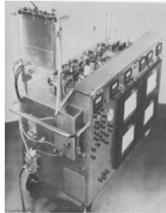


HISTORIQUE DE LA CIRCULATION EXTRA-CORPORELLE

Prof Alexandre OUATTARA
Service d'Anesthésie-Réanimation cardiovasculaire Hôpital cardiologique Haut-Lévêque, CHU Bordeaux
Unité INSERM 1034-Biologie des maladies cardiovasculaires, Université de Bordeaux



université
de BORDEAUX



Principe...

- Mise en place d'une circulation extra-corporelle (para-corporelle) qui va shunter le bloc cœur-poumon (« *cardio-pulmonary bypass* ») afin d'assécher les cavités cardiaques (cœur exsangue), d'arrêter les battements du cœur (solution de cardioplégie) et d'ouvrir les cavités cardiaques.
- Maintien de l'homéostasie du patient
- Suppléance de la fonction « cœur » par une pompe (péristaltique ou centrifuge) et de la fonction « poumon » (oxygénation, décarboxylation) par une membrane d'oxygénation (microporeuse ou de diffusion)
- Mise en contact du sang un matériel étranger (bio-compatibilité)

History of cardiopulmonary bypass (CPB)

Eugene A. Hessel II, MD, FACS, Professor Anesthesiology, Surgery (Cardiothoracic), Neurosurgery, and Pediatrics^{1,2}
University of Kentucky College of Medicine, Lexington, KY USA

"The development of cardiopulmonary bypass (CPB) to permit cardiac surgery is considered as one of the greatest advances in Medicine in the 20th century. Many currently practicing cardiac anesthesiologists, surgeons and perfusionists are unaware of how recently this has developed..."

CONCEPT CIRCULATION EXTRA-CORPORELLE



« Circulation artificielle d'un organe séparé du cœur permet de préserver sa fonction »

Physiologiste français : [Jean-Jacques Le Gallois \(1812\)](#)

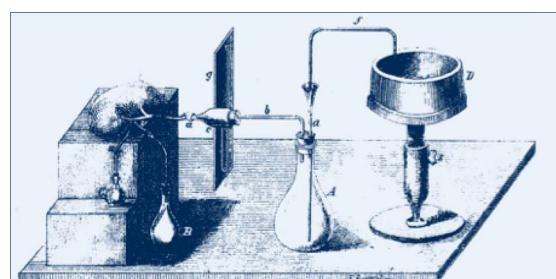
Perfusion de sang dans les carotides de tête de lapins décapités



LAURENCE O'SHAUGHNESSY (Lancet 1939)

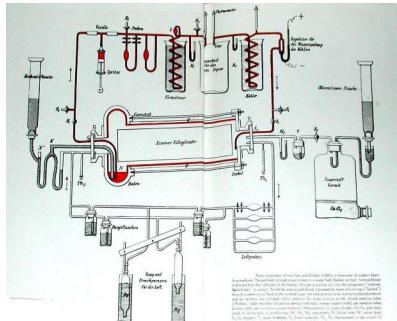
- He reported on his experiments that had been going on for the 3 previous years. He had perfused the brains of dogs and cats with Ringer's solution and the addition of hemoglobin, as blood replacement, to maintain cerebral circulation artificially during heart operations. Experiments of this kind were survived by several dogs and cats.
- O'Shaughnessy ended his report on the future of cardiac surgery with these words:

"This method of cerebral perfusion is clearly unfit for immediate clinical application, but it is presented as an example of the sort of work necessary for the further advance of the surgery of the heart."



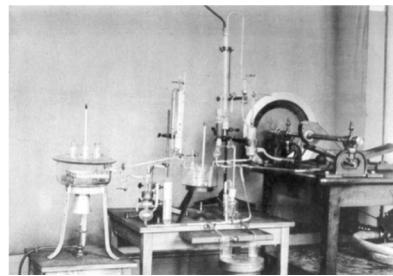
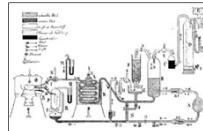
First illustration of a perfusion apparatus from the Doctoral thesis of Ernst Bidder (1862)

Von Frey et Gruber (1885) machine cœur-poumon artificiel oxygénateur à cylindre
(Laboratoire de physiologie à Leipzig, Allemagne)



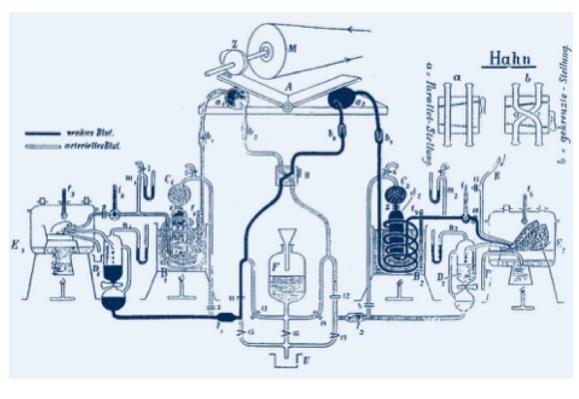
Max Von Frey (1852-1932)

Experimental set up of JACOBj with pulsatile flow (1890)



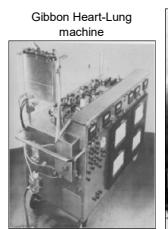
DÉCOUVERTES MAJEURES QUI ONT CONTRIBUÉ À L'AVANCÉE DE LA CIRCULATION EXTRA-CORPORELLE EN CHIRURGIE CARDIAQUE

- ❖ Découverte des propriétés anticoagulante de l'[héparine](#) ([Jay McLean 1916](#))
- ❖ Antagonisation par la [protamine](#) ([Chargaff et Olsen 1937](#))
- ❖ Chimie des polymères ([Polychlorure de Vinyle, 1926](#) et [Silicone, 1943](#))

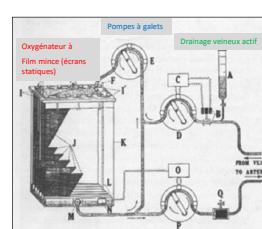


LA « LONGUE MARCHE DE 20 ANS » DE JOHN GIBBON

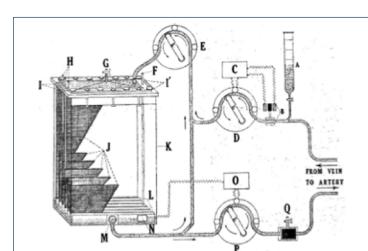
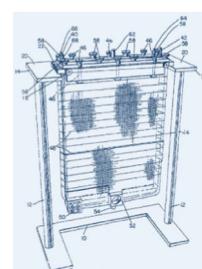
En 1930 au Massachusetts General Hospital à Boston (surgical research fellow...) avec l'aide de sa femme... et d'ingénieurs d'IBM (recherche expérimentale sur chiens)

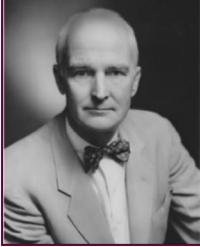


John Gibbon (1964)



GIBBON HEART-LUNG MACHINE



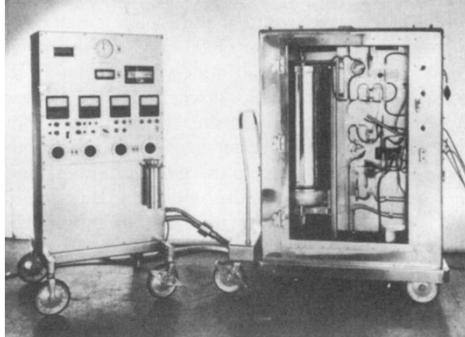


... elle aboutira, après un premier échec, le **6 mai 1953** à la première opération à cœur ouvert sous CEC avec succès (18 ans, CIA, durée CEC 45 min) à Philadelphie (Pennsylvanie) au Jefferson University Medical Center

Mais John Gibbon va arrêter d'opérer à « cœur ouvert » après la mort des deux patients suivants. De nombreux chirurgiens considèrent alors que le patient de chirurgie cardiaque est trop fragile pour supporter la « *Gibbon Heart-Lung machine* ». Une seule intervention avec succès parmi les 16 essais par six autres équipes entre 1952 et 1954.

John H. Gibbon Jr peut donc être considéré comme un des fondateurs de la chirurgie cardiaque sous CEC et sa femme comme la première perfusionniste

GIBBON HEART-LUNG MACHINE



COURANTS DE PENSÉES EN FAVEUR DU « HEART-LUNG MACHINE »...

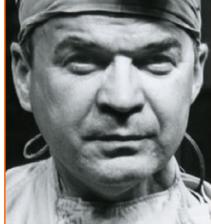


Clarence Dennis
(University of Minnesota)



AM Dogliotti
(University of Turin)

1951	C. Dennis (05/04/1951) (Rotating mesh screens oxygenator with membrane pumps)	Minneapolis	Echec
	AM Dogliotti (09/08/1951) (Roller pump 1 L/min and oxygenator for large mediastinal tumor resection)	Turin	Echec
1953	Gibbon	Philadelphia	1 succès puis 2 échecs



Clarence Walton Lillehei
1918-1999
Université du Minnesota (Minneapolis)

Principe du Facteur Azygos
1952

Circulation croisée
1954

Principe du débit azygos

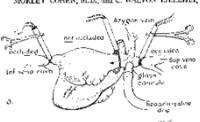
THE BRITISH JOURNAL OF SURGERY
Br J Surg 1952;39:548

EXPERIMENTAL SURGERY
EXPERIMENTAL CARDIOVASCULAR SURGERY
By A. T. ANDREWSON, P. KATTON

This paper records the postoperative results of a series of experiments, the object of which was to define whether the azygous factor could be of any remote survival of dogs, calves, after temporary caval occlusion. It was found that the azygous flow is the significant factor in the survival of these animals. In view of the importance of this factor, we must proceed to determine if this flow is sufficient to sustain the body during full caval occlusion in man.

THE AZYGOS FACTOR
Which authority would doubt that prevention of the

A quantitative study of the "azygos factor" during vena caval occlusion in the dog
MORLEY COHEN, M.D., and C. WALTON LILLEHEI, M.D., F.A.C.S., Minneapolis, Minnesota

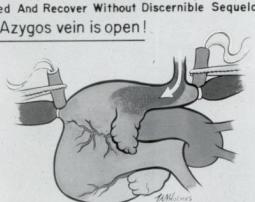


Surg Gynecol Obstet 1954; 98:225

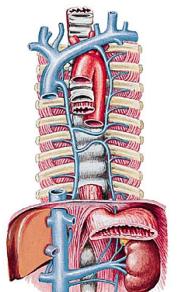
Cohen et Lillehei confirment ces résultats chez le chien avec une survie chez 17 d'entre eux sur 19 après 30 min de profond bas débit, en normothermie de l'ordre de $20-25 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

Deux chercheurs britanniques rapportent une survie à l'occlusion cave (sup et inf) durant 30 min si le débit de la veine azygos était maintenu (environ 10% du DC). **Survie chez 13 animaux sur 21.**

AZYGOS FLOW CONCEPT
Dogs Uniformly Survive 30 Minutes With Both Vena Cavae Occluded And Recover Without Discernible Sequelae if the Azygos vein is open!



Azygos vein flow = 8 to 14 cc / kg body weight / minute
Basal or Resting Cardiac Output = 100 to 160 cc / kg body weight / minute



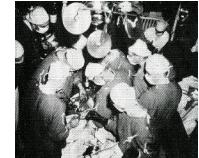
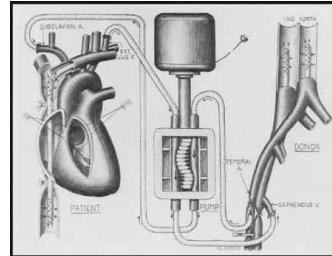
Système Azygos

Le principe du débit azygos a constitué indiscutablement une de plus importantes observations dans la réalisation clinique de la circulation extracorporelle.

A partir de ce concept, on devait trouver un moyen d'assurer un débit de perfusion de 20 à 25 ml.kg⁻¹.min⁻¹ et rendre possible la chirurgie à cœur ouvert (moindre retour veineux +++).

Le débit minimum théorique accepté pour une circulation extracorporelle était alors de 100 à 160 ml.kg⁻¹. min⁻¹.

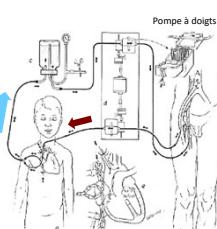
Circulation croisée contrôlée (controlled cross-circulation)



THE DIRECT-VISION INTRACARDIAC CORRECTION OF CONGENITAL ANOMALIES BY CONTROLLED CROSS CIRCULATION
RESULTS IN THIRTY-TWO PATIENTS WITH VENTRICULAR SEPTAL DEFECTS, TETRALOGY OF FALLOT, AND ATRIOVENTRICULAR COMMUNICATING DEFECTS
C. WALDIN LILLEHEI, M.D., MOSELEY COHEN, M.D.,* HERBERT E. WARDEN,
M.D.,** AND RICHARD I. YARO, M.D., MINNEAPOLIS, MINN.
(From the Department of Surgery, University of Minnesota Medical School)

Surgery 1955

Dérivation sang veineux vers le « Human heart-lung device »



Reperfussion du sang oxygéné vers l'enfant

Groupe sanguin compatible (parents)

Première intervention le 26 mars 1954

Expérience de la circulation croisée

- De 1954 à 1955, 45 enfants (5 mois à 10 ans) opérés de chirurgie à cœur ouvert
- Survie hospitalière 28/45 (62%) avec 79% de ces patients encore vivants trente ans plus tard
- Aucun décès parmi les sujets « oxygénateurs » (un patient a présenté une complication majeure)
- Bien que concept différent, la circulation croisée contrôlée démontre que le « cœur-poumon artificiel » permet la réalisation de chirurgie cardiaque complexe par une équipe chirurgicale entraînée

Lillehei CW et al. Ann Thorac Surg 1986; 41:4-21

Table 1-6. Results of Direct-Vision Intracardiac Operations With CPB By Cross-Circulation in 45 Patients, from March 26, 1954, to July 9, 1955*

Abnormality	Corrective Operations	Mortality		
		Patients	Hospital	Late (30 years)
VSD	Suturing closure	27	8	2
PDA (with severe pulmonary hypertension)	Exploratory ventriculotomy; division of ductus	1	0	0
Tetralogy of Fallot	Closure of VSD; correction of infundibular/valvular pulmonary stenosis	10	5	3
Atrioventricular communis	Closure of ostium primum, VSD; repair of valvular insufficiency	5	3	1
Isolated infundibular pulmonary stenosis	Resection of infundibulum	1	0	0
Pulmonary stenosis, ASD, anomalous pulmonary veins, return of venous return	Pulmonary valvotomy; ventricular and atrial cardiotomies; transposition of anomalous pulmonary veins; closure of septal defects	1	1	0
Totals		45	17	6

*Cross-circulation was used exclusively from its inception through February 1955. Beginning March 1, 1955, other bypass methods (bubble oxygenator, dog lung oxygenator, arterial reservoir) were employed for lower-risk patients. Cross-circulation was reserved for high-risk patients. By July 1955, the bubble oxygenator had become the sole method. VSD, ventricular septal defect; PDA, patent ductus arteriosus; ASD, atrial (secundum) septal defect.

OXYGÉNATEURS BIOLOGIQUES MAIS...HÉTÉROLOGUES

Recours à des poumons de chien
Campbell GS et al. Surgery 1956; 40:364

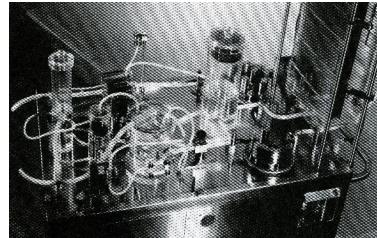
Recours à des poumons de singe
Mustard WT et al. J Can Med Assoc 1957; 76:265-9

MAYO-GIBBON HL MACHINE

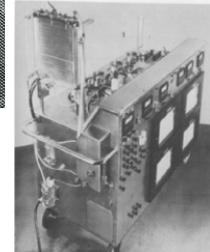
En 1953, John W. Kirklin (Mayo Clinic) s'approprie le « Gibbon Heart-Lung machine »

Améliorations substantielles avec l'aide d'IBM et des ingénieurs de la Mayo Clinic, jusqu'à ce qu'il devienne tout à fait fiable (Mayo-Gibbon HL machine).

Pompe (débit 2.4 L/min/m²), un oxygénéateur, capteur de la saturation sur la ligne artérielle et veineuse et une cuve pour agent halogénés



The Mayo Clinic-Gibbon Screen Oxygenator (Dr John Kirklin 1955)



Il publie en mai 1955 ses huit premiers cas (avec 4 succès et 4 échecs). Il a donc probablement précédé Clarence W Lillehei avec l'utilisation d'un système pompe-oxygénéiteur, mais ne mentionne aucune date opératoire.



INTRACARDIAC SURGERY WITH THE AID OF A MECHANICAL PUMP-OXYGENATOR SYSTEM (GIBBON TYPE): REPORT OF EIGHT CASES*

John W. Kirklin, M.D., Section of Surgery, James W. DuShane, M.D., Section of Pediatrics, Robert T. Patrick, M.D., Section of Anesthesiology, David E. Donald, B.V.S., M.R.C.V.S., Research Assistant, Peter S. Hetzel, M.D., Research Assistant, Harry G. Harshbarger, M.D., Fellow in Surgery, Mayo Foundation, and Earl H. Wood, M.D., Section of Physiology

Proceedings of the staff meetings of the Mayo Clinic 18 may 1955

Giants of the Genesis of Open-Heart Surgery



John Gibbon



C. Walton Lillehei

Mayo-Gibbon Oxygenator

John Kirklin

Holman WL, et al. J Am Coll Cardiol. 2022;79(16):1606-1622.

Richard DeWall, jeune résident du service de Lillehei, travaille dans son laboratoire en 1953-1954.

Il invente et fait fonctionner le Système Pompe-Oxygénérateur de Lillehei-DeWall (SPOLD)

Débit selon concept du débit azygos

Développement des oxygénéateurs à bulles

Faisabilité et bénéfice de l'hémodilution associée à l'hypothermie à partir de 1962

Première utilisation chez l'Homme : mai 1955



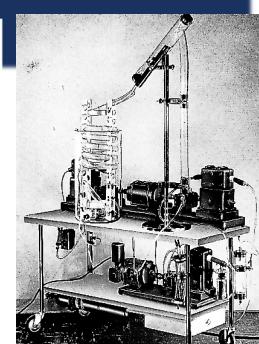
Direct Vision Intracardiac Surgery in Man Using a Simple, Disposable Artificial Oxygenator

C. WALTON LILLEHEI, M.D., RICHARD A. DEWALL, M.D., RAYMOND C. READ, M.D., HERBERT E. WARDEN, M.D., and RICHARD L. VARCO, M.D.
Minneapolis, Minnesota

Diseases of the chest 1956

Pompe volumétrique occlusive non pulsatile à doigts (Sigma Motor)

Première utilisation humaine d'un oxygénéateur à bulles (réervoir hélicoïdal)



Photographie tirée d'un article de 1956



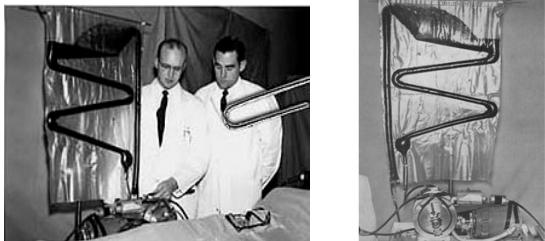
Richard DeWall vient passer 6 semaines à Paris en automne 1955 à l' hôpital Marie Lannelongue.

Il permet ainsi à Charles Dubost d' opérer un enfant de 7 ans, à l' aide d' un SPOLD fabriqué sur place.

Cette première opération en Europe eut lieu

le 10 décembre 1955

Après l' oxygénateur « en pièces détachées », Dewall invente l' oxygénateur « prêt à l' emploi » (plastic sheet)



Richard DeWall et Vincent Gott



New Engl J Med 1962

A Minneapolis, presque au même moment, DeWall et R. Lillehei publient une série de 60 patients chez qui le système pompe oxygénateur est amorcé avec un soluté glucosé et la chirurgie est menée en hypothermie modérée.

HISTORIQUE DES ABORDS CHIRURGICAUX

Thoracotomie latérale

Thoracotomie antérieure bilatérale sternale

Canulation artérielle sous-clavière

Fin 1950 canulation fémorale (dissection rétrograde++)

Fin 1960 et début 1970, canulation aorte ascendante

LES OXYGÉNATEURS

- Oxygénateur à film mince
- Oxygénateur par bullage
- Oxygénateur à membrane

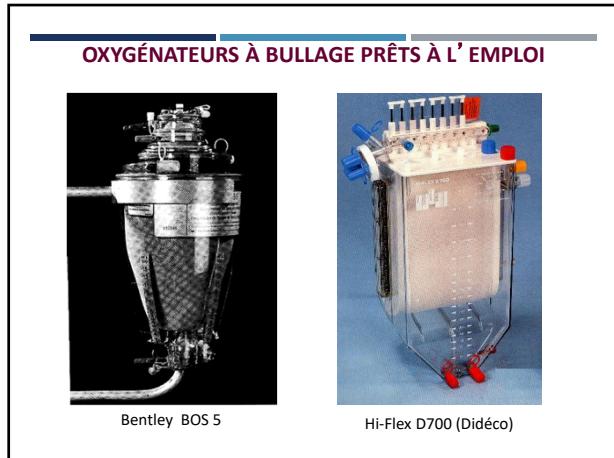
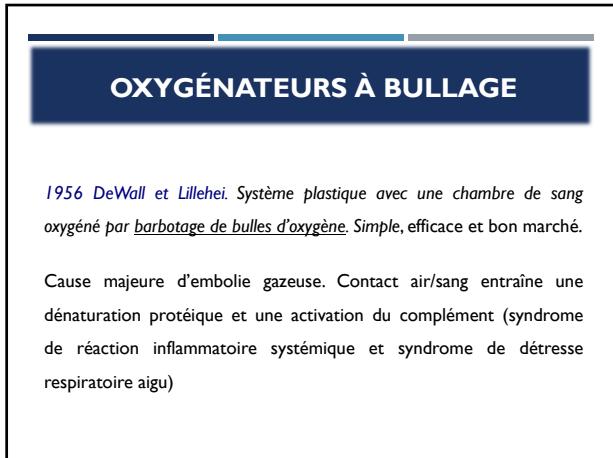
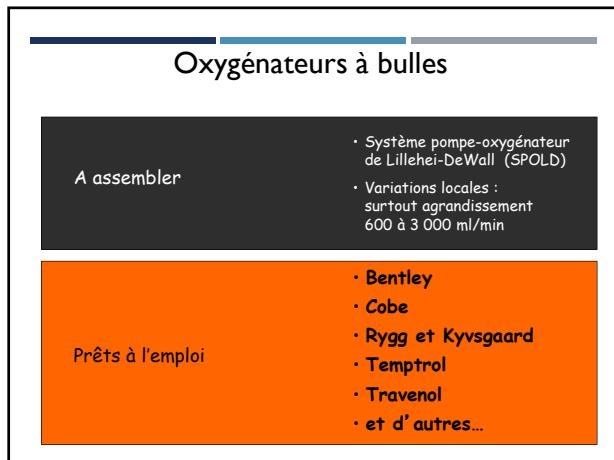
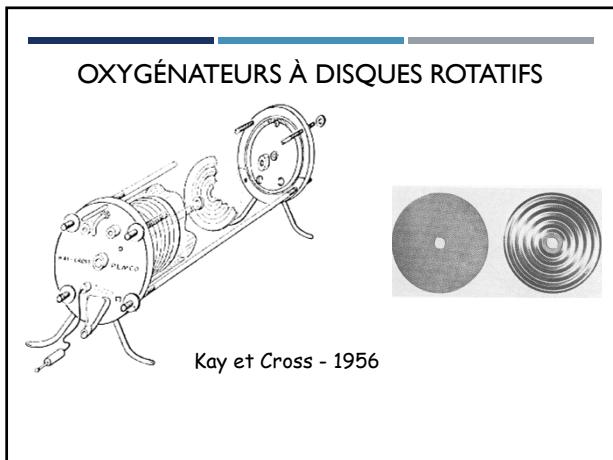
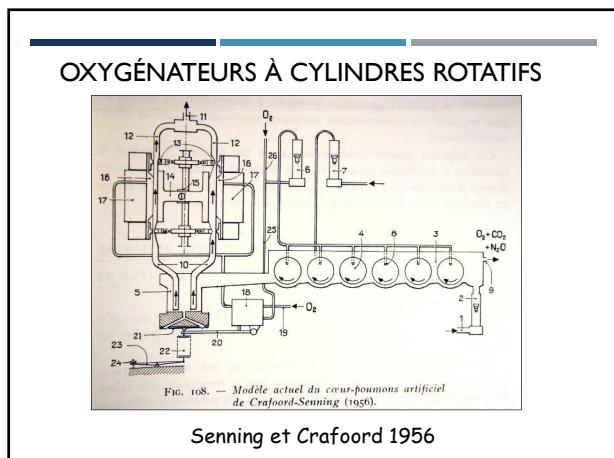
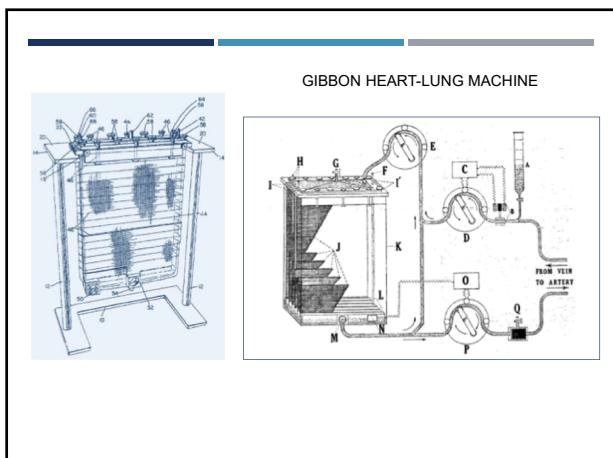
Echanges gazeux par contact direct

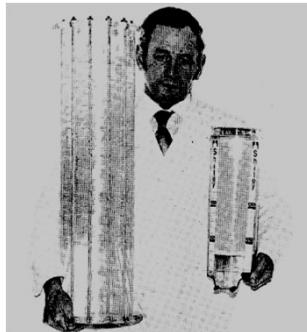
Echanges gazeux par diffusion au travers une membrane semi-perméable

Oxygénateurs à film mince

Sang répandu en une mince couche sur une surface relativement grande (principe de Hooker 1915). Le sang est exposé à de l' oxygène permettant de libérer le CO₂ et de s' enrichir en O₂. Certains de ces « devices » comportent des parties mobiles à l' origine de turbulences améliorant l' absorption de l' oxygène.

- Ecrans statiques (stationary screen) Mayo-Gibbon HL machine
- Cylindres rotatifs Melrose
Senning-Crafoord 1956
CCML
- Disques rotatifs Kay-Cross 1956



EVOLUTION DES OXYGÉNATEURS

Kay-Cross vs bulleur

Rivalité entre oxygénateurs à film mince et à bulles s'est résolue par le volume d'amorçage...

OXYGÉNATEURS À MEMBRANE

Bramson Mogens Membrane (1972)

Diffusion de l'oxygène sans contact direct

Ethyl-cellulose, teflon et silicone

Complexité de fabrication et prix

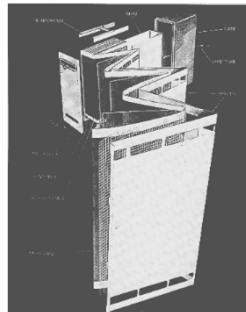
**Plaques**

- Sandwich
- Paravent
- Bobine

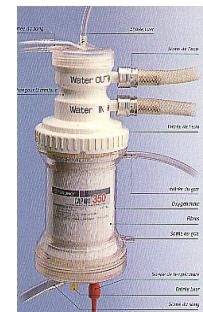
Membrane cellulose [Kolff WJ, Artificial kidney]

Fibres creuses

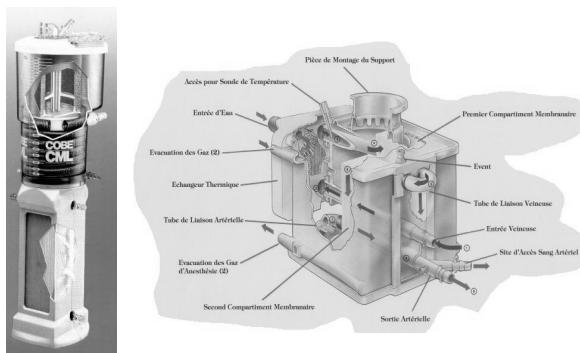
- Sang intérieur
- Sang extérieur

OXYGÉNATEURS À MEMBRANE**« Paravent »**

Travenol vers 1978

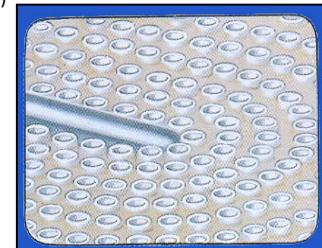
« Fibres creuses »

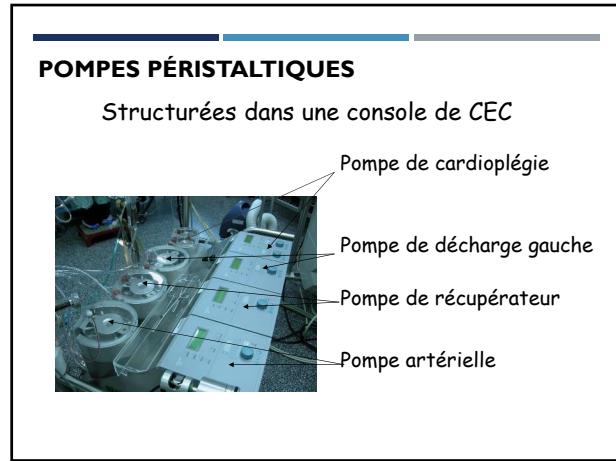
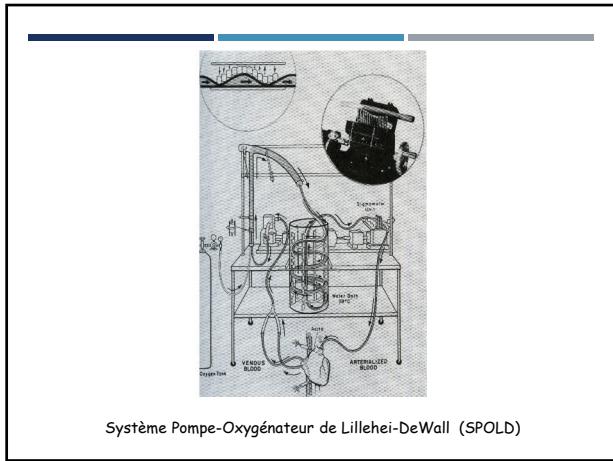
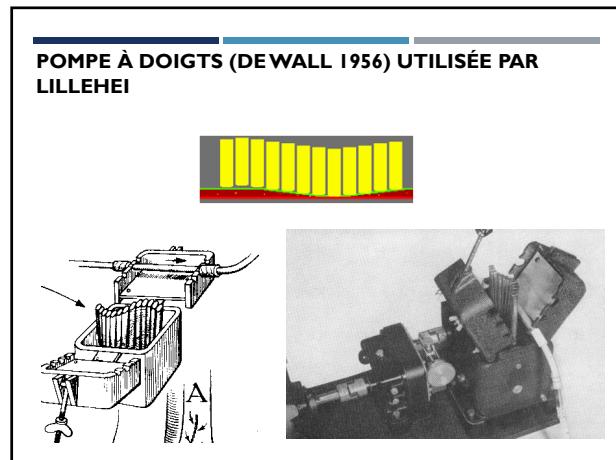
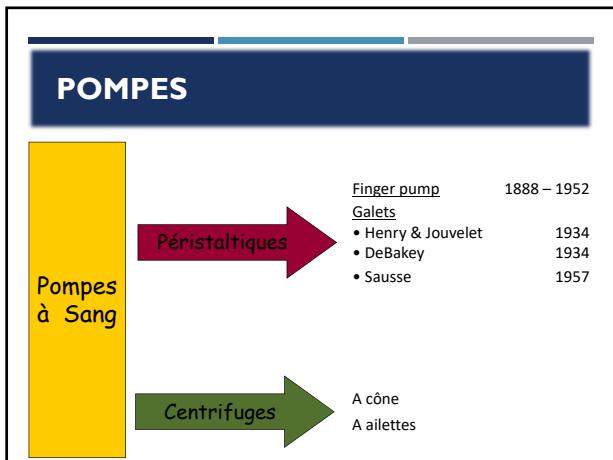
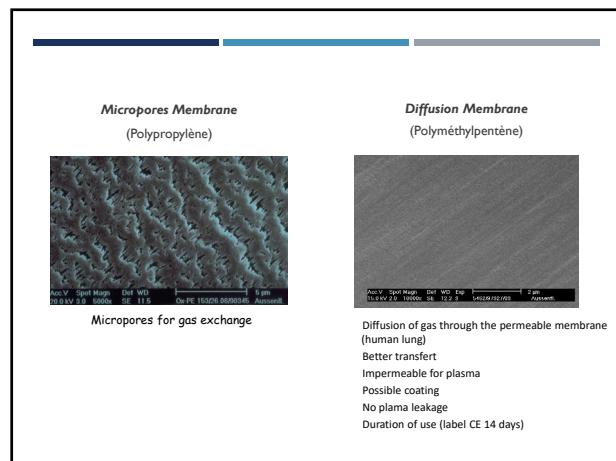
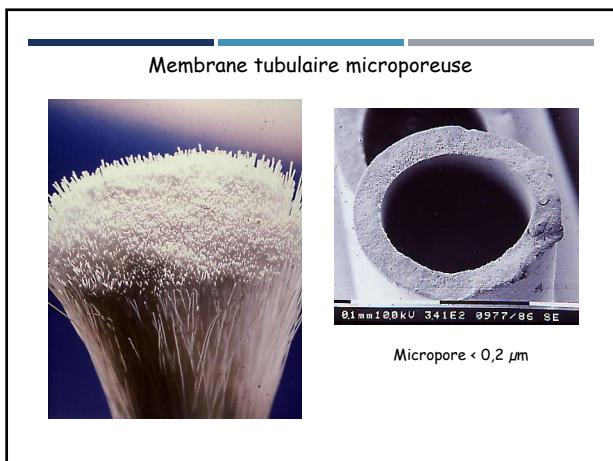
Terumo-Capiox vers 1985

Oxygénateur à membranes assemblées en couches CML (Cobe)**FIBRES CREUSES**

- Polypropylène (membrane microporeuse)

- Polyméthylpentène (membrane de diffusion) moindre fuite plasmatique





Pompes à galets ou péristaltiques ou « Roller pump »

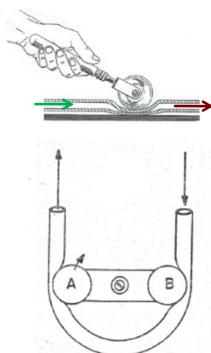
Utilisé depuis 1950 (majorité des pompes)
Chasse volume par compression
Phénomène aspiratif « théorique » (risque de cavitation)

Tuyau dans un corps de pompe circulaire
Compression par deux galets opposés (180°)
Mouvement de rotation
Compression continue du tuyau

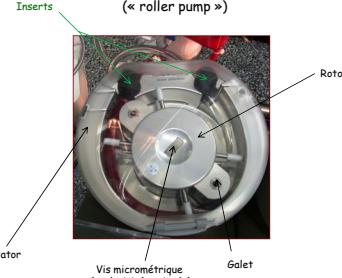
Pompe occlusive ou « sub-occlusive »
Excessive = risque hémolyse
Insuffisante = débit erroné
Test d'occlusivité (2-3 cm/min)

Inserts permet adaptation diamètre tuyau

Débit de pompe (~ 0,2-7 l/min)
- Diamètre de pompe (longueur tuyau dans corps de pompe)
- Diamètre du tuyau
- Vitesse de rotation de la tête de pompe



Pompe à galets (« roller pump »)



Pulsatile blood flow for cardiopulmonary bypass



Pompes centrifuges « centrifugal or kinetic pumps »

- Cône avec ou sans aubes dans structure solide (PVC)
- Orifice entrée (axe de rotation) + orifice sortie (perpendiculaire)
- Mouvement de rotation entraîné couplage magnétique (10 000 t/min max)
- Mobilisation du fluide selon principe « vortex imposé »
- Gradient de pression à l' intérieur du cône (force centrifuge)
 - Pression négative au centre (aide au drainage veineux)
 - Pression positive en périphérie (expulsion du sang)



Avantages

- ❖ Pas de risque de rupture ou déconnexion en cas d' occlusion artérielle
- ❖ Moins de lésions cellulaires (érythrocytes, plaquettes)
- ❖ Utilisation plus prolongée (plusieurs jours)
- ❖ Moins de dépression si anomalies RV (moins pourvoyeuse de microbulles)
- ❖ Faible volume d' amorçage (Rotaflow Maquet 32 ml)
- ❖ Moins de risque d' embolie gazeuse massive (désamorçage)



Hypothermie

University of Minnesota
Hospital operating room on September 2, 1952 near the end of the first successful open heart operation in medical history.

Dr. F. John Lewis closed an atrial septal defect under direct visualization using inflow stasis and moderate total body hypothermia (26°C).

In a 5-year-old girl who remains alive and well today. Postoperative heart catheterization confirmed a complete closure.



Lewis FJ et al. Surgery 1953;33:52-9

CHARLES DREW

Hypothermie profonde

SHROVE TUESDAY DINNER 1970
C.DREW ESQ.
THORACIC SURGEON

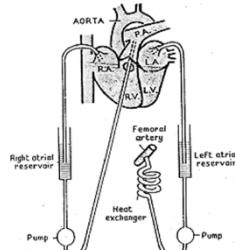
Le chirurgien londonien, d'origine galloise, deviendra un chirurgien apprécié, spécialiste des cardiopathies congénitales.

Méfiant à l'égard des oxygénateurs artificiels, et ceci jusqu'à la fin de sa carrière, il utilisera exclusivement la méthode de la quadruple canulation avec hypothermie profonde

DREW: HYPOTHERMIE PROFONDE SANS OXYGÉNATEUR

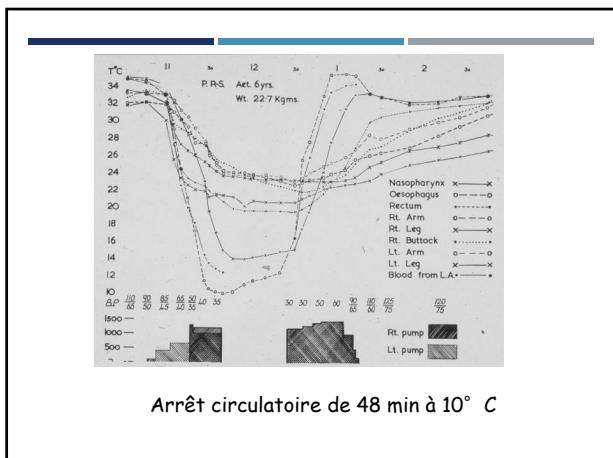
PROFOUND HYPOTHERMIA

C. E. DREW
M.V.O., F.R.C.S.
ASSISTANT SURGEON, WESTMINSTER HOSPITAL, LONDON, S.W.1;
THORACIC SURGEON, S.1. GEORGE'S HOSPITAL, S.W.1
G. KEIN
M.B. Lond., F.R.C.S.
SURGICAL RESEARCH ASSISTANT, WESTMINSTER HOSPITAL
D. B. BENAZON
M.R.C.P., F.F.A. R.C.S.
RESEARCH ASSISTANT, DEPARTMENT OF ANESTHETICS,
WESTMINSTER HOSPITAL

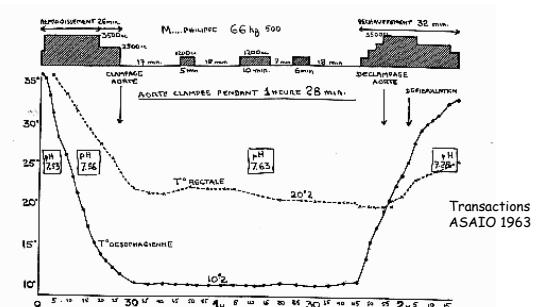


Article expérimental
Lancet - 1957

Quadruple cannulation



MÉTHODE DUBOST



Stimulation cardiaque

TRANSISTOR PACEMAKER FOR TREATMENT OF COMPLETE ATRIOVENTRICULAR DISSOCIATION

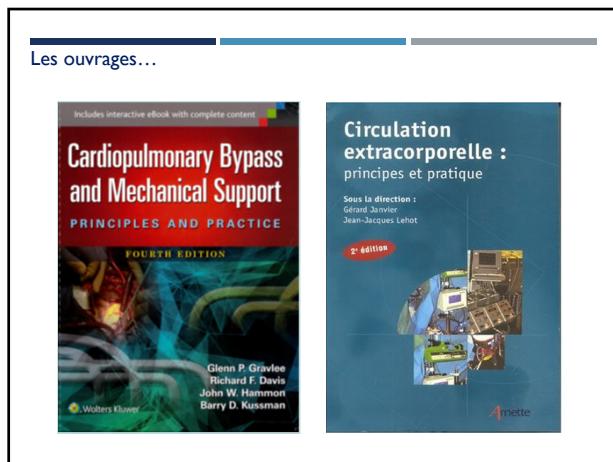
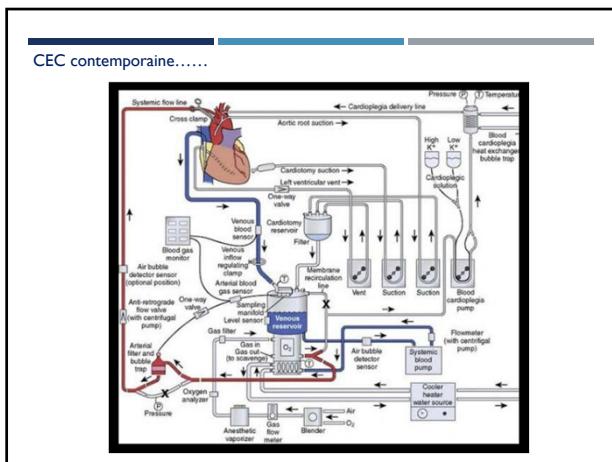
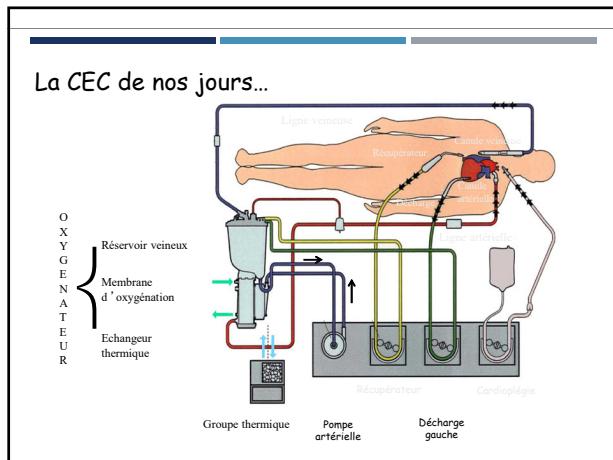
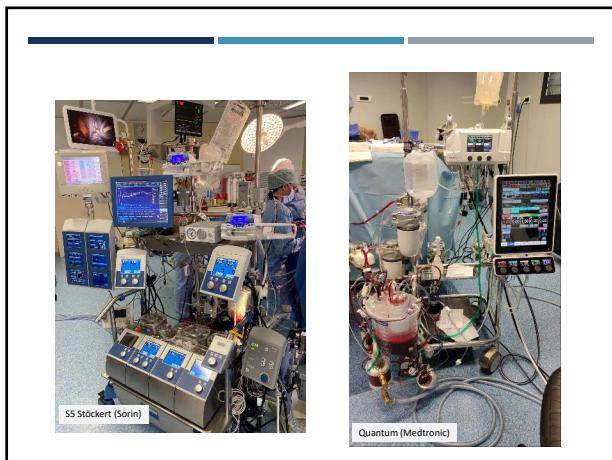
Walton Lillehei, M.D., Ph.D., Vincent L. Gott, M.D., Paul C. Hodges Jr., M.D., David M. Long, M.D.
and
Earl E. Bakken, B.E.E., Minneapolis

Earl Bakken a ensuite fondé MEDTRONIC

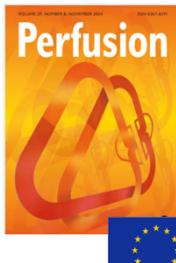
J.A.M.A. 1960

STIMULATEUR DE MARIE LANDELONGUE

Créé par
le Dr R.Gaillard
à la même époque



Les revues scientifiques...



Les recommandations...

CARDIOVASCULAR

2024 EACTS/EACTAIC/EBCP Guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery

Alexander Wahba^{1,2,4,1}, Gudrun Kunst^{3,4,5,1}, Filip De Somer^{6,7,8,1}, Henrik Agerup Kildahl^{1,2,1}, Benjamin Milne^{9,1}, Gunilla Kjellberg^{1,1}, Adrian Bauer⁹, Friedhelm Beyersdorf^{9,10,1}, Hanne Berg Ravn¹¹, Gerdy Debeuckelaere¹², Gabor Erdoes¹³, Renard Gerhardus Haumann^{14,15}, Tomas Gudbjartsson¹⁶, Frank Merkle¹⁷, Davide Pacini^{18,19}, Gianluca Paternoster^{20,21}, Francesco Onorati²², Marco Ranucci²³, Nemanja Ristic²⁴, Marc Vives^{25,26}, Milan Milojevic²⁷, and EACTS/EACTAIC/EBCP Scientific Document Group

British Journal of Anaesthesia, 134 (4): 917–1008 (2025)

« On ne connaît bien une science
que si l' on connaît son histoire»



Claude Bernard (1813 - 1878)

Liens d'intérêt



@: alexandre.ouattara@chu-bordeaux.fr