

**L'expérience du cœur artificiel « CORA »
Groupe de Biorhéologie de l'IMFT**

par Didier Bellet, mécanicien des fluides

Didier Bellet est un enseignant-chercheur, aujourd'hui Professeur émérite de l'INP de Toulouse¹. Il a enseigné la Mécanique aux nombreuses promotions d'ingénieurs de l'ENSEEIH, de l'ENSICA et de Sup'Aéro (devenues l'ISAE).

Il fut Vice-président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire (CEVU) de l'INP de Toulouse et Président de la section n° 60 du Conseil National des Universités (CNU)².

Ses recherches ont débuté en 1966 à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT). Il y soutient sa première thèse en 1969 et obtient le grade de docteur-ingénieur ; Quatre années plus tard, il soutient une thèse de doctorat d'Etat ès Sciences, portant sur les « écoulements non-newtoniens³ » (Etude des transferts de chaleur dans les réacteurs nucléaires à l'aide de liquides caloporteurs chargés de particules).

Ses recherches en Mécanique des fluides, et plus particulièrement en Rhéologie⁴, sont menées à l'ENSEEIH où il dirige, dès 1974, l'équipe de recherche sur l'Hémodynamique⁵ avec Dang Phuoc Ly, maître de recherche au CNRS.

Ce groupe de Biorhéologie a débuté ses travaux en collaboration avec des médecins cardiologues et des chirurgiens du CHU de Rangueil, dont les professeurs Pierre Puel, président de la commission médicale du CHU et spécialiste de chirurgie cardiovasculaire, et Henri Boccalon, spécialiste en angiologie⁶. Cette collaboration, atypique pour l'époque, entre deux domaines de recherche bien différents que sont les Sciences du Vivant et les Sciences de l'Ingénieur, engendra quelques difficultés de communication ; mais les chercheurs concernés, s'étant rapidement adaptés, ont pu mettre en commun leurs savoirs et leurs méthodes d'investigation pour le bon déroulement et la réussite de projets nouveaux. Leur démarche, innovante et à vocation humaniste, les orienta vers des recherches originales à l'époque, telles que le cœur artificiel nommé « Cora ».

¹ Auteur de 7 ouvrages édités de Mécanique et de 160 travaux scientifiques publiés.

² Section 60 - Mécanique, Génie mécanique, Génie civil.

³ Etude du comportement de certains liquides complexes pour lesquels la vitesse de déformation n'est pas proportionnelle à la force appliquée. Par exemple, le sable mouillé en bord de mer : quand on frappe le sable, il est le siège d'une « viscosité élevée », alors que lorsqu'on appuie doucement dessus, il se comporte comme une pâte.

⁴ Etude des déformations et des écoulements de la matière sous l'effet de contraintes appliquées.

⁵ L'Hémodynamique (ou « dynamique du sang ») est l'étude des propriétés des flux sanguins. Le sang est véhiculé par le cœur dans tout le système cardiovasculaire à partir d'une série d'artères, puis de veines. Il existe différents facteurs qui influencent ces écoulements au sein des organismes vivants tels : le diamètre et l'« élasticité » des artères ou des veines, la consistance du sang, la vascularisation, etc.

Le sang est un liquide aux propriétés mécaniques non-newtoniennes et viscoélastiques, dont le comportement est très complexe ; ceci est dû en particulier au milieu dans lequel il s'écoule et à sa composition chimique intrinsèque : plasma (partie liquide du sang) dans lequel baignent les globules déformables et autres composants majeurs constituant cet important liquide physiologique.

⁶ L'Angiologie, ou médecine vasculaire, est une spécialité médicale concernant les pathologies et les soins des vaisseaux, quelle qu'en soit leur nature : veines, artères, micro et macro circulation, etc.

En 1975, la Biomécanique est une Science jeune ; le premier congrès international de cette discipline n'a lieu qu'en 1990 à San Diego (USA) et n'intéresse pas vraiment le milieu médical.

En France, dans les années 80, seuls 5 laboratoires de recherche travaillent en Biomécanique. Les équipes se trouvent à : Compiègne, Créteil, Saint-Etienne, Marseille et Toulouse (dirigé par Dang Phuoc Ly et Didier Bellet).

A l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT), les recherches étaient consacrées à la microcirculation et à la macrocirculation sanguines dans les vaisseaux, à leurs anomalies pathologiques, aux écoulements, au voisinage de valves cardiaques implantables (valves de porc ou artificielles) et à d'autres effets mécaniques originaux au sein des écoulements du sang.

Plus récemment, les recherches concernent l'étude des stents⁷ et des phénomènes d'irrigation du cerveau. Elles sont conduites sous la direction de Mokhtar Zagzoule⁸.

En 1977, à Marseille, l'équipe du Professeur Jean-Raoul Montiès⁹ souhaite réaliser un cœur artificiel mécanique, dénommé « Cora »¹⁰. Elle sollicite l'IMFT afin d'en étudier le comportement hémodynamique¹¹. Le but est d'optimiser la prothèse en étudiant les lignes de courant et les répartitions des pressions de façon à améliorer la forme, les dimensions et les orientations des conduites de départ et de retour. Les mesures sont réalisées par anémométrie laser dans des modèles translucides ; un fil de platine (cathode) et une sonde en amont (anode) sont placés dans l'écoulement ; l'électrolyse, due à la différence de potentiel entre la cathode et l'anode, produit une émission de fines bulles d'hydrogène qui suivent l'écoulement, permettant ainsi de déterminer par méthodes optiques les champs de vitesses et les lignes de courant à divers instants et pour différentes fréquences du cycle cardiaque.

Le cœur artificiel CORA¹² se compose d'un stator (cylindre fixe de forme cardioïde) et d'un rotor (pièce cylindrique mobile de section ellipsoïdale) ; la rotation se fait autour d'un axe excentré : le rotor est en contact permanent avec le stator (paroi de la cardioïde) suivant deux génératrices dont une, est fixe. Lorsque le cœur est en fonctionnement, le rotor tourne et crée une aspiration d'un côté et un refoulement de l'autre (les embouts blancs visibles sur la photo sont les orifices d'entrée et de sortie du sang). Ce cycle de pression/dépression est semblable au cycle diastole-systole¹³ qui a lieu à l'intérieur d'un cœur naturel. Il ne comporte aucune valve mobile, tout est fixe dans le mécanisme de CORA, mais l'inconvénient majeur est l'hémolyse d'une partie du sang concerné¹⁴. En effet, les globules rouges, qui portent l'hémoglobine, sont

⁷ Dispositif métallique maillé et tubulaire, glissé dans une cavité naturelle pour la maintenir ouverte.

⁸ IMFT, groupe INTERFACE : Ecoulements diphasiques.

⁹ Professeur honoraire à la Faculté de Médecine de Marseille, section « Chirurgie thoracique et cardiovasculaire », Hôpital de la Timone.

¹⁰ L'idée originale provient de l'observation du principe de fonctionnement d'un moteur rotatif de type Wankel.

¹¹ Cette étude a été menée de 1977 à 1983.

¹² Composé de 2 parties, le cœur lui-même est cet assemblage de pièces en plexiglas entièrement taillées dans la masse, sans aucune trace de l'outil de façonnage. (Réalisées par Gérard Couteau, technicien à l'IMFT).

¹³ La systole est la contraction des chambres du cœur. Les quatre ventricules se déforment au cours de systoles et de diastoles pour que le sang soit propulsé à travers le système cardio-vasculaire ; La diastole étant la période au cours de laquelle le cœur se relâche après s'être contracté lors de la systole.

¹⁴ Didier Bellet, « Etude mécanique de l'hémolyse du sang au sein d'un cœur artificiel », CNRS, 1989, 4 p.

coincés entre le bord du cylindre mobile et le bord du cylindre cardioïde fixe : ils sont écrasés suivant les deux génératrices du système. Les hématies ainsi broyées diminuent considérablement les propriétés et qualités vitales du sang qui, de ce fait, doit être renouvelé régulièrement par transfusion. Cet écrasement des globules est pourtant inévitable pour maintenir une parfaite étanchéité entre le sang entrant et le sang sortant.

Ce cœur fut expérimenté sur une chèvre qui a vécu durant 5 jours moyennant des transfusions régulières pour renouveler le sang véhiculé.

En 2008, l'équipe du P^r Alain Carpentier¹⁵, avec le groupe EADS annonce disposer du premier cœur artificiel implantable français, qui, contrairement à ses « concurrents », restaure les courants de circulation naturels du sang. Après plus de 15 ans de test sur des moutons et des veaux, l'équipe pense le tester sur l'homme très prochainement.

Signalons que de 1969 à 2010, plus de 450 cœurs artificiels ou semi-artificiels ont été implantés dans le monde.

La première transplantation cardiaque a été faite par Christian Barnard, Chirurgien d'Afrique du Sud, le 3 décembre 1967. Le patient décéda un an après, à la suite de problèmes de biocompatibilité.

En France, les pionniers en la matière sont les professeurs Christian Cabrol, Gérard Guiraudon et Maurice Mercadier à l'Hôpital de La Pitié-Salpêtrière . Le 27 avril 1968, le patient, Clovis Roblain, 66 ans, n'a survécu que 53 heures à la transplantation.

A Marseille, Emmanuel Vitria (1920-1987) subit, lui aussi, une transplantation cardiaque, détenant le record de longévité avec 6 738 jours. L'opération fut réalisée le 27 novembre 1968 à Marseille par l'équipe du professeur Edmond Henry à la clinique Cantini dans le service du professeur Jouve¹⁶.

Cette rétrospective condensée du parcours d'enseignant-chercheur de Didier Bellet et de la description de l'un de ses travaux de recherche sur la prothèse cardiaque CORA, permet de remarquer les avantages liés à la pluridisciplinarité scientifique et technique.

L'association des Sciences du Vivant aux Sciences de l'Ingénieur est source de connaissances, de découvertes innovantes et de progrès. A ce titre, la Biomécanique des fluides constitue un modèle scientifique utile à la mise au point de systèmes artificiels permettant de seconder certains organes humains défaillants.

¹⁵ Chirurgien et cardiologue français, né à Toulouse le 11 août 1933, exerçant au département de « Chirurgie cardio-vasculaire et de transplantation d'organes » de l'Hôpital européen Georges Pompidou à Paris.

¹⁶ Jean-Raoul Montiès mit au point un cœur artificiel petit et implantable muni d'un seul fil électrique pour le faire fonctionner grâce à une batterie portative.