

UNE EXPERIENCE

en biologie

LA TECHNIQUE DES CŒURS ENTIÈREMENT OUVERTS EN SURVIE PROLONGÉE

par Boris RYBAK

Directeur du service de physiologie animale de l'Université de Caen

LE cœur est un organe cavitaire et, en conséquence, sa physiologie la plus spécifique est interne. Or pour accéder directement à cette physiologie du complexe myocardique, il convient de procéder à des interventions chirurgicales qui ne lèsent pas les systèmes automatogène et de conduction des phénomènes électriques qui, en se propageant périodiquement, induisent le cycle de contraction (systole) — décontraction (diastole). C'est cette préoccupation qui m'a conduit depuis 1955 à procéder à la chirurgie expérimentale du cœur de vertébrés et, tout de suite, l'on tombe sur un phénomène nouveau qui a tellement surpris à l'époque que plusieurs se sont refusés à l'admettre.

Soit un cœur de grenouille. Il est essentiellement constitué d'un collecteur de sang veineux, nommé sinus veineux (qui renferme le centre automatogène), en communication avec l'oreillette droite par l'intermédiaire d'une valve (à deux valvules) auriculaire, cette oreillette droite étant associée — à travers une cloison dite septum interauriculaire — à l'oreillette gauche ; ce système auriculaire est anatomiquement lié à un ventricule unique (non cloisonné) chez ce type animal. En physiologie classique, on maintient en survie active un tel cœur extirpé de l'organisme en y faisant circuler par l'intermédiaire d'une canule une solution convenablement équilibrée en ions minéraux et hydrogène (généralement la solution de Ringer). Considérons les choses autrement en plaçant un tel cœur de grenouille verte (*Rana esculenta* par exemple) sur un bloc de paraffine afin de fixer par sa face dorsale (pour ne pas altérer le sinus veineux) l'organe à opérer par des épingles — comme on le fait communément par commodité opératoire pour les dissections d'organes morts en zoologie. Et procédons alors à l'ouverture sagittale de la face ventrale en commençant par pratiquer une petite boutonnière transversale près de la pointe ventriculaire ; puis, insérant une branche d'une paire de ciseaux fins dans le ventricule par cette boutonnière, on

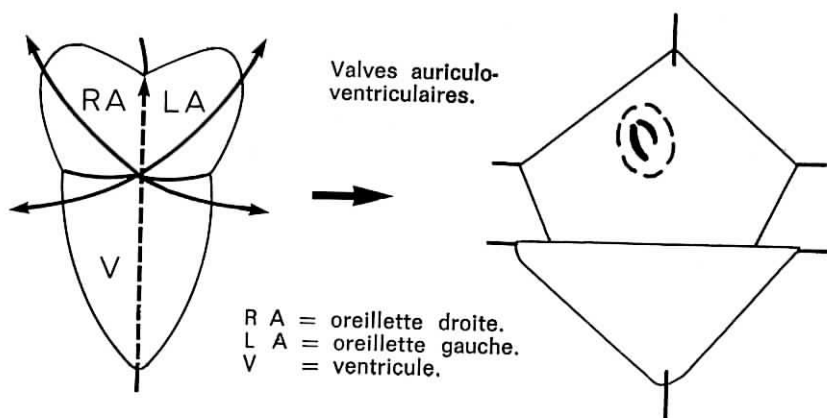


Fig. 1. — Ouverture du cœur de grenouille par sa face ventrale.

incise — avec le minimum de coups de ciseaux (pour éviter les édentations tissulaires) —, la face ventrale du ventricule, puis la face ventrale du système auriculaire. Comme l'indique la figure 1, en partant du point p, on porte le bord de la section ventriculaire gauche (qui se présente à droite) latéralement en extension à l'aide d'une épingle qui servira à fixer ce point sur la paraffine. Puis on procède de même pour le bord ventriculaire droit (qui se présente à gauche) ; ensuite, comme on le ferait d'un pneu de bicyclette à déjarter, on bascule à partir de p et diagonalement le tissu ventral auriculaire droit (ou gauche) et on l'épingle. Puis on effectue la même opération pour le tissu de l'autre oreillette. On déplace alors le point de fixation central inter-auriculaire et on obtient ainsi une sorte d'hexagone qui est donc une transformation du cœur tridimensionnel. La préparation est nettoyée de son sang à l'aide de la solution de Ringer et, en présence d'une légère quantité de cette solution qui l'imbibe, ce cœur peut fonctionner de façon très régulière pendant plusieurs heures à 20° Celsius environ.

De la sorte, on peut observer directement le fonctionnement endocardiaque (mécanisme des valves, des faisceaux musculaires, etc.) et on peut objectiver ces phénomènes par cinématographie (¹).

Or si l'on retire les épingles, le cœur cessera ses révolutions mécaniques au bout d'une vingtaine de minutes. Si alors on fixe de nouveau ce cœur avec des épingles sur la paraffine, ses contractions reprennent immédiatement. Ce processus peut être répété un grand nombre de fois. On peut penser à une excitation par un phénomène électrochimique au niveau des épingles métalliques ; cependant il n'en est rien puisqu'on obtient le même résultat avec des aiguilles de verre, des épines de cactus, etc. En fait, nous mettons en évidence ici un mécanisme fondamental que j'ai nommé *catalyse mécanique*. Si

(¹) B. Rybak, H. Cortot et R. Canivenc. — *L'Intérieur du cœur en activité spontanée*. — Cinémathèque de l'Institut pédagogique national et Cinémathèque des Relations culturelles, 1957, film 16 mm en couleurs, parlant optique.

l'on réfléchit à ce qu'il en est lorsque le cœur est en place dans l'organisme particulièrement, c'est bien ce qui se passe lorsqu'il y a remplissage diastolique par le sang. Autrement dit, *la diastole* qui est *subjectivement* une phase dite de repos est en réalité une *phase mécaniquement active* qui appelle la systole. Ce qui entre en jeu notamment dans cette catalyse mécanique, c'est la facilitation du développement (dans le cas du cœur de mammifère) et de la propagation (dans tous les cas jusqu'ici observés) de l'onde électrique activant mécaniquement les fibres musculaires cardiaques.

Dès lors on peut penser mesurer les contraintes statiques appliquées sur le cœur, considéré alors comme une éprouvette telle qu'on en utilise dans l'étude de la résistance des matériaux, le matériau cœur ayant de surcroît une propriété exceptionnelle, à savoir qu'il émet un électrogramme qui, remarquablement, se modifie si l'on perturbe l'équilibre des tensions mécaniques appliquées de sorte que l'on peut procéder à une étude précise électromécanique des différentes préparations cardiaques de vertébrés.

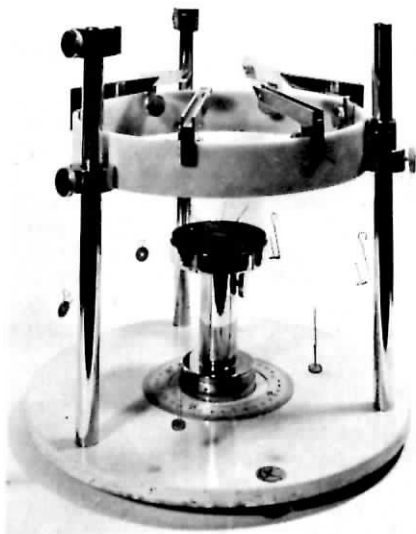


Fig. 2. — Extensomètre du Professeur Rybak.

A cet effet j'ai construit un extensomètre constitué essentiellement par six potences orientables sur un cercle (donc 360°) et l'on substitue aux épingles des hameçons dont les fils d'attache passent par les potences et auxquels sont appendus des poids variables. Pour donner une idée de la résistance du tissu cardiaque, notons qu'un cœur de grenouille de 100 mg peut supporter une charge aussi considérable que 6 fois 17 g, ces charges étant appliquées selon des angles de 60° .

Le cœur peut alors être séparé de la plaque de paraffine par abaissement du support qui la soutient et, dans ces conditions, le cœur de grenouille non perfusé, simplement imbibé de temps en

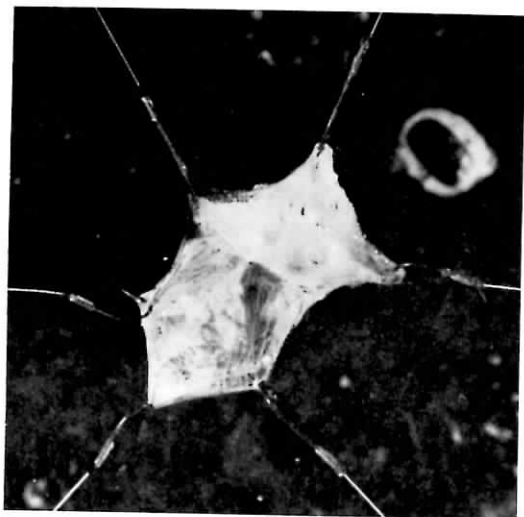


Fig. 3. — Le cœur de grenouille ouvert et étalé se contracte régulièrement en suspension dans l'air.

temps par la solution de Ringer, se contracte régulièrement en suspension dans l'air (ressemblant à un filet de trapéziste).

A l'aide de cette nouvelle préparation, on peut pousser l'analyse du fonctionnement cardiaque beaucoup plus loin. Par exemple on peut procéder à des détections électriques de part et d'autre du plan cardiaque ainsi obtenu (dérivations transpariétales) et ceci sous des charges définies, appliquées selon des angles choisis, les électrodes de détection étant soit directement opposées en une zone épicaudique-endocardique, soit placées l'une par exemple sur un point choisi de l'endocarde ventriculaire, l'autre sur un point choisi de l'épicarde auriculaire. On peut aussi étudier dans des conditions adéquates la respiration cardiaque sous des charges variables (et on établit une relation entre la consommation d'oxygène et le travail résistant à effectuer jusqu'à une certaine valeur maximale évidemment). On peut avec le cœur de grenouille éliminer physiquement tout le sinus veineux et constater que, sous l'effet de la catalyse mécanique, les révolutions automatiques périodiques régulières continuent à se manifester et on peut même réduire un cœur à un fragment ventriculaire qui continue ses contractions sous contrainte statique de deux charges opposées (généralement 1 g pour chaque charge). Ceci constitue ce que j'ai nommé la *chirurgie analytique*.

De plus dans ce cadre de chirurgie expérimentale, on peut procéder à l'ouverture du cœur de grenouille notamment selon l'épaisseur ventriculaire et auriculaire et on obtient ainsi des préparations facilement réalisables (tout le monde peut les faire avec un matériel de couturière ; c'est comme cela que j'ai commencé...) :

a) ouverture comme un livre à droite ou à gauche en partant de la pointe ventriculaire et en incisant la bordure ventriculo-auriculaire jusqu'au point inter-auriculaire opposé au point de départ ventriculaire et en rabattant les deux pans sur un bloc de paraffine, la catalyse mécanique étant entretenue par des épingles ;

b) en partant de la pointe ventriculaire et en incisant à droite et à gauche l'épaisseur ventriculaire et auriculaire jusqu'à la base, tendue par des épingles, des oreillettes, puis en basculant à 180° la face ventrale auriculo-ventriculaire sur la « charnière » auriculaire et en appliquant la catalyse mécanique (on obtient ainsi la *préparation ventriculo-auriculo-ventriculaire*) ;

c) on peut procéder à l'inverse de b), c'est-à-dire en commençant l'incision dans l'épaisseur de la base du triangle auriculaire et en la poursuivant à droite et à gauche vers la pointe ventriculaire sans la couper de façon que, en basculant la demi-face ventrale auriculo-ventriculaire avec, comme « charnière », le reliquat tissulaire de la pointe ventriculaire et en appliquant la catalyse mécanique (on obtient la *préparation auriculo-ventriculo-auriculaire*). Il est clair que la distribution du champ électrique cardiaque se trouve modifiée dans ces différents cas de figure, et ceci de façon connue. On possède ainsi un instrument simple pour l'étude de la distribution de ces actions électriques qui, puisqu'elles induisent des phénomènes mécaniques, peuvent être simplement suivies à l'œil nu et, si l'on peut, à la loupe.

Remarquons qu'un cœur en activité est un *organe à géométrie variable*. Cela signifie qu'au moment de la contraction, la surface interne du cœur va être moindre qu'au moment de la décontraction. Aussi, lorsqu'on soumet le cœur entièrement ouvert à des contraintes statiques croissantes, du fait de son extensibilité, la surface cardiaque va croître jusqu'à une certaine valeur-limite. Parallèlement les faisceaux musculaires qui sont en contact maximal au moment de la systole, vont se trouver, dans ces conditions, écartés les uns des autres, il y aura comme un « lissage » des crêtes et vallées que forment ces chaînes musculaires. On note alors que l'activité de certaines enzymes va augmenter en fonction directe de la charge appliquée. Cela signifie qu'au moment de la systole les sites actifs des vallées sont cachés et qu'ils se démasquent au moment de la diastole (et plus encore lorsqu'on augmente la surface cardiaque par accroissement des charges). Ceci constitue une nouvelle branche de la physiologie des organes déformables que j'ai nommée *enzymologie topographique*. Ces résultats viennent en complément de ceux qui montrent que, *sur le plan mécanique*, la diastole est une phase active puisqu'ils montrent que, *sur le plan enzymatique*, la diastole est également une phase active : c'est pendant cette phase que se resynthétisent les molécules énergétiques qui serviront à la systole suivante.

B. R.

Référence :

RYBAK (Boris). — *Explorations circulatoires*. Paris, Gauthier-Villars, 1973. Collection « Discours de la méthode ».