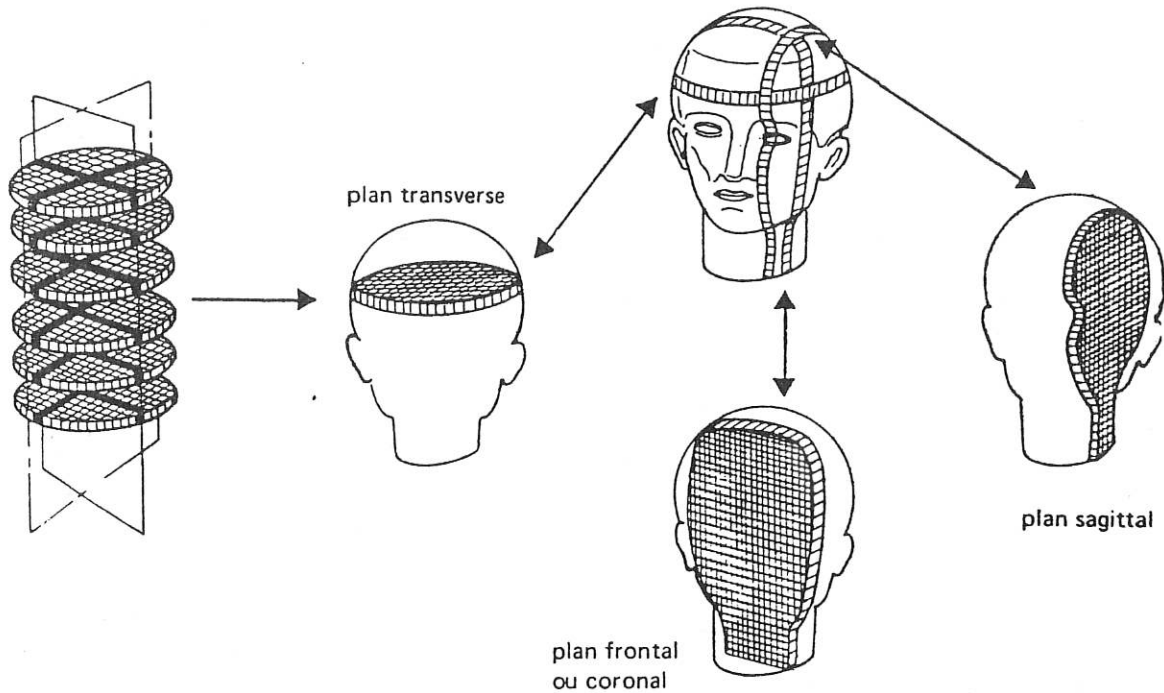


Fig. 7

Les valeurs numériques sont transformées en valeurs analogiques vidéo et sont représentées en niveau de gris sur un récepteur T.V.

Cette image pourra alors être photographiée soit sur un film ou sur papier photographique et ce document pourra être archivé dans le dossier du malade ou être donné au médecin correspondant.

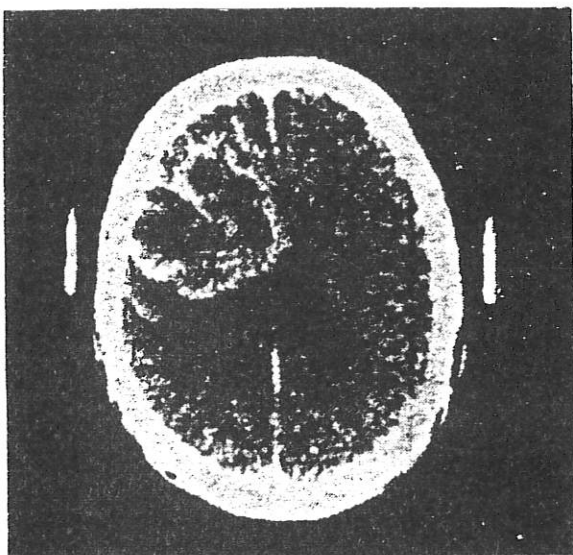
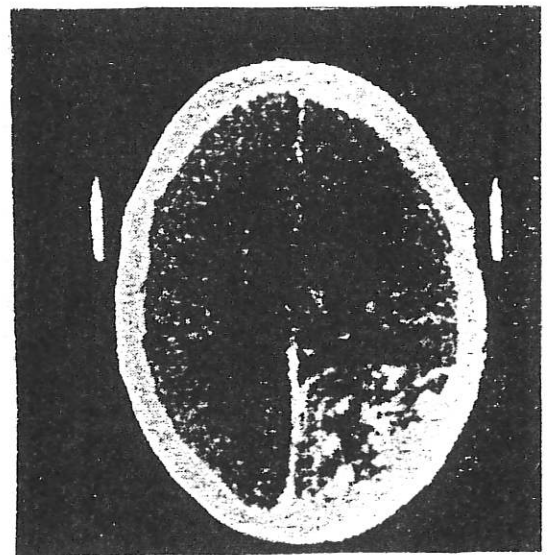


Fig. 8



d) - Cathétérisme (angiocardiographie - coronarographie ...)

Le cathétérisme cardiaque constitue un moyen d'investigation souvent indispensable. Le cathétérisme droit à partir d'une veine (généralement une veine du bras) permet de guider une sonde souple opaque aux rayons X, au fil du courant sanguin, jusque dans les cavités droites du coeur et de l'artère pulmonaire. Il a connu un extraordinaire développement et a littéralement bouleversé la cardiologie à partir des recherches conduites indépendamment, pendant la guerre, aux Etats-Unis et en France. Le cathétérisme gauche, plus difficile, permet d'aborder de manière rétrograde à partir d'une artère (le plus souvent l'artère fémorale) l'aorte et les cavités gauches du coeur. Ainsi sont rendus possibles, en n'importe quel point du coeur ou de la circulation générale ou pulmonaire, la mesure et l'enregistrement des pressions sanguines, les prélèvements pour oxymétrie (dosage de l'oxygène sanguin), l'injection de colorants, d'indicateurs radioactifs ou de substances iodées opaques aux rayons X, l'introduction de capteurs thermo-sensibles ou de microphones miniaturisés.

En permettant de mesurer le niveau des pressions intracardiaques et vasculaires et d'analyser leurs variations sous l'influence de l'effort ou des médicaments, de calculer le débit cardiaque et d'évaluer le siège, le volume et la direction des shunts (courts-circuits) intracardiaques anormaux, de détecter le lieu précis de production des souffles intracardiaques et de fixer par l'angiocardiographie la situation, la forme et les dimensions des cavités cardiaques, et des gros vaisseaux, ces techniques nouvelles sont la base des progrès fantastiques réalisés en 25 ans dans l'étude de l'insuffisance cardiaque et dans l'identification et le traitement des cardiopathies valvulaires et congénitales les plus complexes. La mise au point du cathétérisme des artères coronaires et le développement des techniques radiocinématographiques ont permis l'angiographie sélective de ces artères, apportant le moyen d'étudier chez l'homme vivant l'exacte morphologie des gros troncs coronariens et de détecter, le cas échéant le siège, la forme et l'étendue des rétrécissements et des occlusions pathologiques (fig. 9).

e) - Scintigraphie.-

Les isotopes radioactifs émettent des rayonnements qui ont des propriétés analogues à celles des rayons X ou à celles des rayonnements du radium. En injectant à un organisme des quantités importantes d'isotopes radioactifs (Iode 131, phosphore 32), on peut irradier intensément les tissus dans lesquels ceux-ci se fixent.

Un compteur muni d'un collimateur, c'est à dire d'une protection en plomb percée d'un orifice, est sensible uniquement aux radiations émises par les tissus qui se trouvent dans l'axe de l'orifice. En déplaçant ce détecteur devant un organisme, on suit les variations de la radioactivité d'une région à l'autre.

Si l'on y a préalablement introduit un isotope qui se fixe électivement dans certains tissus, on délimite l'organe correspondant. Cette visualisation de la distribution d'un isotope s'appelle scintigraphie.

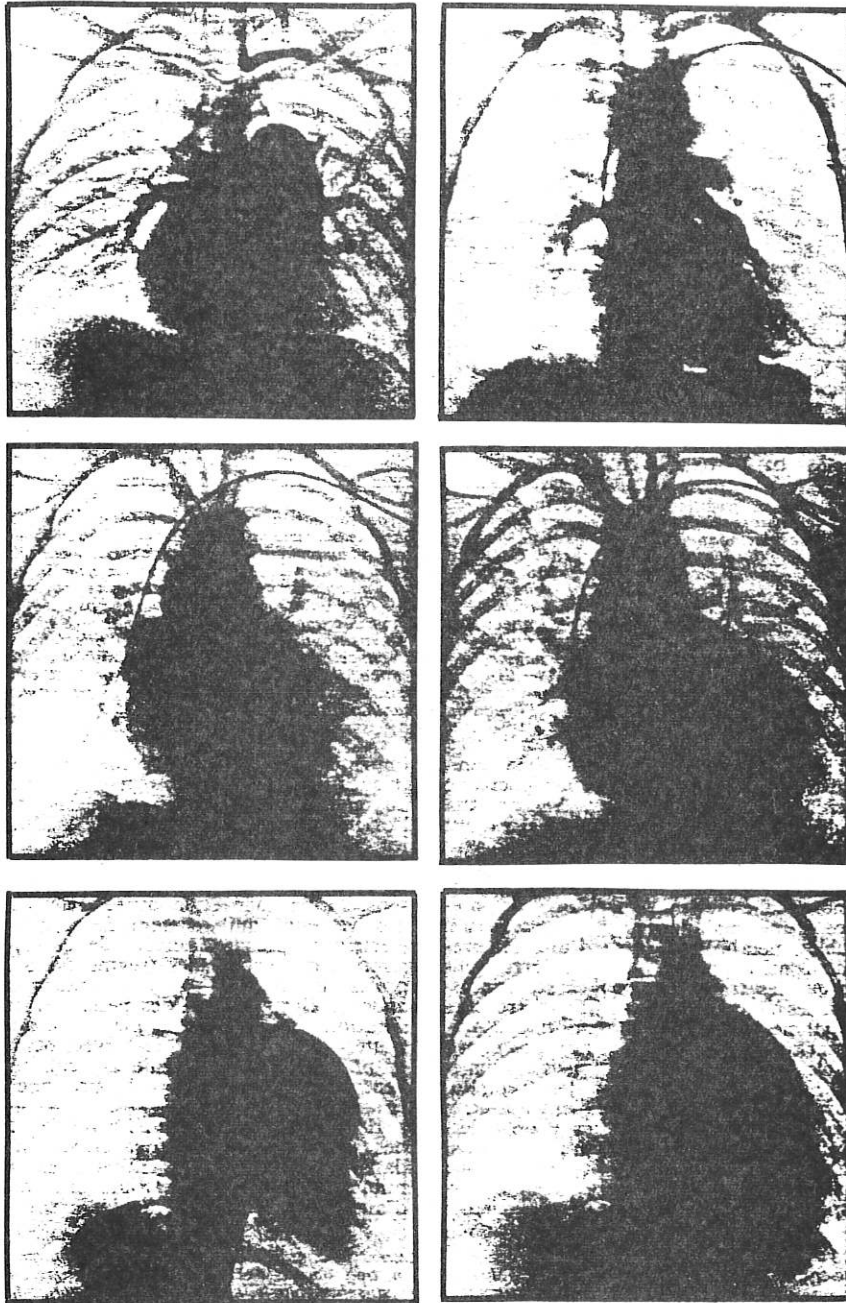


Fig. 9.- Angiocardiographies.

Dans le cas d'un examen radiologique, le rayonnement est émis par une source située en dehors de l'organisme ; le récepteur, constitué par un film photographique, apprécie le flux du rayonnement après sa traversée de l'organisme ; la formation d'une image est due aux variations d'atténuation du faisceau de rayons X dans les différentes régions.

Dans le cas de la scintigraphie, le rayonnement émis par une région de l'organisme est d'autant plus intense que sa concentration en radioéléments y est plus élevée ; par exemple, après l'administration d'iode 131 , la thyroïde sera une source radioactive. Cette technique permet de mesurer des variations de concentration. Comme le rayonnement émis par les isotopes radioactifs n'est pas très intense, on utilise, à la place de films radiologiques, des détecteurs plus sensibles (en général, des compteurs à scintillation).

6. -Utilisation des ultra-sons.

Les ondes sonores sont des ondes de pression qui se propagent dans un milieu élastique. La vitesse de propagation dépend de la rigidité et de la densité du milieu ; elle est de l'ordre de 340 m/s dans l'air et de 1500 m/s dans l'eau.

Une caractéristique bien connue des ondes sonores est de se réfléchir sur un obstacle en renvoyant un écho. A chaque séparation entre deux milieux de propriétés acoustiques différentes, une partie seulement de l'énergie est transmise, le reste est réfléchi par l'interface.

L'information qui a été la première utilisée et demeure la plus employée provient de l'étude de l'onde réfléchie. C'est cette onde réfléchie ou écho, que l'on détecte et que l'on exploite dans les sonars et dans les appareils d'échographie. L'onde transmise véhicule elle aussi une information sur le milieu, mais elle est plus difficile à exploiter.

Dans les techniques d'échographie, l'émetteur qui est une céramique d'ondes ultrasonores est appliqué sur la peau. Cette céramique ferro électrique, lorsqu'elle est soumise à une impulsion électrique, émet une onde ultrasonore très brève. Celle-ci se propage dans les tissus et se réfléchit sur les interfaces.

Les échos provenant de ces interfaces atteignent la céramique avec un retard par rapport à l'émission qui est d'autant plus grand que la surface réfléchissante est plus éloignée de la sonde.

Après l'émission, le transducteur est utilisé comme récepteur et les échos sont alors transformés en un signal électrique. Lorsque le temps nécessaire pour un aller et retour de l'onde ultrasonore sur une vingtaine de centimètres s'est écoulé, une nouvelle impulsion est émise et ainsi de suite.

Les échos sont présentés sur l'écran d'un oscilloscope.

La sonde est déplacée manuellement sur la peau et à chaque instant, les échos sont positionnés sur l'écran comme le sont les cibles dans le plan où la sonde est déplacée. On analyse le plan de proche en proche et on obtient une image des contours des organes en quelques secondes. Cette cadence de formation des images nécessite l'emploi d'un oscilloscope à mémoire. Sur les appareils les plus récents, les images sont stockées sur des mémoires numériques et elles sont présentées sur un moniteur de télévision avec une gamme de gris qui correspond à l'amplitude des différents échos. (fig. 10, 11, 12, 13, 14, 15).

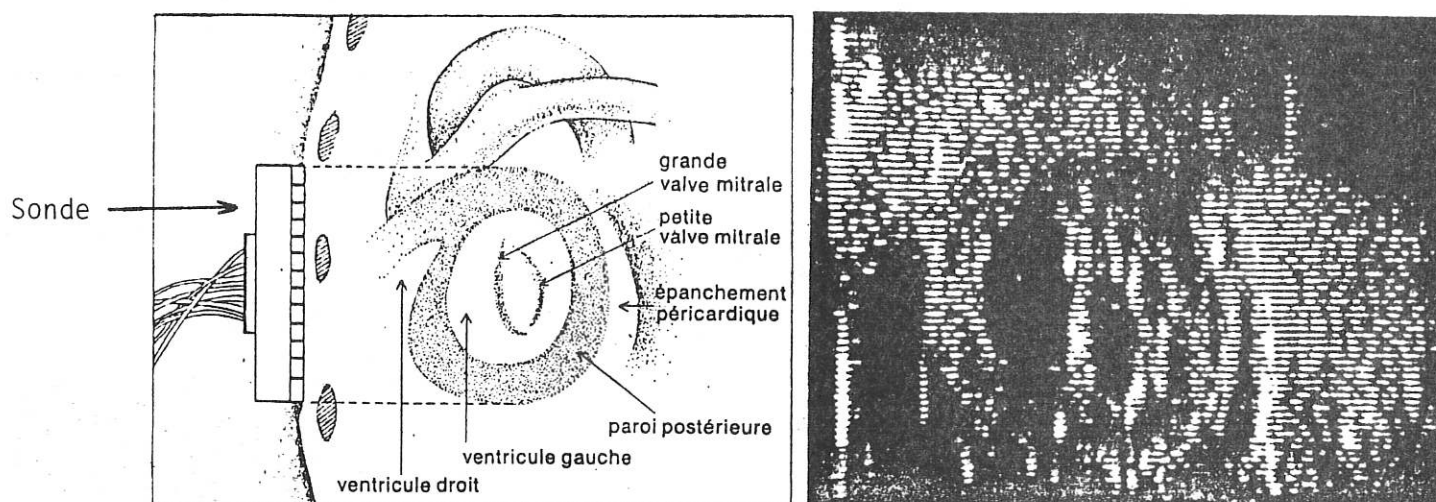


Fig. 10 - Les systèmes qui fournissent des images « en temps réel » permettent d'observer des organes en mouvement rapide comme le cœur. Cette « photo instantanée » du cœur montre un plan de coupe passant par les deux ventricules. La valve mitrale est ouverte. On note la présence anormale de liquide derrière la paroi postérieure du ventricule gauche, dans le péricarde (péricardite).

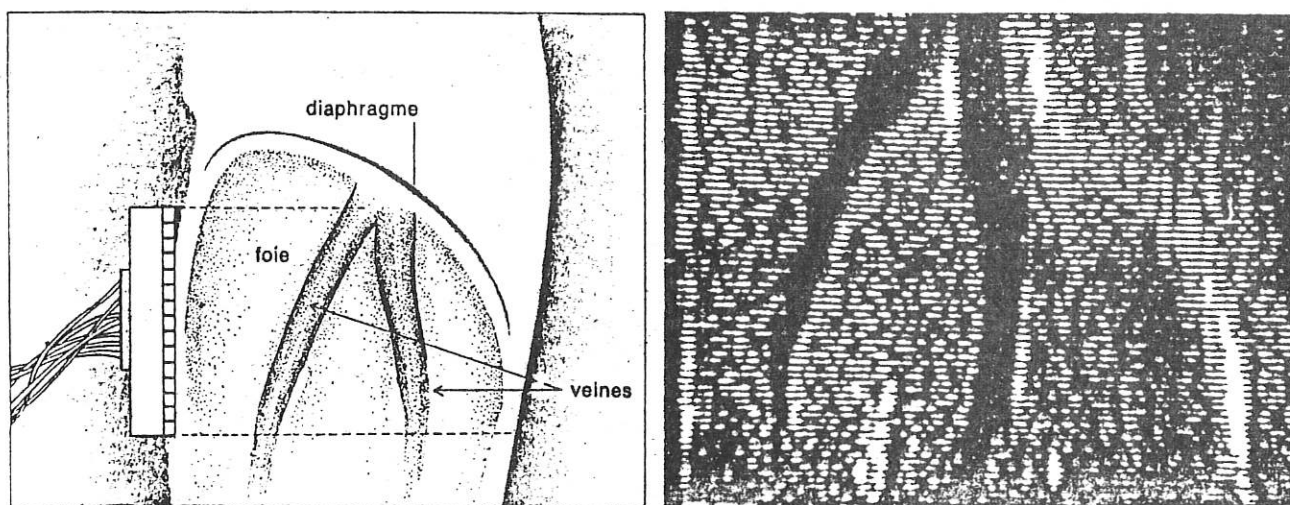


Fig. 11 - Lorsque la sonde est placée en regard du foie, on peut y déceler certaines anomalies, comme ici la présence de veines très dilatées.

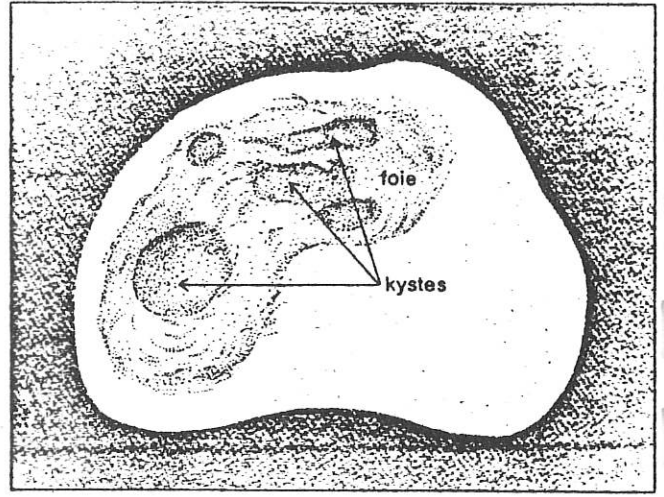
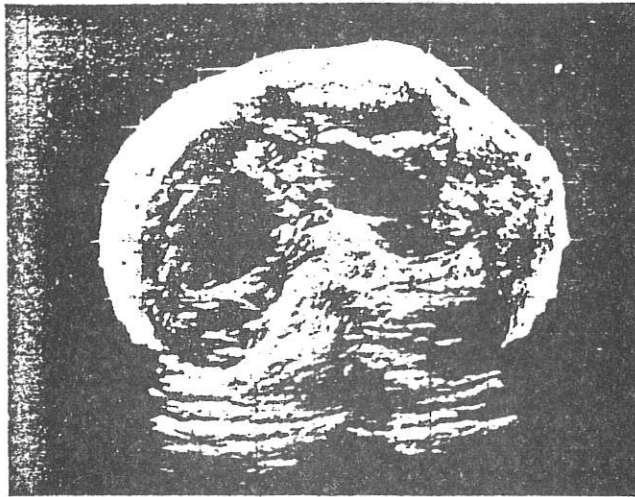


Fig. 12 - Le diagnostic médical est une des applications de l'échographie. Chez ce patient dont le foie était très volumineux cette technique a révélé à l'intérieur de celui-ci de nombreuses images de kystes.

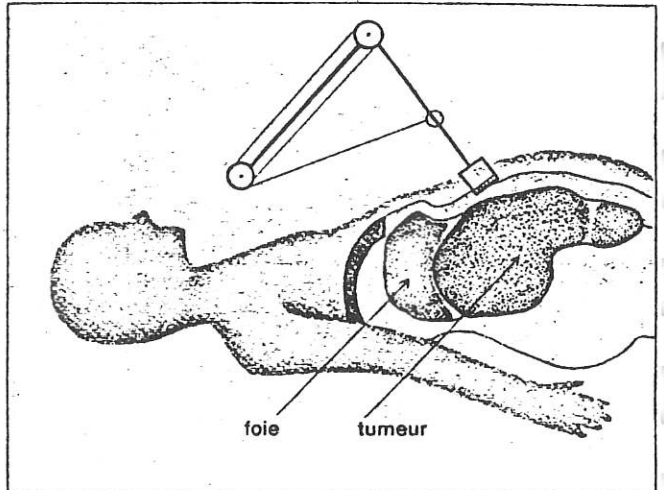
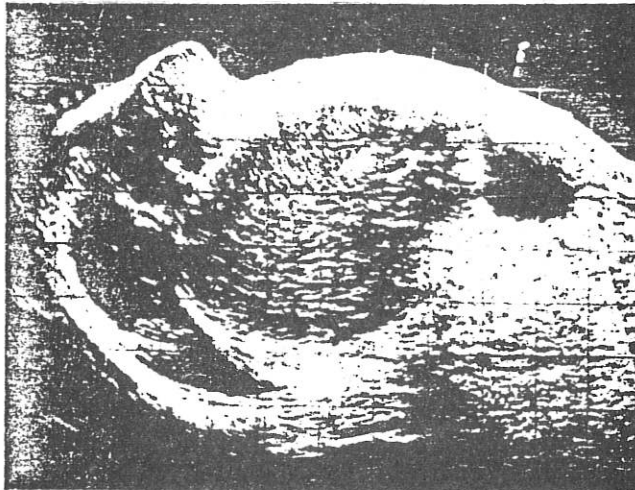


Fig. 13 - Cet autre malade présente une masse anormale dans la partie droite de l'abdomen. Les images en échographie B manuelle montrent une très grosse tumeur du rein droit qui refoule le foie vers le haut.

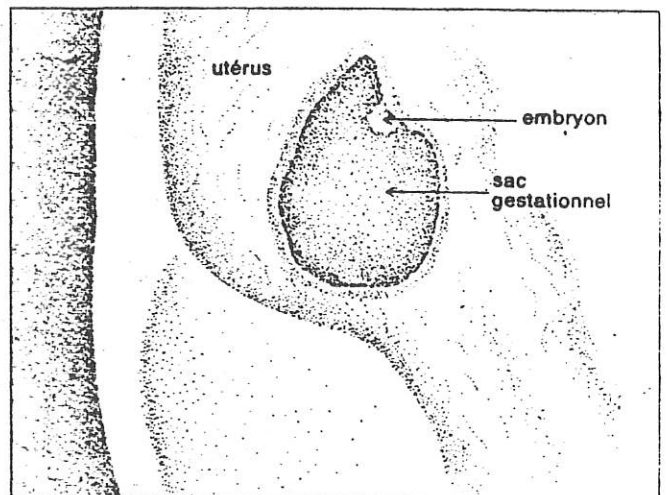
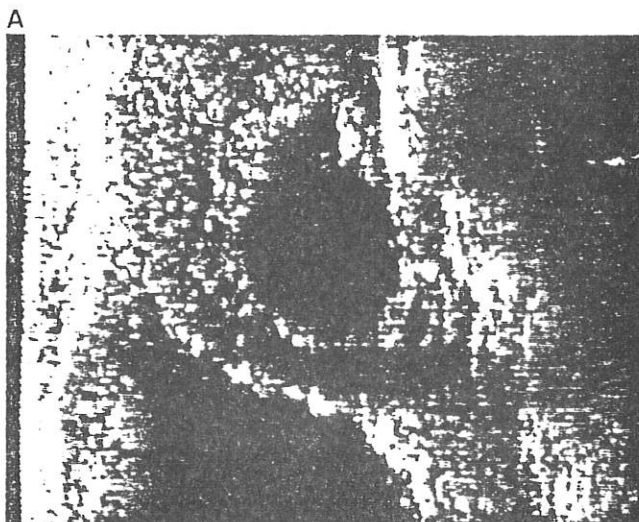


Fig. 14 - Les appareils d'échographie permettent de suivre sans danger et avec précision l'évolution de la grossesse. Sur la figure A, il s'agit d'une grossesse d'un mois et demi environ. On voit en haut et à droite, au sein du sac gestationnel, les échos de l'embryon qui, à cette date, mesure environ un centimètre et demi. Lors de l'examen où les images sont vues en mouvement, on distingue très bien dans cette région des battements rapides (160 par minute): le cœur de l'embryon.

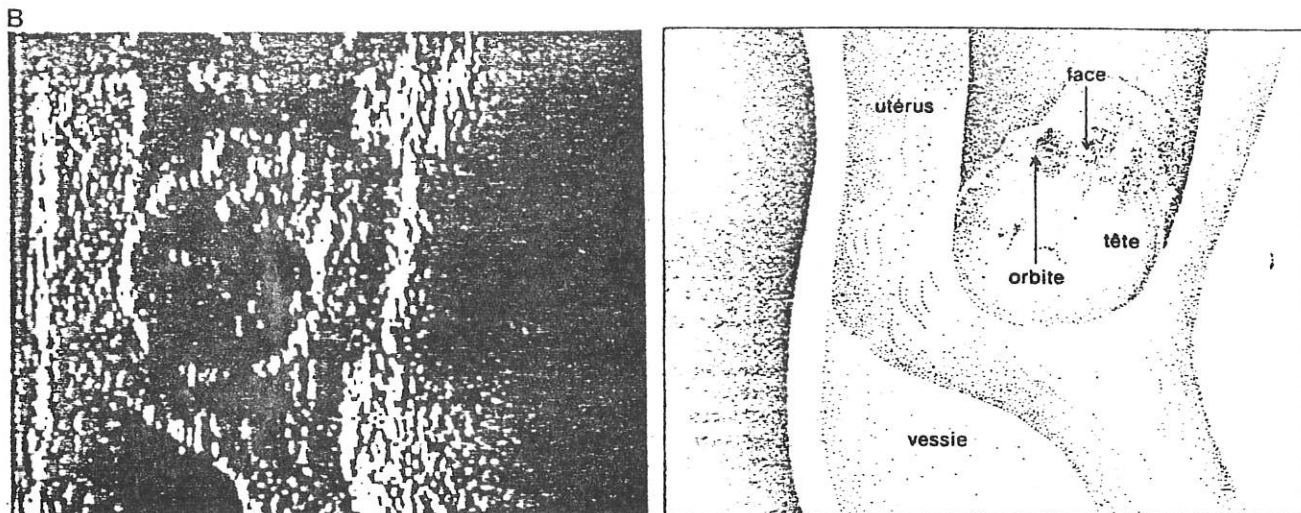


Fig. 15 - Sur la figure B, la grossesse est plus avancée (trois mois et demi) et la photo montre une coupe de la tête du fœtus qu'il est possible de mesurer précisément.

7.- La résonance magnétique nucléaire.

La RMN permet d'obtenir des images de coupes transversales fines du corps humain ; cette technique consiste à exciter, au moyen d'ondes radio H_1 , des noyaux atomiques placés dans un champ magnétique H_0 (H_1 est perpendiculaire à H_0). Les noyaux qui résonnent sont ceux qui possèdent un nombre impair de nucléons (protons ou neutrons) et dont le spin n'est pas nul (moment cinétique lié à leur rotation intrinsèque). Ils sont assimilables à un gyroscope et prennent une orientation privilégiée.

Les noyaux d'hydrogène (protons) sont les plus abondants dans la matière vivante. Excités par des ondes radio, les noyaux révèlent leur position en émettant un signal de fréquence précise pendant un bref instant. Le signal est recueilli dans une bobine B perpendiculaire à H_0 et H_1 (fig. 16). Les techniques informatiques permettent de construire les images à partir des signaux émis.

Sur la figure 17 on a reconstitué neuf images d'une tête humaine à partir d'une matrice de données tridimensionnelles portant sur la distribution des protons des molécules de lipides et d'eau dans le sang et les tissus.

Sur la figure 18 on observe la région lombaire, sur la figure 19, le coeur, et sur la figure 20 la comparaison entre une image obtenue par tomographie et une image obtenue par RMN.

En France, les travaux effectués sur les applications biomédicales de la RMN sont encore peu nombreux et n'ont commencé pour la plupart qu'en 1978.

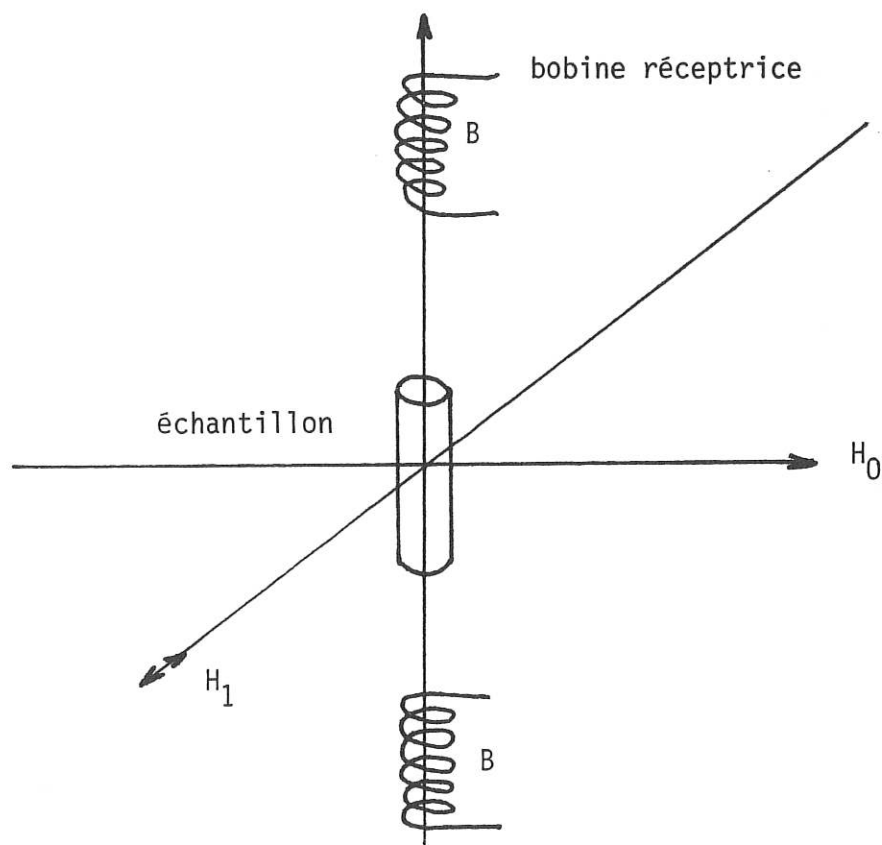


Fig. 16.- Principe de R.M.N.

En ce qui concerne l'imagerie RMN, la firme C.G.R. a lancé un programme de développement industriel qui devrait lui permettre d'installer quelques machines à des fins d'évaluations en milieu clinique dès 1983.

8.- La Thermographie.

La température du corps humain est constante. Il rayonne de la chaleur qui se propage vers l'extérieur sous forme de rayonnement infrarouge. Cette émission est inégale d'un point à un autre du corps de sorte qu'une véritable carte thermique de la peau peut être dressée. Cette carte peut subir de nombreuses altérations pathologiques et ce sont ces altérations que le médecin va étudier et interpréter.

La thermographie est une technique totalement inoffensive. Actuellement deux méthodes sont utilisées, soit la thermographie de contact, soit la téléthermographie.

L'une des applications majeures de la thermographie est la détection des tumeurs du sein qui peuvent apparaître, en effet, comme hyperthermiques du fait de l'inflammation qui entoure la tumeur. Mais, en raison d'un certain manque de spécificité, la thermographie

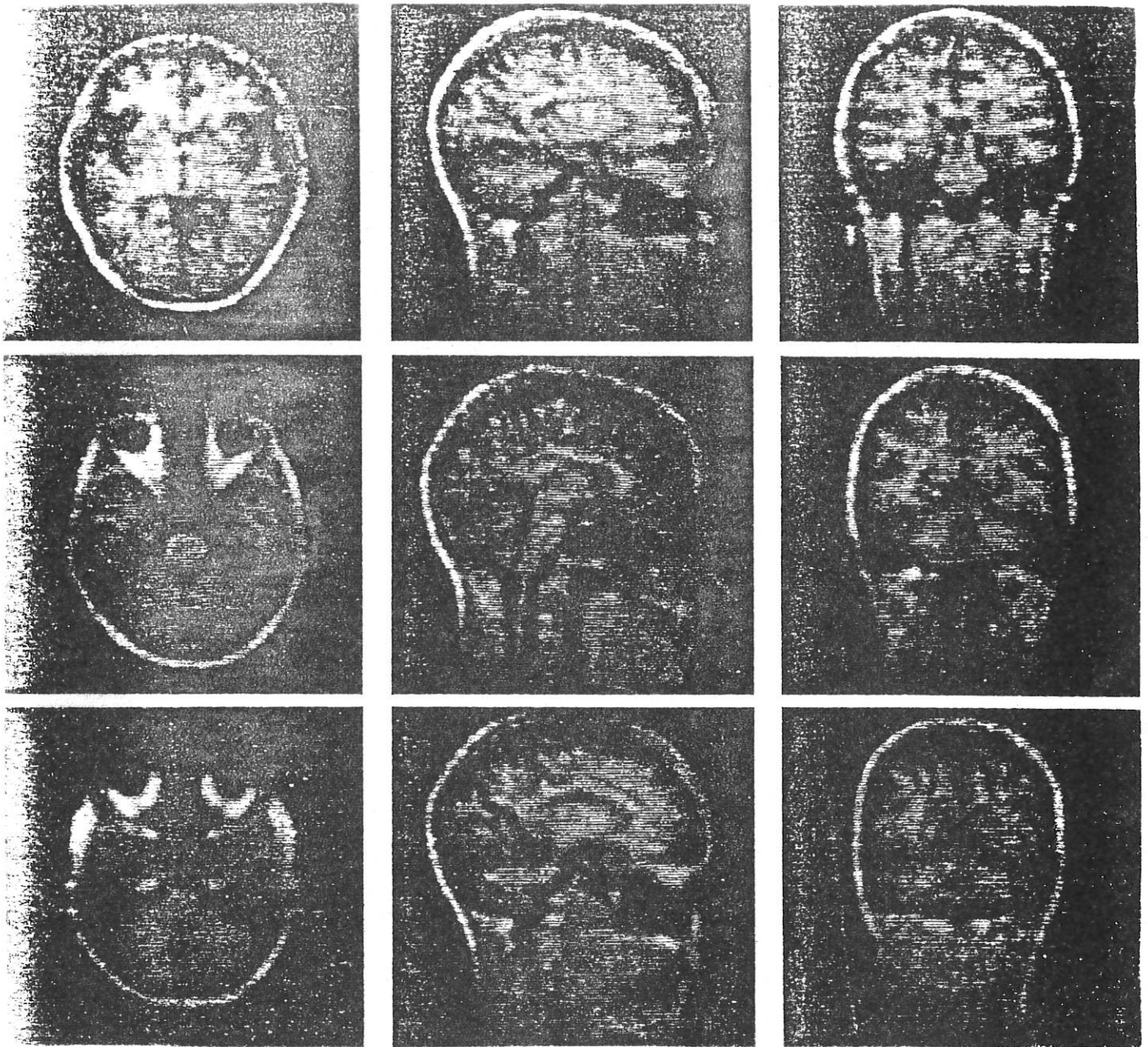


Fig. 17.- Les 3 coupes transverses de la gauche sont faites à des niveaux de profondeurs différentes : à l'intérieur du cerveau (en haut), au niveau de l'oeil (au milieu) et juste au dessous de l'oeil (en bas).

Les 3 images centrales sont des coupes longitudinales passant par le plan central (au centre) et par deux plans parallèles à trois centimètres de part et d'autre du plan central. Les 3 images de droite présentent la tête vue de face au point le plus large du cerveau (en haut) et à 2 endroits situés plus en arrière.

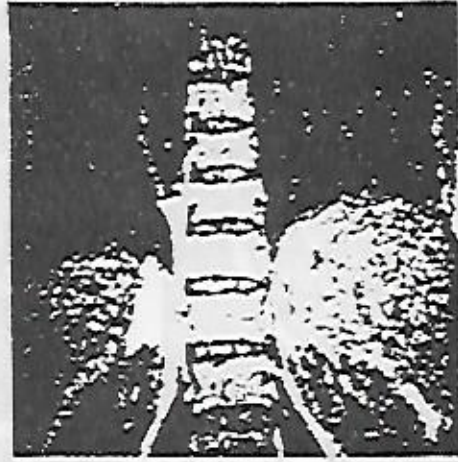
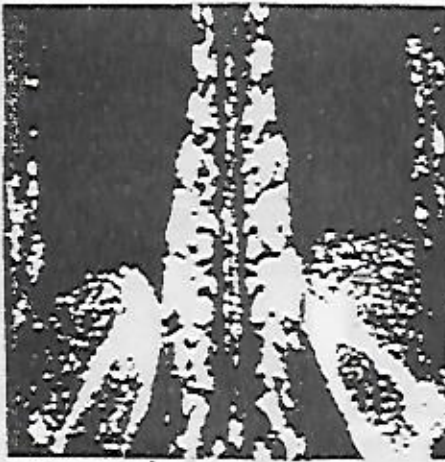


Fig. 18.- LA REGION LOMBAIRE de la colonne vertébrale d'un patient est obtenue par deux reconstructions à partir d'un ensemble de données de RMN tridimensionnelles. L'image de gauche représente une coupe passant par la moelle épinière, dans la colonne vertébrale. Sur l'image de droite, on a déplacé le plan de l'image de quelques centimètres afin d'observer les disques intervertébraux. Ces images sont habituellement très difficiles à obtenir sur une aussi grande surface par tomographie ou par toute autre méthode d'imagerie. Elles ont été réalisées par les chercheurs de la Société Technicare.

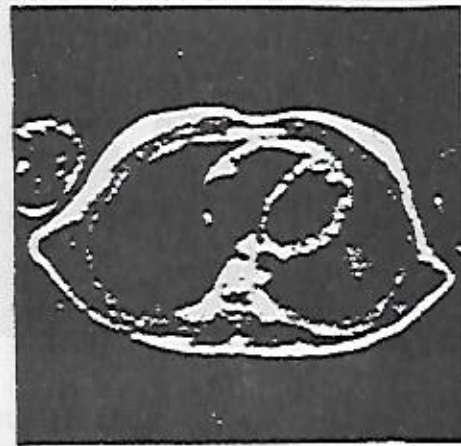
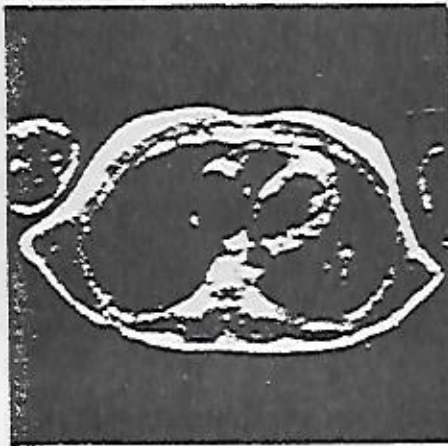


Fig. 19.- ON OBSERVE LE COEUR en faisant des coupes transversales d'une poitrine humaine par RMN (les deux formes plus petites de chaque côté de la poitrine sont dues aux bras). L'image de gauche représente le coeur à la fin d'une systole, quand les ventricules se sont vidés. L'image de droite montre la fin d'une diastole, quand les ventricules sont pleins. Ces images, fournies par la Société Technicare, ont été réalisées en synchronisant la prise de données avec le cycle cardiaque.



Fig. 20.- UNE IMAGE DE RMN donne plus de renseignements sur les tissus lésés qu'une image par tomographie aux rayons X, comme on le voit sur ces deux coupes transversales du cerveau d'un patient atteint d'une tumeur cérébrale. Sur l'image de RMN (à gauche), obtenue à partir de données en trois dimensions, la tumeur est la zone circulaire sombre du côté droit du cerveau. Sur l'image obtenue par tomographie (à droite), la tumeur n'apparaît pas. Ces images, réalisées à l'Hôpital Central du Massachusetts, sont reproduites avec l'autorisation du Journal of Computerized Axial Tomography.

constitue, plus qu'un outil diagnostique, un outil pronostique par l'appréciation de l'étendue de la "zone chaude".

Le futur de la thermographie concerne sans doute la détection des variations de température des organes internes avec le développement des caméras détectant des rayonnements de plus grandes longueurs d'onde qu'actuellement.