

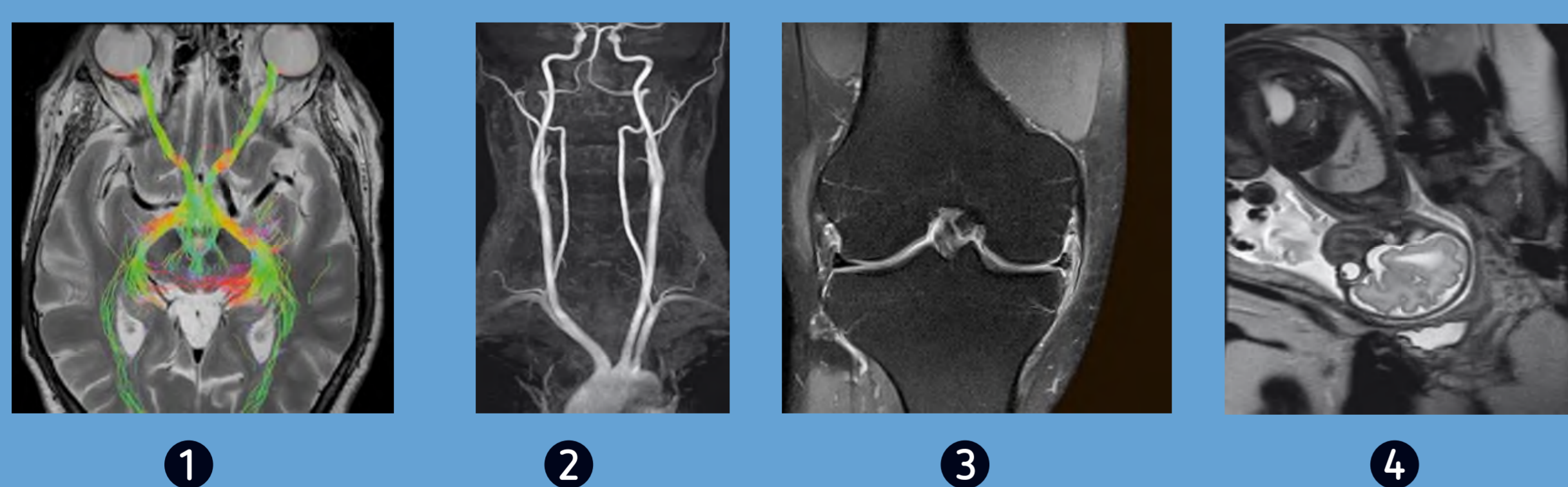
Les développements en imagerie médicale au bénéfice de la chirurgie

Jusque dans les années 70, depuis la découverte des rayons X par Wilhelm Röntgen en 1895, l'imagerie radiologique est projective, de type photographique. La visualisation osseuse est satisfaisante mais l'étude des « tissus mous » reste très médiocre. Il est néanmoins possible de visualiser des structures internes vasculaires, digestives, urinaires, après injection ou ingestion de produit de contraste.

À partir de 1975 apparaissent différentes techniques qui proposent des images numériques en coupes grâce aux développements des capteurs, de l'électronique de mesure et de l'informatique : **le scanner X** (rayons X), **l'échotomographie** (ultrasons), **la gammatomographie** (traceurs émetteurs de rayonnement gamma) et le PET scan (à positions) puis l'imagerie par résonance magnétique (**IRM**, utilisant les champs magnétiques).

Ces techniques constituent une véritable révolution au plan diagnostique. Désormais, les praticiens disposent d'images anatomiques permettant une localisation précise des lésions dans leur environnement anatomique, et un contraste performant entre les tissus normaux et pathologiques. La participation de Grenoble à ces développements technologiques est majeure, grâce à son environnement scientifique (Universités, CNRS, INSERM, CEA) et en particulier à l'implication du Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information (LETI-CENG).

Le Magniscan 5000 Gauss-Thomson, premier équipement IRM de 0,5 tesla construit par la CGR (C^e générale de radiologie). Cliché CHU Grenoble. Appareil installé au CHU de Grenoble en juin 1985, dans un bâtiment spécifique : l'unité IRM (département de radiologie).



Différentes images IRM

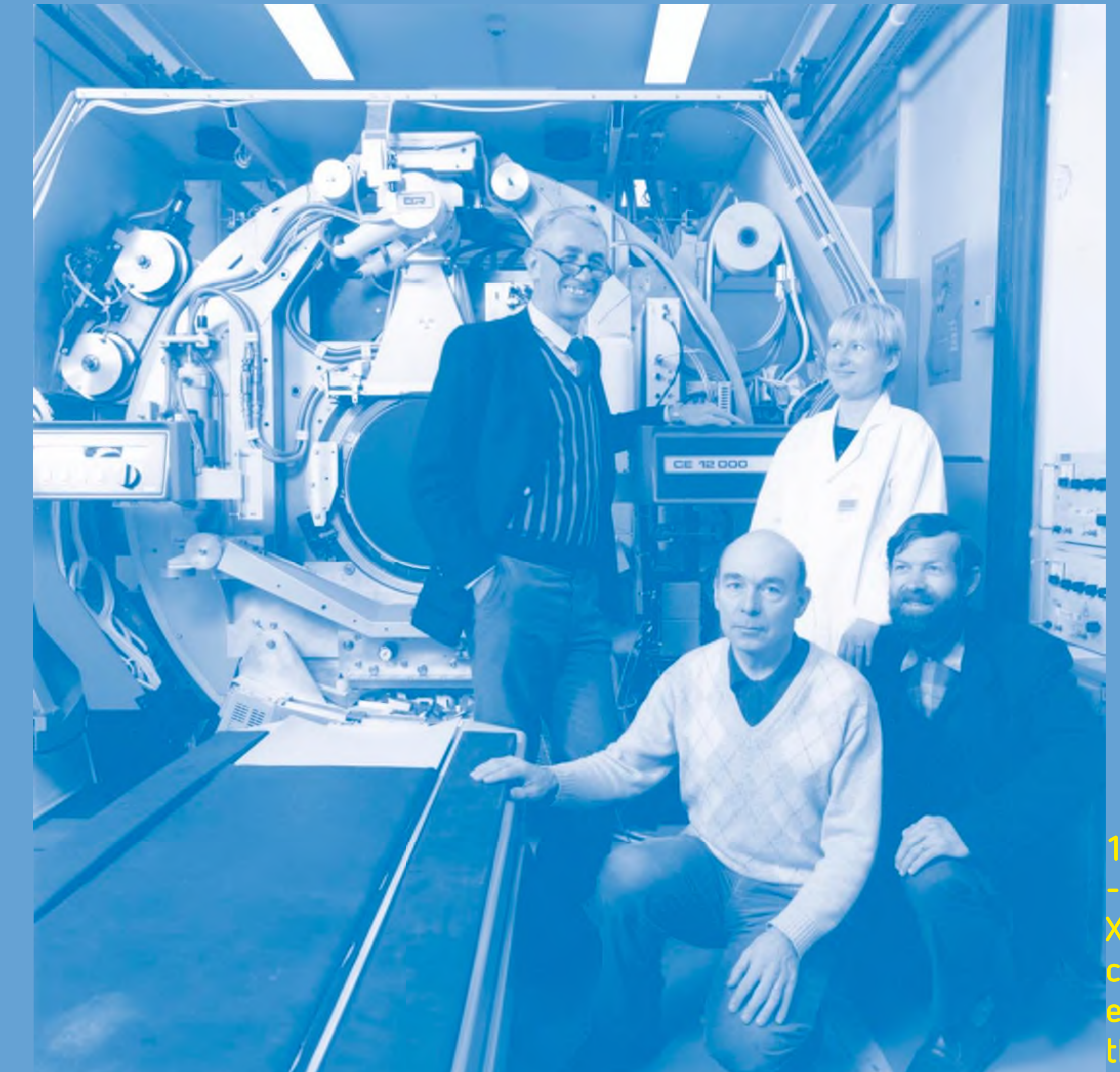
Clichés CHU Grenoble

- 1 Coupe axiale cérébrale, avec tractographie (suivi des fibres optiques).
- 2 Vue angiographique cervicale dans un plan frontal des artères carotides et vertébrales.
- 3 Coupe frontale d'un genou.
- 4 Coupe frontale d'un bébé *in utero*.

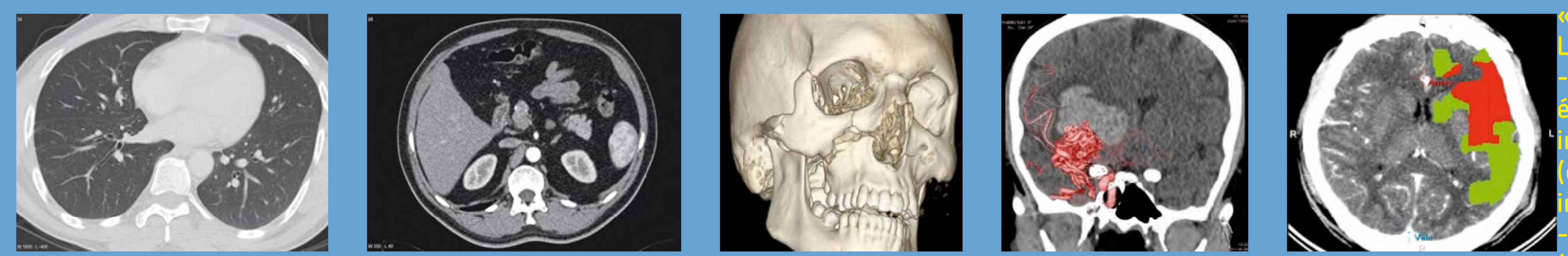
Les avancées décisives de l'imagerie médicale à Grenoble

Le premier prototype de scanner X corps entier 1976

Construit par le LETI, cet appareil innovant est installé en 1978 au CHU, dans le Service de radiologie de Michel Geindre et Max Coulomb.



1er panneau
- Photo du 1er scanner X (1976, LETI - E Tournier chef de projet) et premières images TDM thoraco-abdominale de 1978-79
- Photo du 1er PET scan, avec mesure de « temps de vol » (1982, LETI)
- Photo du 1er équipement IRM 0.5T, installé au CHU en 1985 (et / ou bâtiment IRM inauguré en 1985)
- Echographie (équipement et images)



Trois équipements de « tomographie par positons »

1980

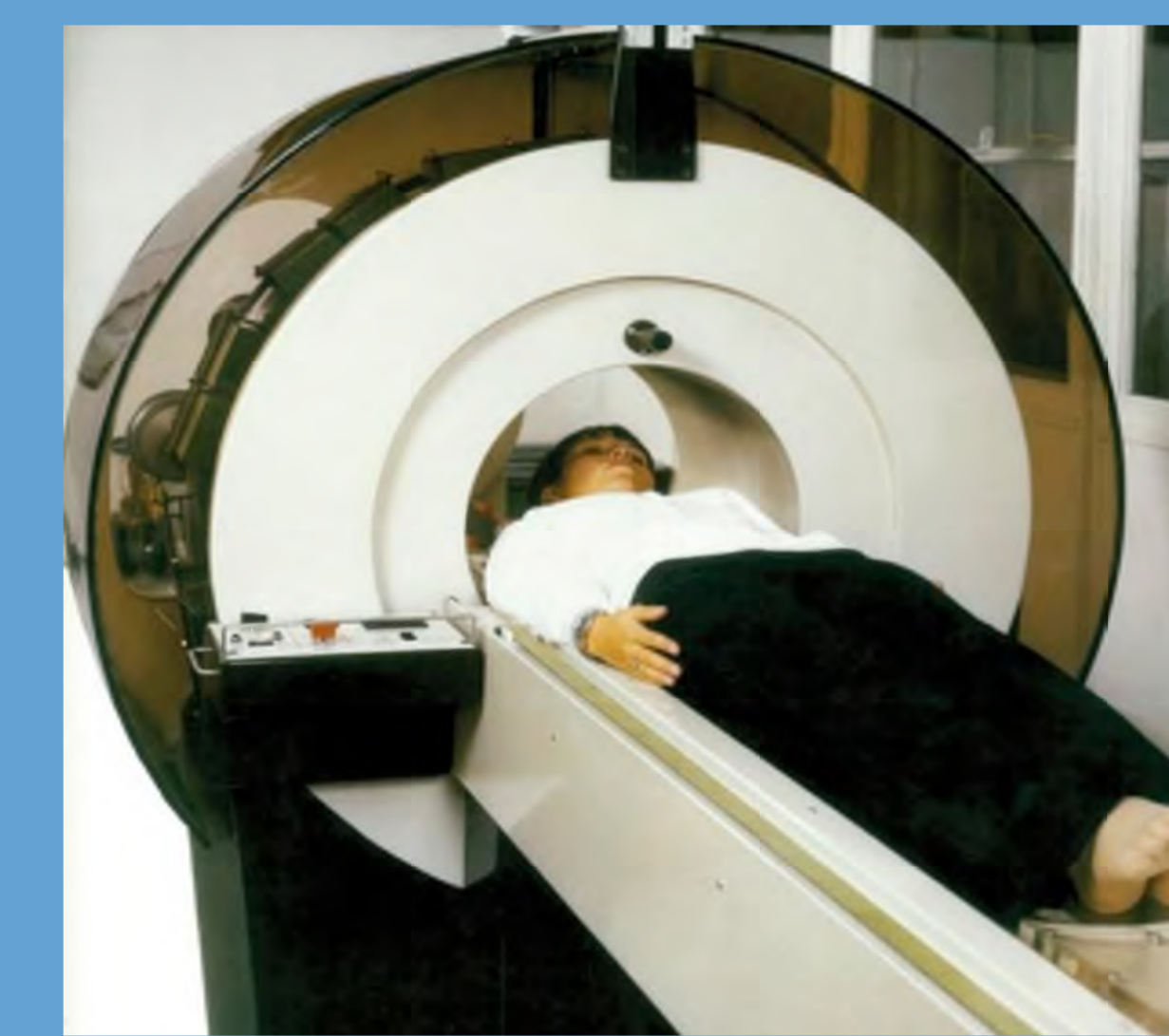
Construits par le LETI, ces appareils équiperont les Centres de recherche français d'Orsay, Lyon et Caen. Ces développements vont de pair avec l'utilisation de nouvelles gammacaméras et de nouveaux marqueurs radioactifs pour la médecine nucléaire.

2 Prototype du premier tomographe corps entier (scanner X ou TDM) Cliché CEA
Ce tomodensitomètre à rotation seule, utilisant un multidétecteur, a été construit au LETI-CENG en 1976. Au centre de l'image, le chef de projet : Edmond Tournier.

3 Premières images du scanner X au niveau thoracique et abdominal supérieur Clichés CHU Grenoble. Images réalisées en 1980 sur l'équipement prototype du LETI.

Différentes images de scanner X cérébral aujourd'hui Clichés CHU Grenoble

- 1 Reconstruction 3D de la boîte crânienne.
- 2 Coupe frontale montrant un anévrisme rompu sur l'artère cérébrale moyenne à droite, associé à un hématome.
- 3 Coupe axiale avec étude de la perfusion cérébrale chez un patient présentant un accident vasculaire cérébral à gauche (en rouge, la zone d'ischémie et en vert, la zone de pénombre).



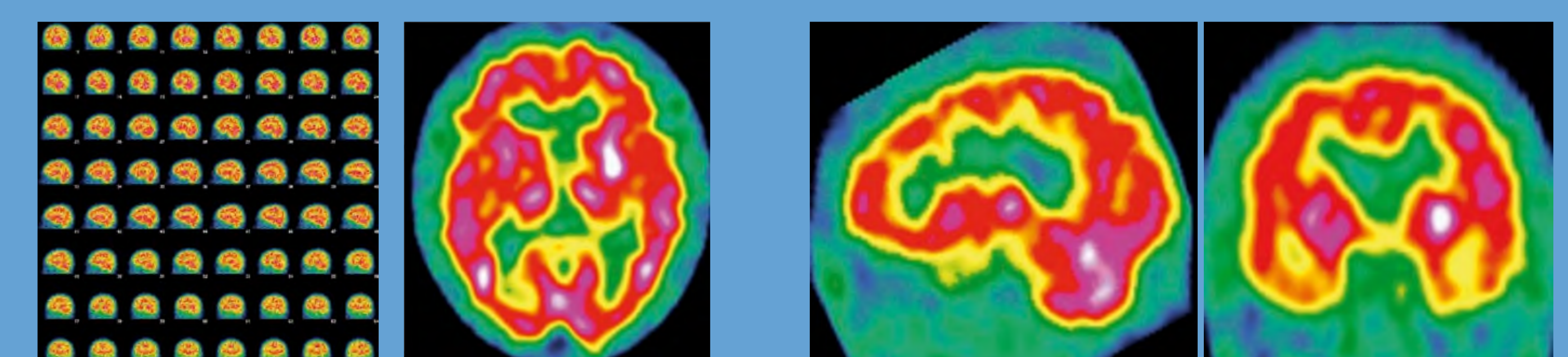
Le PET scan, premier tomographe par positons, construit au LETI-CENG Cliché LETI. Années 1982-1985.

L'échographie

Dès 1980, le développement des techniques échographiques est spectaculaire, en particulier en pédiatrie, en obstétrique et en cardiologie.



Équipement de médecine nucléaire (gammatomographie) et images réalisées au niveau cérébral © MO Habert, 2004. Série de 64 projections et 3 coupes reconstruites.



Le premier équipement IRM de 0,5 tesla

1985

Construit en France par la C^e générale de radiologie, cet appareil est installé à l'Unité IRM sous la direction de Jean-françois Le Bas.



Équipement IRM de 3 tesla aujourd'hui. Cliché CHU Grenoble



Guidage d'un geste neurochirurgical : implantation sous IRM d'électrodes de stimulations cérébrales profondes dans les noyaux sub-thalamiques, chez un patient parkinsonien. Cliché CHU Grenoble. Réalisée par S. Chabardes (Grenoble) et P. Larson (San Francisco) à l'Unité IRM en 2012, une telle intervention nécessite un matériel chirurgical adapté (a-magnétique).

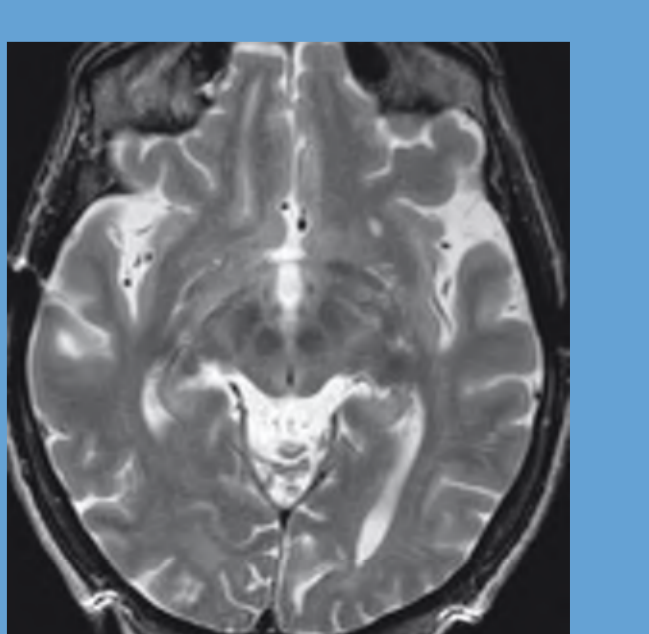


Image ESRF inutilisable (ne s'ouvre pas)

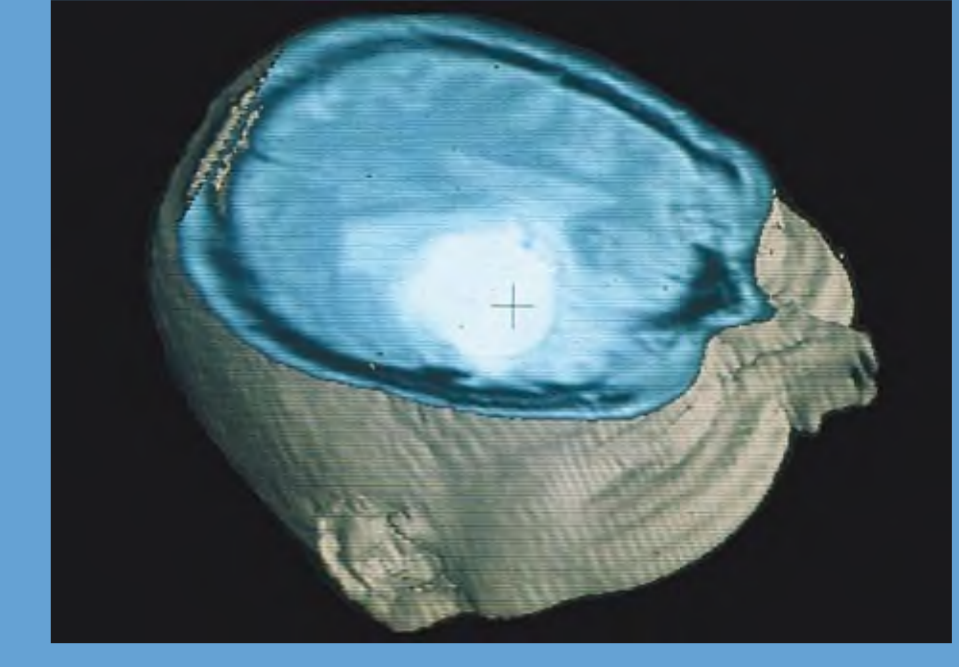
Les applications de l'imagerie médicale aujourd'hui

L'imagerie médicale permet de nouvelles approches en radiologie :

- **anatomiques**, avec une étude, en coupes ou en 3D, des différents organes et de leurs lésions.
- **fonctionnelles**, où l'on s'intéresse, pour un organe, à un paramètre fonctionnel spécifique : activité myocardique, activité cérébrale, fonction rénale...;
- **métaboliques** : consommation d'oxygène et de glucose, distribution et devenir d'un marqueur, endogène ou exogène, dans un organe cible ;
- **interventionnelles**, lorsque l'image permet de guider une ponction/biopsie ou un geste thérapeutique : angioplastie, embolisation, chimiothérapie.

Au bloc chirurgical, différentes utilisations de l'imagerie se sont développées :

- D'abord en **neurochirurgie**, avec l'utilisation d'un cadre stéréotaxique, permettant le positionnement rigide de la tête du patient sur la table opératoire et servant de référentiel pour localiser la cible.
- Ensuite, en **chirurgie orthopédique**, avec l'utilisation de « marqueurs externes » fixés sur la zone d'intervention et sur l'outil chirurgical (diodes lumineuses), repérés par une caméra et un système informatique de recalage sur des images 3D acquises préalablement.
- Puis la réalisation du **geste chirurgical sous contrôle de l'image** en temps réel, avec des équipements d'imagerie dédiés, l'échographie en particulier, pour la chirurgie viscérale.
- Actuellement, la réalisation d'un **geste chirurgical robotisé** est possible : à partir de données images, le chirurgien programme le geste qui sera réalisé par l'intermédiaire d'un « robot ».



Biopsie cérébrale d'une tumeur sous cadre stéréotaxique ? au bloc neurochirurgical après repérage de la cible en IRM 3D
Clichés CHU Grenoble
Maribel Chenin ???
Neuromate ???

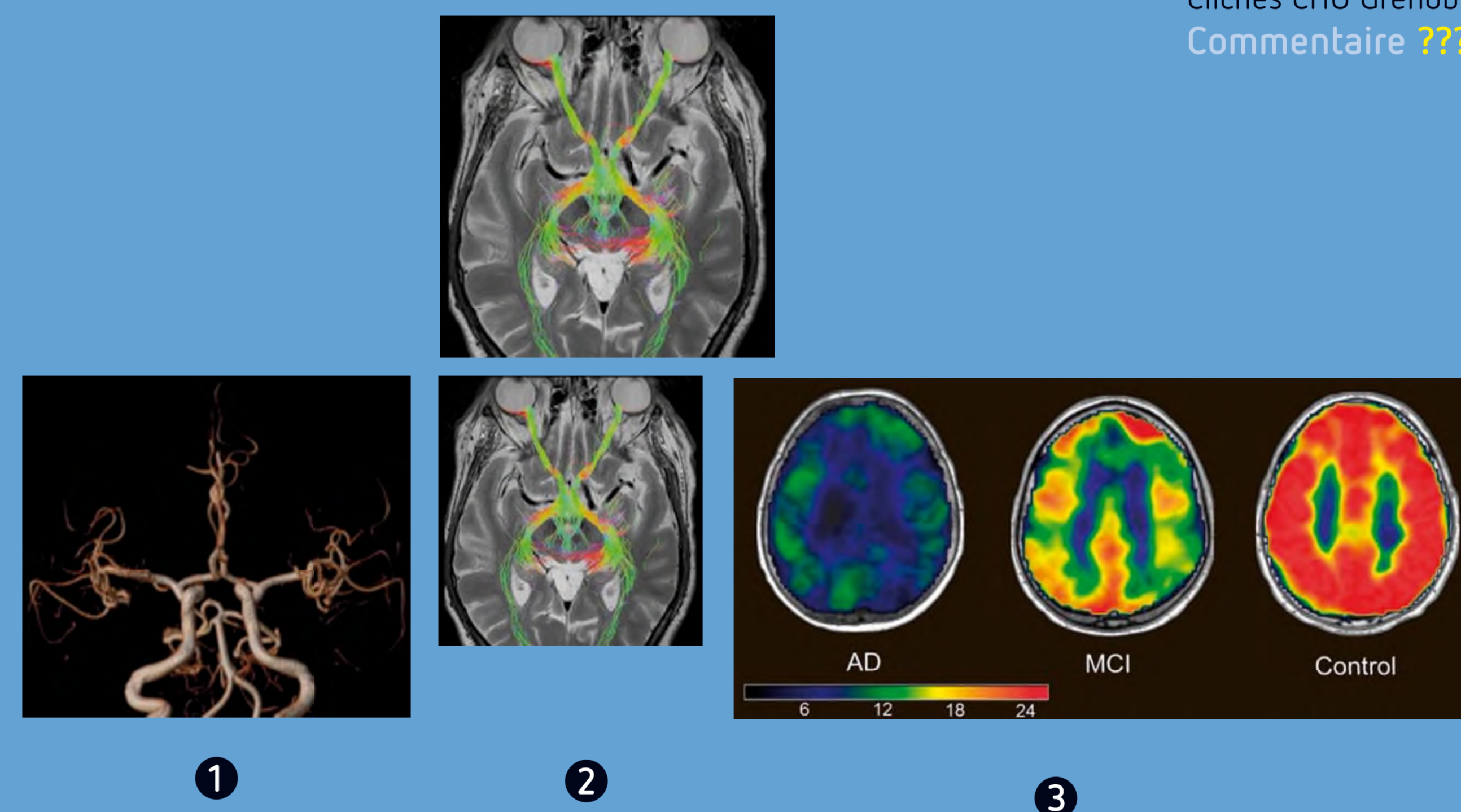
RÉPARTIR LES IMAGES ENTRE LES 2 PANNEAUX ???

Diverses images TDM, IRM, Med Nucléaire (anatomiques, fonctionnelles et métaboliques)
- Intervention de stimulation cérébrale profonde en Neurochirurgie, avec cadre stéréotaxique
- Intervention de stimulation cérébrale profonde sous IRM à 0,5 T, à l'Unité IRM
- IRM bas champ (0,15 T) au bloc neurochirurgical
?????????
?????????

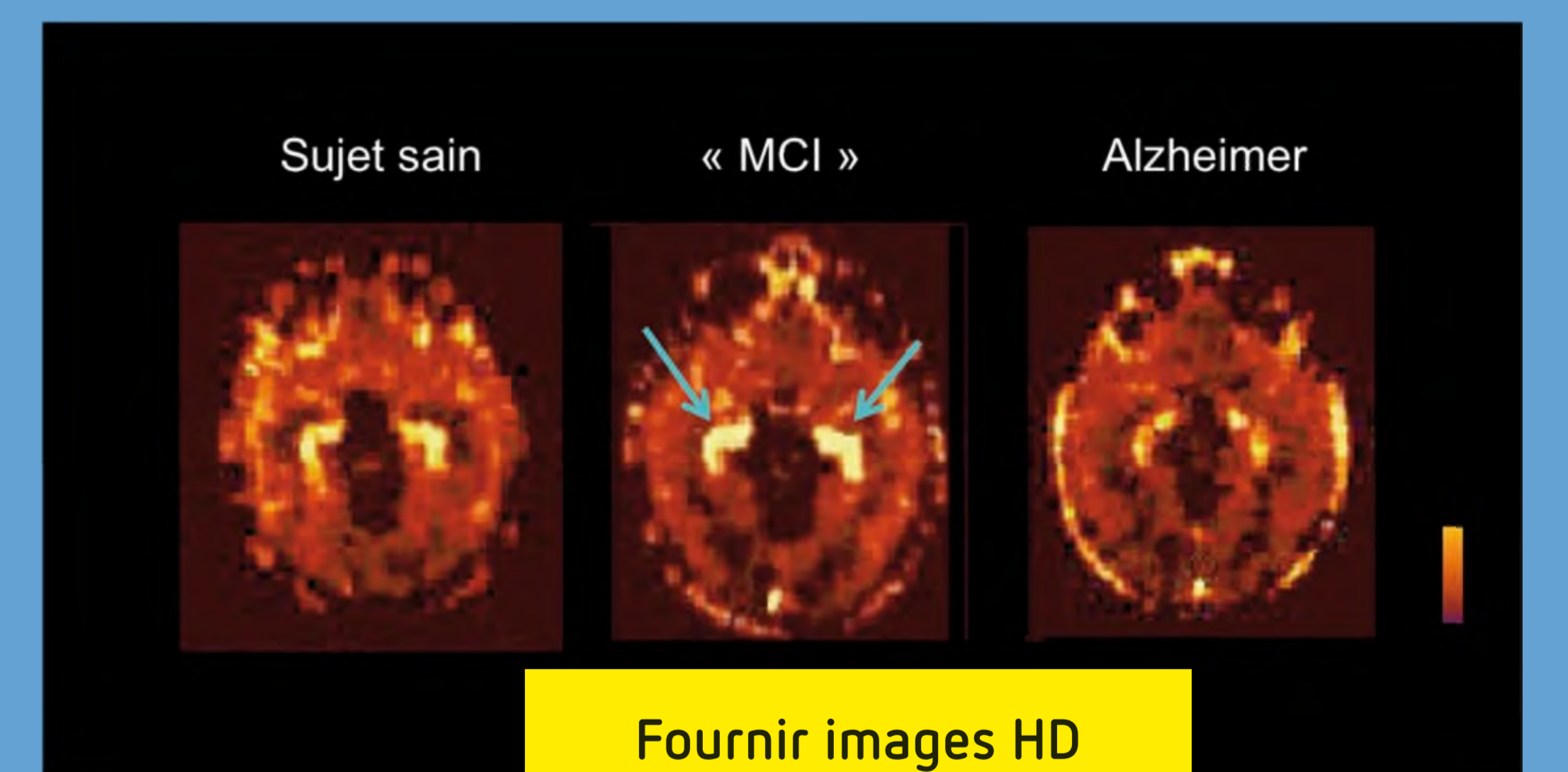


À détourner par TL
Fournir image HD si possible

Équipement échographique pour repérage de la prostate avant biopsie
Clichés CHU Grenoble ???
Commentaire ???

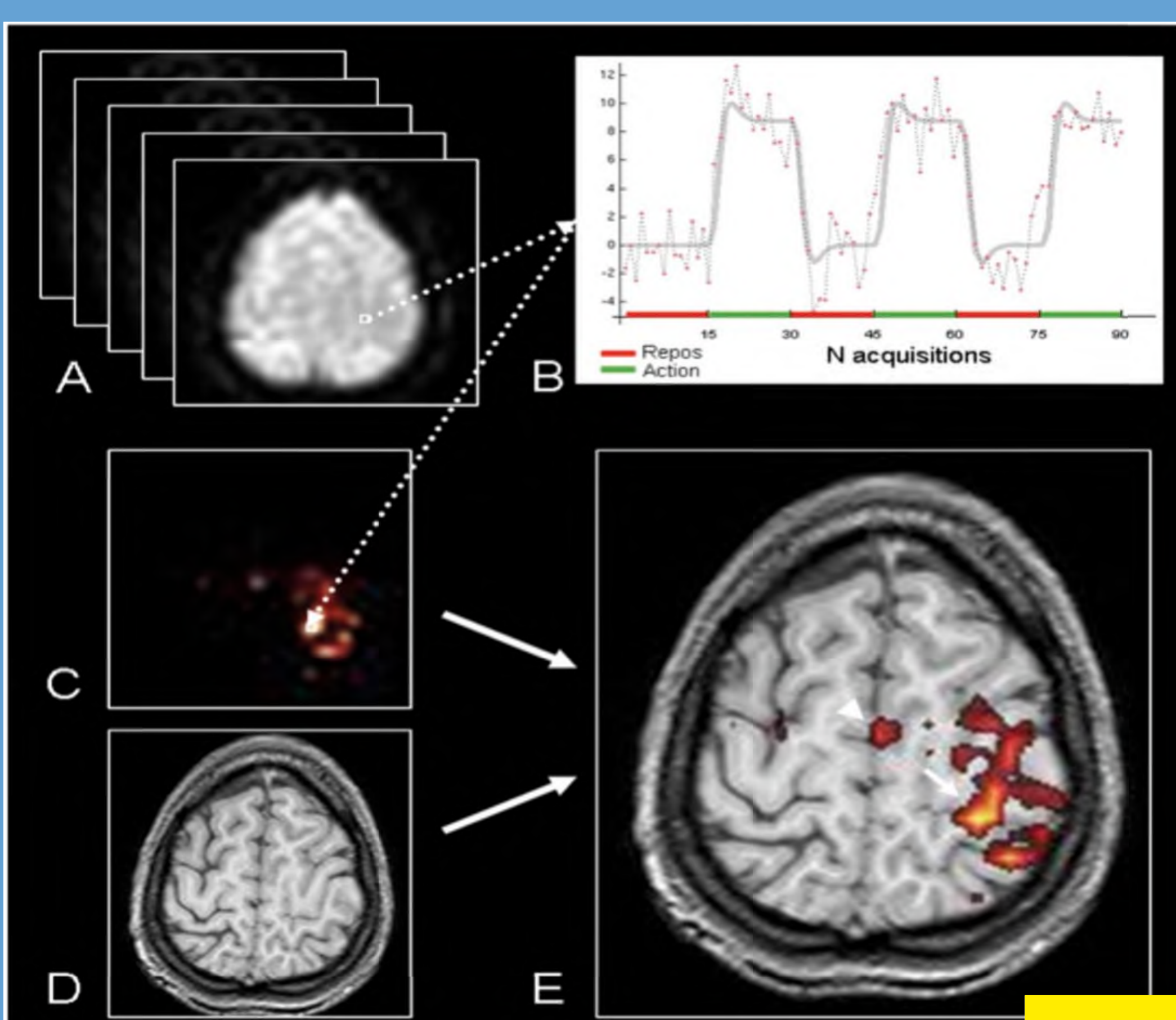


Différentes approches en IRM cérébrale :
Clichés CHU Grenoble
1 Angiographie.
2 Tractographie des voies optiques en imagerie de diffusion.
3 Images fonctionnelles comparatives de la vas ? réactivité cérébrale chez un sujet Alzheimer (AD), un sujet avec troubles psycho-cognitifs (MCI), et un sujet normal (control).



Fournir images HD séparées sans flèches ni texte

Image au PET scan : les récepteurs sérotoninergiques 5-HT_{1A} et β-amyloïdes
Clichés Truchot et al., Neurology (HCL & CERMEP), 2007
TEP / [1¹¹C]MPPF : une surexpression des 5-HT_{1A} lors du stade pré-déméntiel ?



Exercice main droite

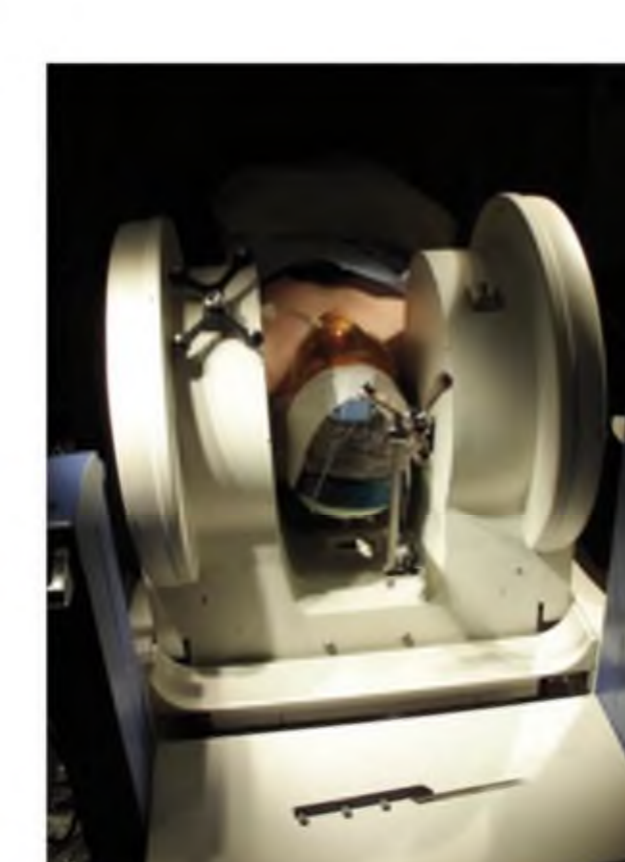
Fournir images HD séparées sans flèches ni texte

Schéma de principe de l'étude par IRM fonctionnelle d'une activité cérébrale motrice
Clichés CHU Grenoble
1 Commentaire ???
explication ?

La recherche autour de l'IRM Intra opératoire



Fournir images HD séparées sans texte



Équipement IRM Polestar N10 (0,1 tesla)
Clichés CHU Grenoble
Installé en 2003 au bloc neurochirurgical, pour un « contrôle sur table » du geste opératoire.

Les gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur

Image du Viky
????????
????????

Grenoble est l'un des lieux pionniers en matière de gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur (GMCAO) et de leur développement croissant dans le domaine de la chirurgie.

Au niveau international, c'est à Grenoble en particulier que scientifiques, médecins et chirurgiens ont développé les tout premiers systèmes d'assistance informatisée et robotisée du geste médico-chirurgical.

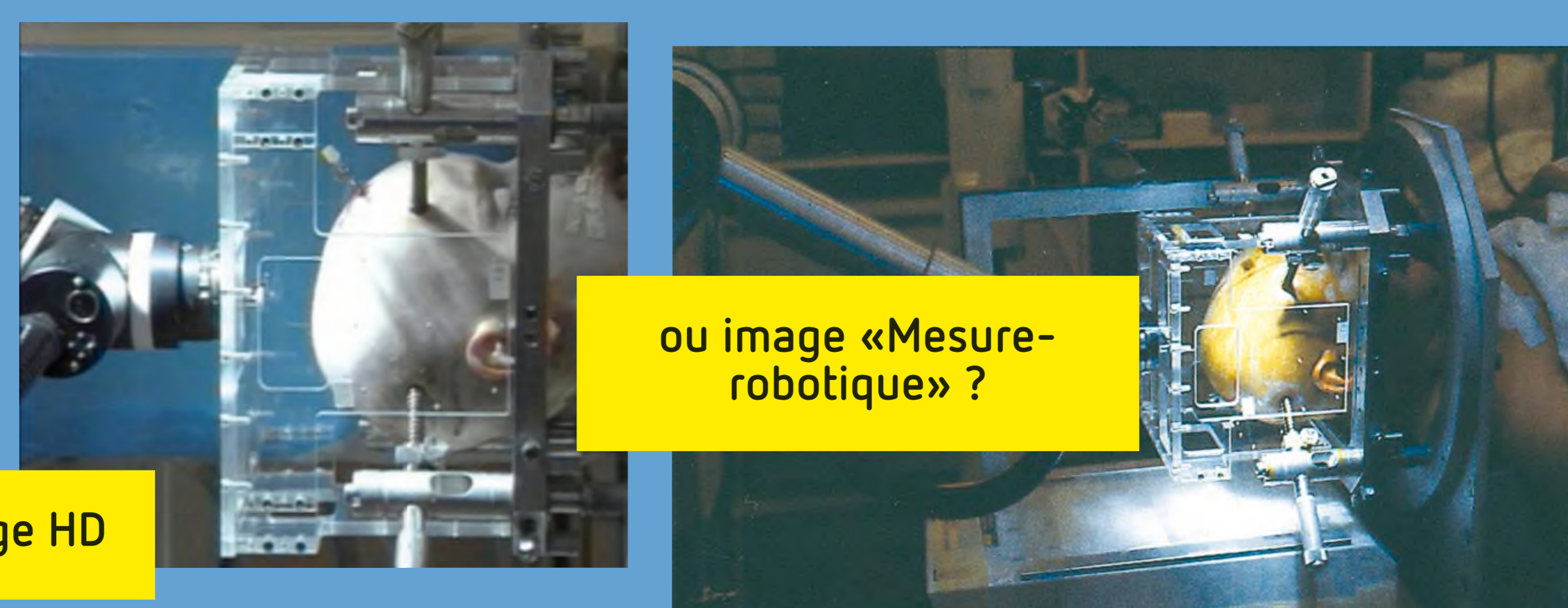
Dès 1980, les informaticiens et mathématiciens **Philippe Cinquin, Jacques Demongeot** et **Maribel Chenin** instaurent les premiers outils de visualisation d'images médicales numériques et tridimensionnelles. L'exploitation de ces images permet de modéliser des connaissances plus globales, et de guider le geste chirurgical pour le rendre moins invasif, plus précis, plus sûr.

Ces différentes recherches sont menées actuellement au sein du laboratoire **TIMC-IMAG** (Techniques de l'ingénierie médicale et de la complexité - Informatique, mathématiques, applications, Grenoble) réunissant scientifiques et cliniciens autour de l'utilisation de l'informatique et des mathématiques appliquées pour la compréhension et le contrôle des processus normaux et pathologiques en biologie et santé.

De nombreuses « premières » ont vu le jour à Grenoble. En 1989, le premier robot est développé pour guider le geste de neurochirurgie stéréotaxique. De nombreuses autres applications se succèdent : radiothérapie de la prostate (1993), chirurgie des ligaments croisés du genou (1994), chirurgie du rachis (1995), chirurgie orthognatique (1995), chirurgie prothétique du genou (1997), chirurgie endo-nasale (1997), etc. Ces applications s'étendent actuellement aux domaines de la chirurgie digestive, cardiovasculaire, urologique, en radiologie et en médecine nucléaire.

Aujourd'hui, tout un champ de nouvelles applications s'ouvre avec la miniaturisation des dispositifs et les technologies récentes : impression 3D, microsystèmes électromécaniques, microrobots implantables et déformables, développements en IA (intelligence artificielle).

Pourquoi pas plutôt des images issues des panneaux Mesure-robotique ?? (ou du livre)

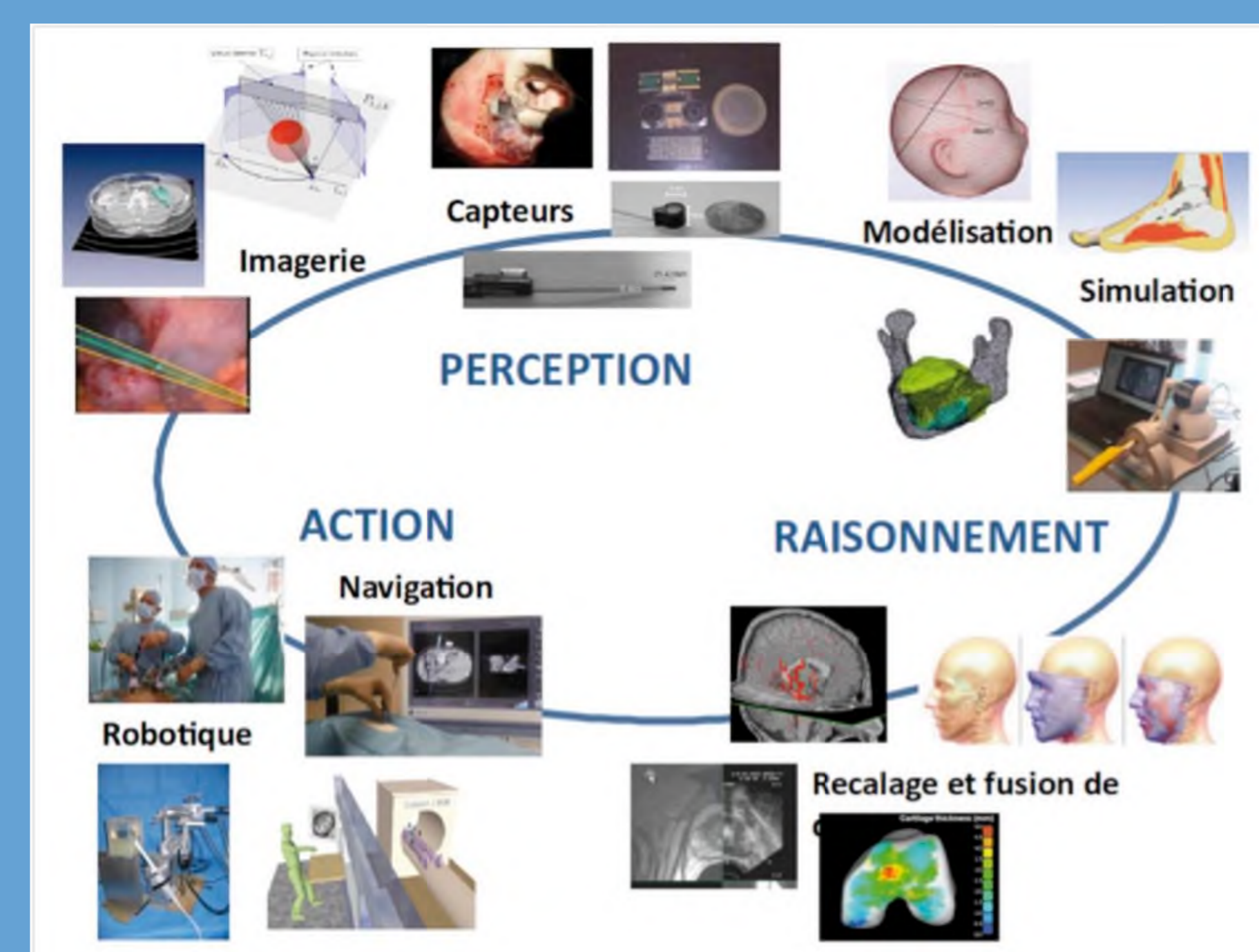


Patient équipé d'un cadre stéréotaxique. Crédit ??? Système mécanique permettant de relier patient, robot et données pré-opératoires issues d'images médicales (scanner, IRM...) où le geste chirurgical a pu être planifié de façon optimale.

fournir image HD

ou image «Mesure-robotique» ?

La méthodologie



Inutilisable. >> Schéma sans images ?

Boucle perception-raisonnement-action
Crédit ???
Schéma caractérisant les gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur

L'apport des GMCAO à Grenoble : trois exemples d'applications

Neurochirurgie : un robot de chirurgie stéréotaxique

1989
L'acquisition préalable d'images cérébrales du patient équipé du cadre stéréotaxique, suivie d'une fusion de ces données, permet de planifier une trajectoire optimale et de réaliser précisément au bloc opératoire des biopsies ciblées (tumeurs), l'implantation d'électrodes d'enregistrement (épilepsie) ou de stimulations (maladie de Parkinson). Industrialisé sous le nom de Neuromate, le système développé fut utilisé pour la première fois sur patient en 1989, puis en routine clinique sur un grand nombre de patients.



Image déjà utilisée sur panneau «imagerie»

Chirurgie du cerveau minimalement invasive, avec une précision millimétrique grâce au système de guidage stéréotaxique, 1989. Crédit ??? Technique mise au point à Grenoble par Alim-Louis Benabib, Stéphane Lavallée, JYY Troccaz et Philippe Cinquin.

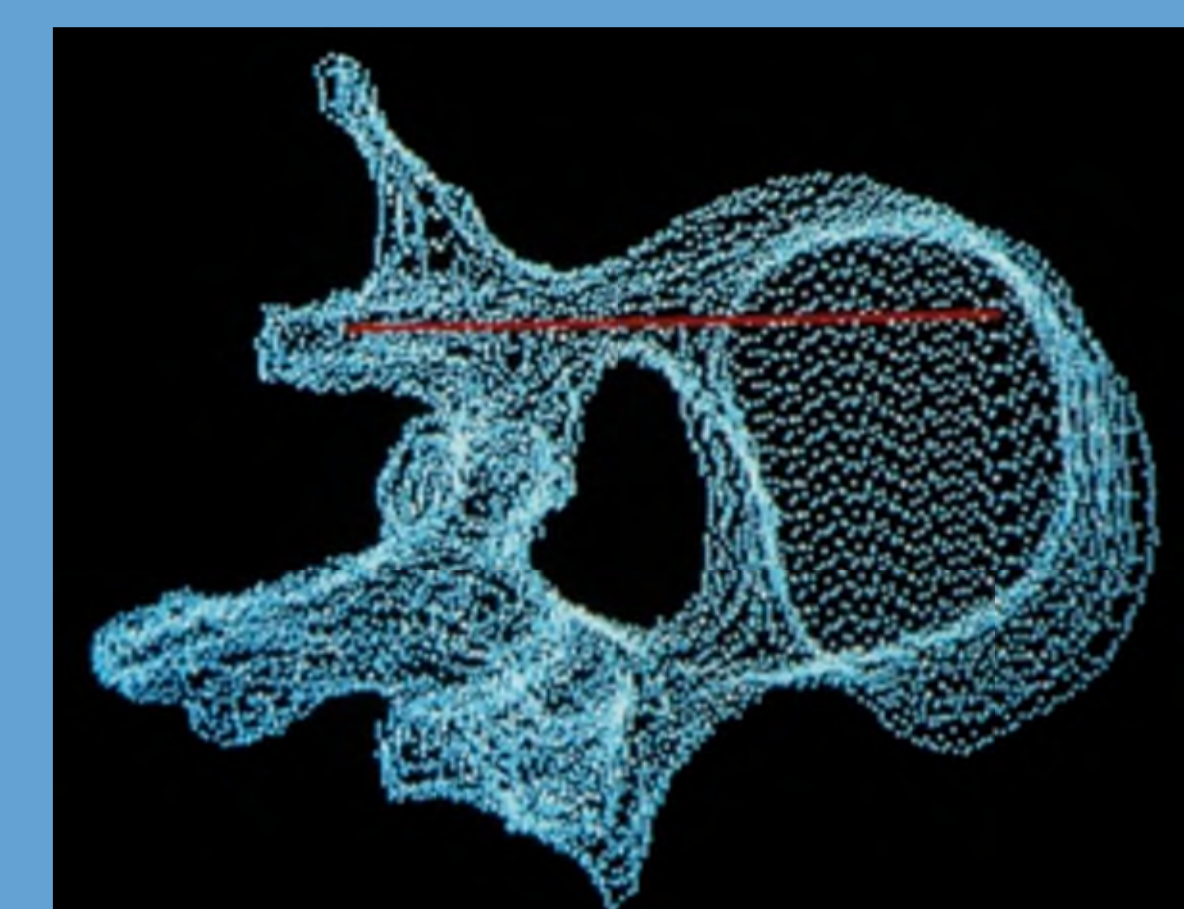


fournir image HD

Le Neuromate, robot utilisé en neurochirurgie stéréotaxique à Grenoble dans les années 1990. Crédit ??? Commentaire ??

Chirurgie de la vertèbre : navigation guidée sous images scanner

1995
Des images scanners préopératoires fournissent un modèle 3D de la vertèbre, sur lequel est alors définie une trajectoire optimale pour la mise en place de vis (point d'entrée et longueur). Ce planning est ensuite recalé sur le patient en cours d'intervention grâce à un localisateur optique 3D (caméra infrarouge et diodes électroluminescentes). Le 10 mai 1995 a lieu, avec Ph. Merloz, la première navigation pour la pose de vis pédiculaires dans le traitement de scolioses.



Modélisation 3D de la vertèbre du patient. Crédit ??? Cette image permet de définir une trajectoire saine pour la pose d'une vis dans le pédicule.



Guidage « passif » du geste de vissage pédiculaire. Crédit ???

Geste réalisé après localisation de la vertèbre dans le champ opératoire puis recalage avec le modèle 3D des images pré-opératoires.



Système de correction de la colonne vertébrale après pose de vis pédiculaires pour le traitement de pathologies telle que la scoliose. Crédit ???

Chirurgie laparoscopique : le robot LER ou Light Puncture Robot

1995
Le développement de la chirurgie laparoscopique « minimalement invasive » a permis une diminution de la morbidité, de la mortalité et des taux d'infections, ainsi que de la durée des séjours hospitaliers. Cette chirurgie utilise des incisions de petites tailles sur la cavité abdominale, via lesquelles sont introduits caméra endoscope et instruments chirurgicaux spécialement conçus. L'approche originale développée à Grenoble par TIMC avec les services de chirurgie digestive (C. Letoublon) et d'urologie (J.-A. Long et J.-L. Descotes), propose d'utiliser un robot placé sur le patient pour porter et déplacer l'endoscope. Le robot LER (Light Endoscopic Robot) peut être commandé par la voix ou grâce à des asservissements visuels en lien avec les déplacements d'outils chirurgicaux. Il a été commercialisé sous le nom de Viky par la société grenobloise Endocontrol Medical.

RÉDUIRE LES TEXTES POUR FAIRE DE LA PLACE AUX IMAGES



Le Viky, robot LER (ou Light Puncture Robot). Crédit ??? Appareil capable de porter et déplacer automatiquement une caméra endoscope dans le cadre de la chirurgie laparoscopique.



Chirurgie laparoscopique. Crédit ??? L'endoscope est contrôlé directement de par le chirurgien via la voix ou l'asservissement visuel des outils chirurgicaux, grâce au robot léger LER posé sur l'abdomen du patient.