

# Circulation extra-corporelle & ECMO



**INSTITUT DE  
CARDIOLOGIE  
DE MONTRÉAL**

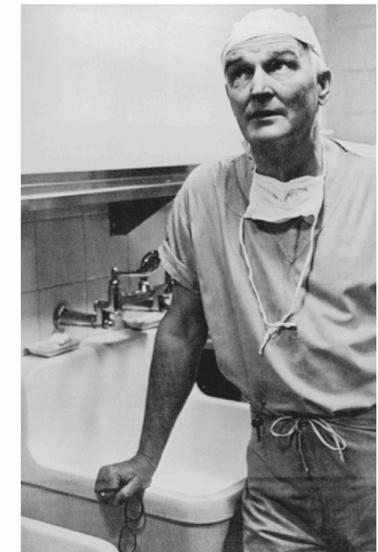
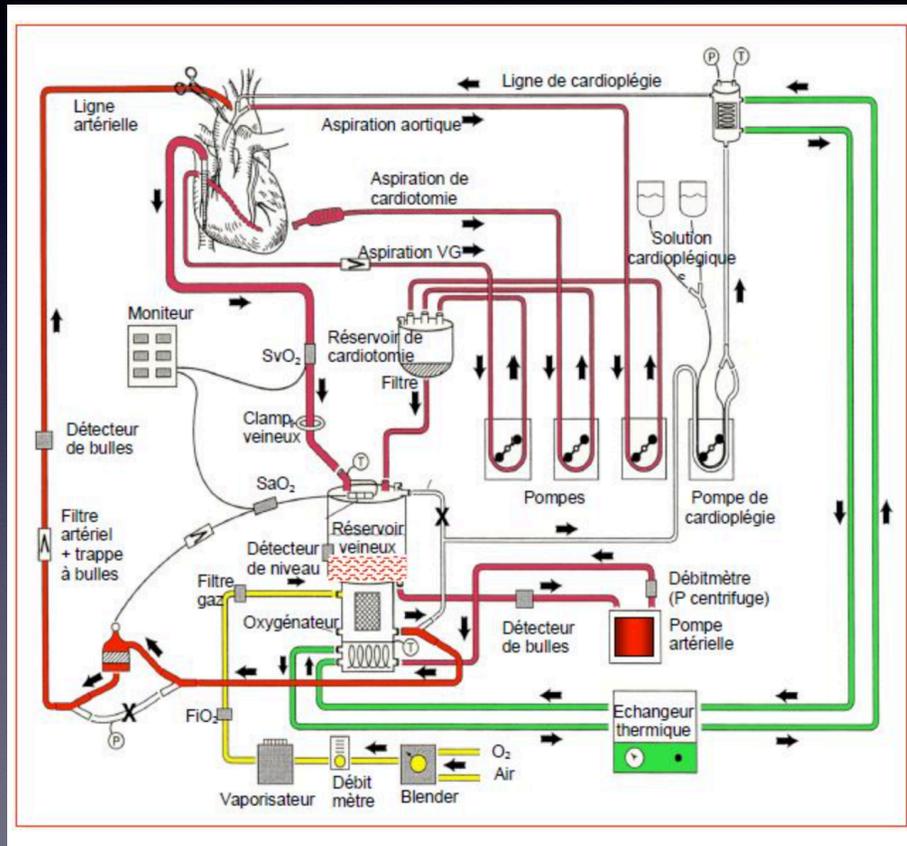
**AFFILIÉ À**  
Université   
de Montréal

Cours science de base  
6 novembre 2025

Dre Rosal Martins  
ICM

Circulation extra-corporelle

# Circulation extra corporelle ou CEC



**Figure 28-1** Dr. John Gibbon, Jr., before the first successful application of total extracorporeal circulation for cardiac surgery in humans. (Courtesy of Mutter Museum of the College of Physicians of Philadelphia.)

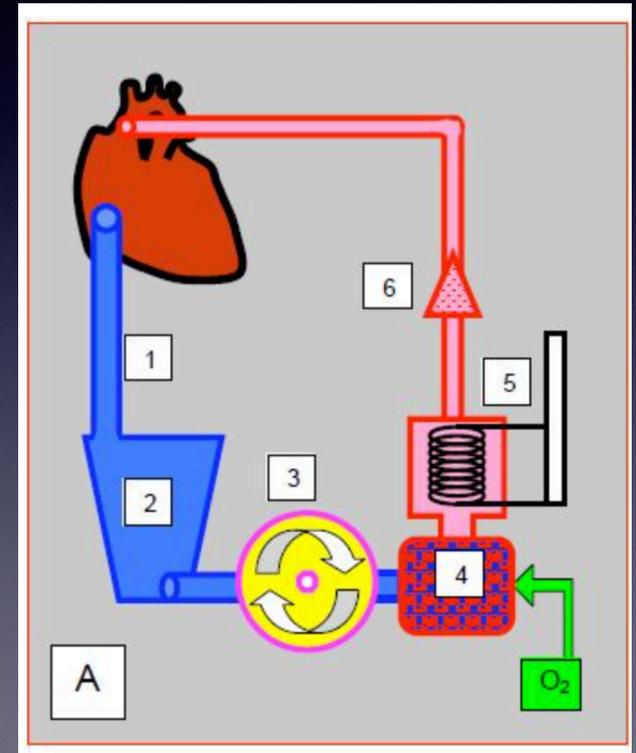
1<sup>ère</sup> mondiale en 1953  
Dr John Gibbon Jr

# CEC - Utilité

- Fonction poumon = échange gazeux
- Fonction cardiaque = maintien de la perfusion d'organes avec maintien d'un débit et d'une pression artérielle. 2-2.5 L/min/m<sup>2</sup>
- Gestion de la température corporelle
- Champ opératoire immobile
- Champ opératoire indemne de sang

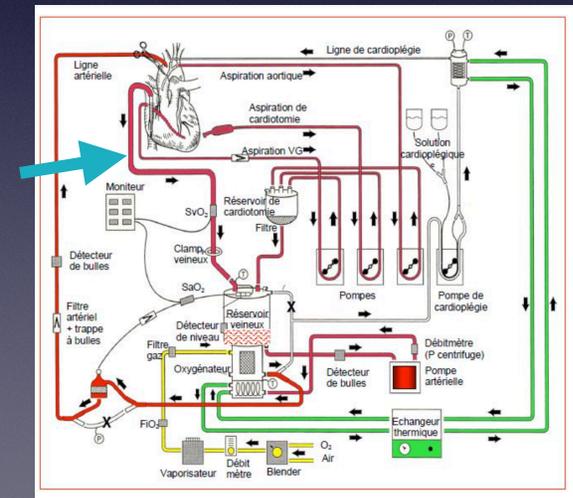
# CEC - Composantes

1. Canule(s) veineuse(s)
2. Réservoir veineux
3. Pompe
4. Oxygénateur (à membrane)
5. Échangeur thermique
6. Canule artérielle



# 1. Canule veineuse

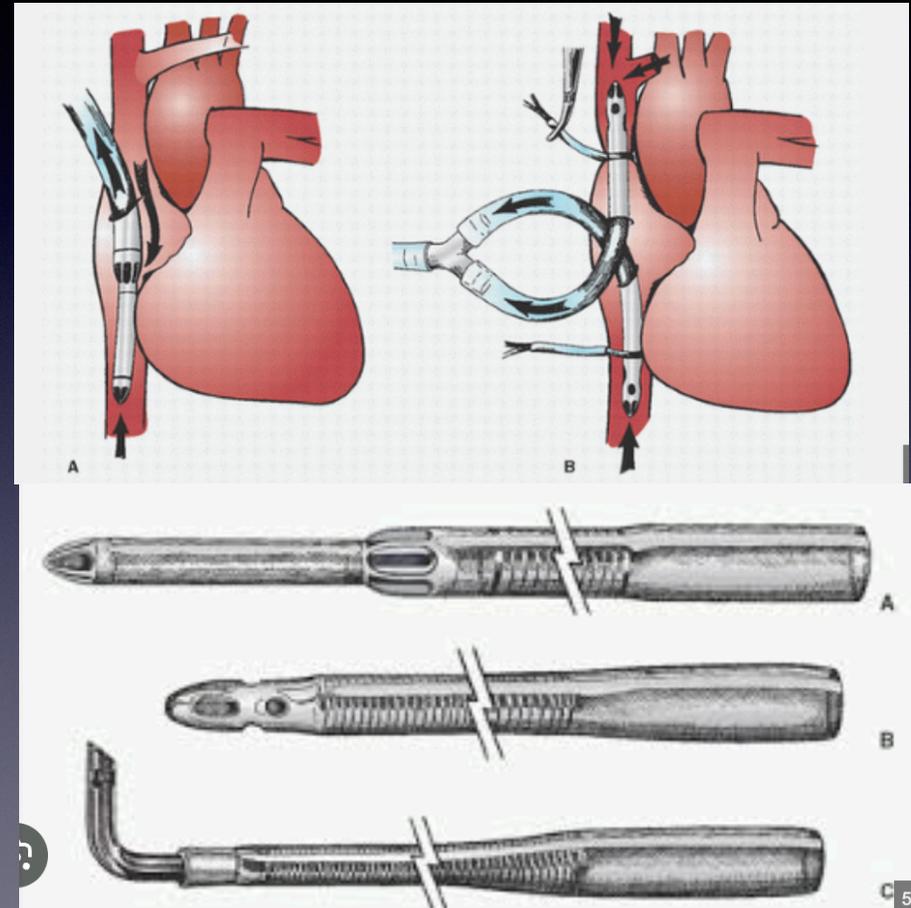
- Sang veineux drainé par gravité à partir des cavités droites dans le réservoir
- Drainage influencé par :
  - la colonne de poids entre patient et réservoir = différence de hauteur entre les 2
  - La résistance du circuit - canules de gros calibre:  
Taille des canules: 36 - 51F
  - PVC
  - Succion ou pompe pour augmenter le drainage



# Canulation veineuse centrale

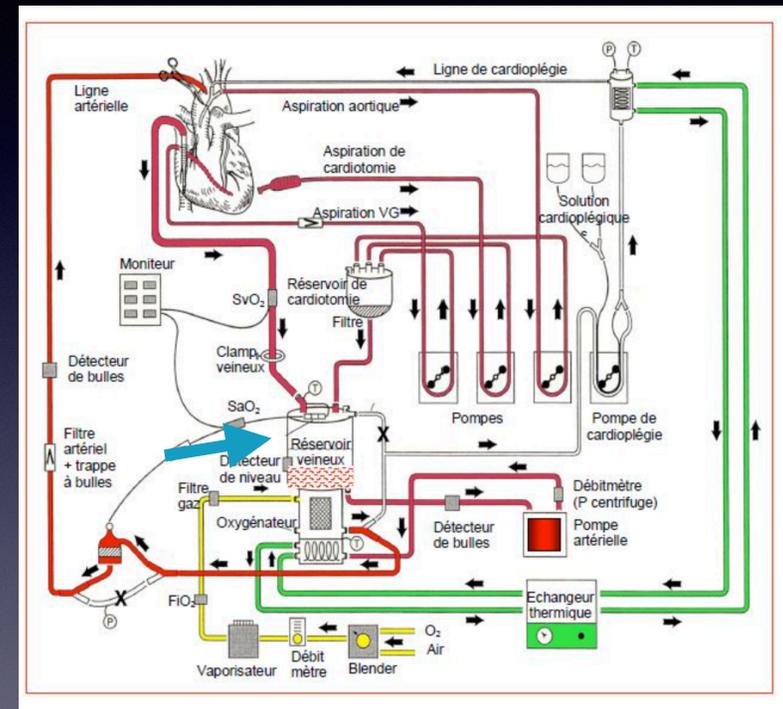
A. 1 seule canule - Double stage: introduit par l'appendice auriculaire D vers la VCI. Chir de pontages, valve Ao

B. 2 canules + ligature/snare: VCS et VCI. Permet de maintenir l'OD vide. Chir cavités D et mitrale. Le seul retour résiduel serait le sinus coronaire mais s'arrête à l'arrêt du coeur.



## 2. Réservoir

- Rôle:
  - Contenant
  - Trappe à bulles
  - Réserve de liquide si diminution drastique du retour veineux. Évite un envoi massif d'air/embolie gazeuse. Offre un certain temps de réaction au perfu
  - « Soupape » : permet de maintenir un débit artériel constant malgré les variations de retour veineux



- Reçoit:
  - Sang en provenance des canules veineuses
  - Sang en provenance des différentes succions
  - Ajout de liquides, produits sanguins, drogues
- Inconvénient: vaste surface de contact entre air et sang.

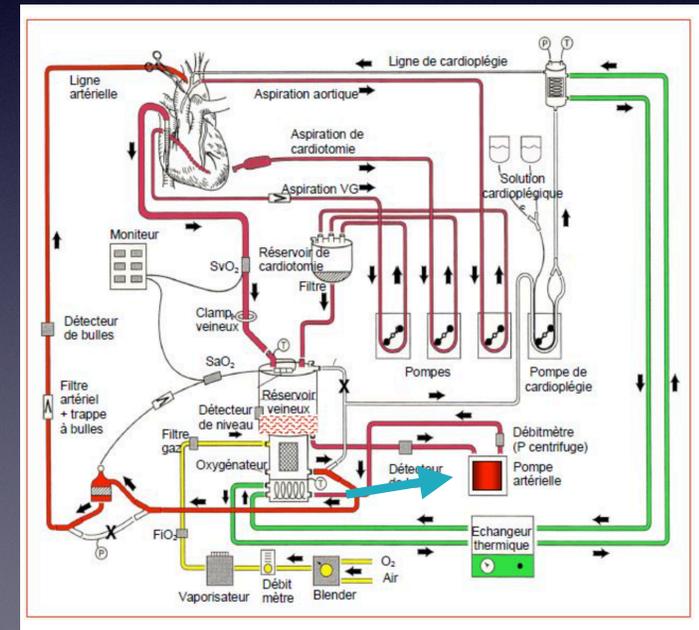
Activation du complément, agrégation plaquettaire et déclenchement du syndrome inflammatoire

# 3. Pompe artérielle

## Pompe à galet vs centrifuge

### Pompe à galets

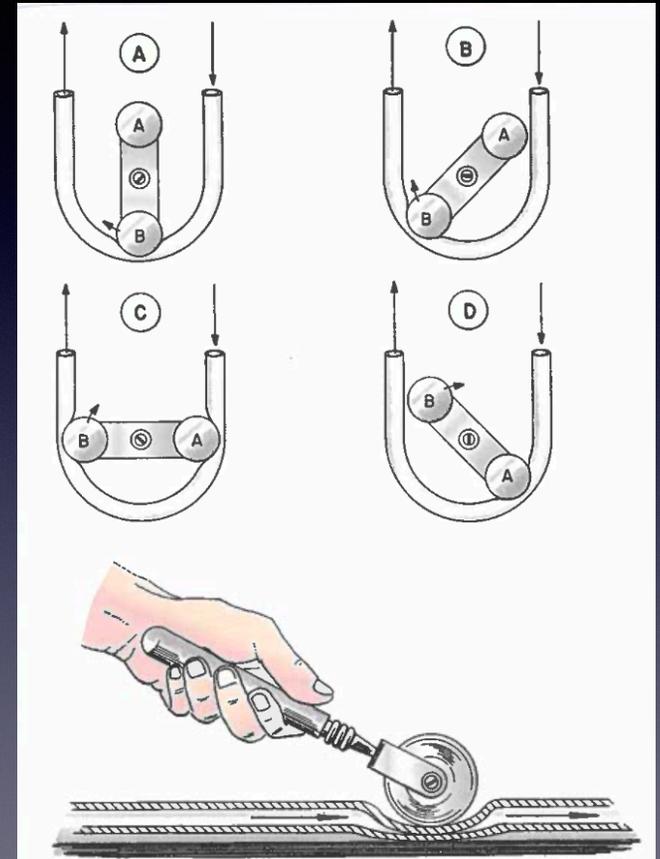
- Mouvement de sang par une compression progressive des tubulures. « Le sang et ses composants sont écrasés »
- Se base sur le principe d'occlusion +/- important
- Débit en fonction de la grosseur des tubulures
- Pour pompe artérielle ou les succions



- Avantages: peu couteux, efficace, faciles à utiliser, volume de priming bas (moins d'hémodilution)
- Désavantages: dommages sur cellules sanguines (hémolyse, activation plaquettaire)

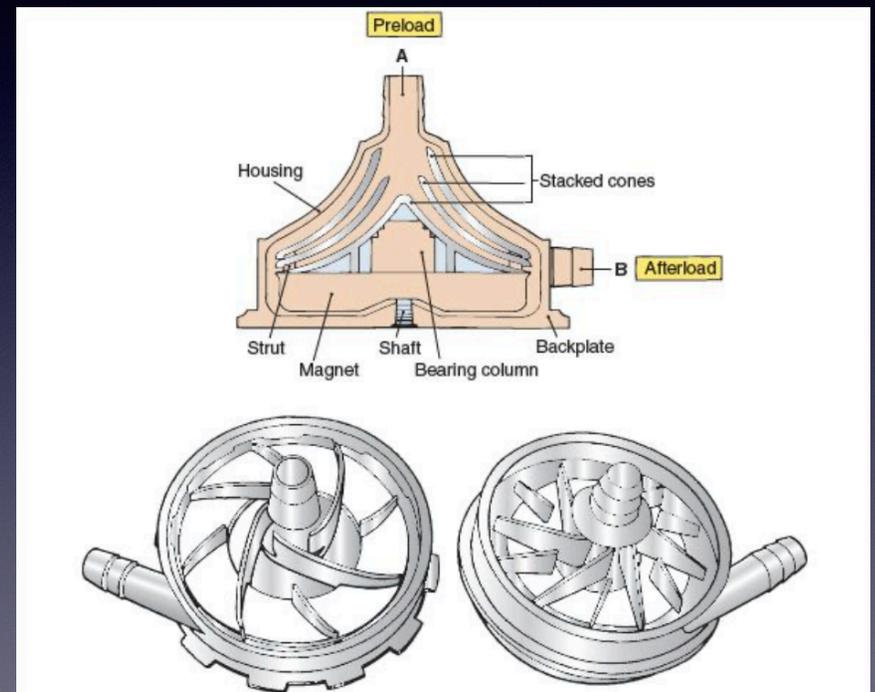


[www.perfusion.com](http://www.perfusion.com)



# Pompe centrifuge

- Principe: delta de pression qui provoque le mouvement de liquide
- 2 types: à cône ou **à turbine**.
- 2000-3000 rpm
- Avantages:
  - moins de risque d'embolie massive d'air
  - Moins de trauma sur les éléments sanguins



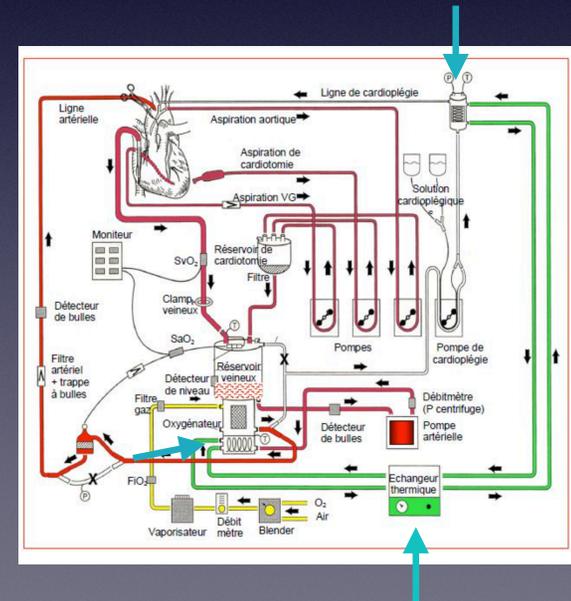
ICM: centrifuge pour cas complexes, galet pour pontages



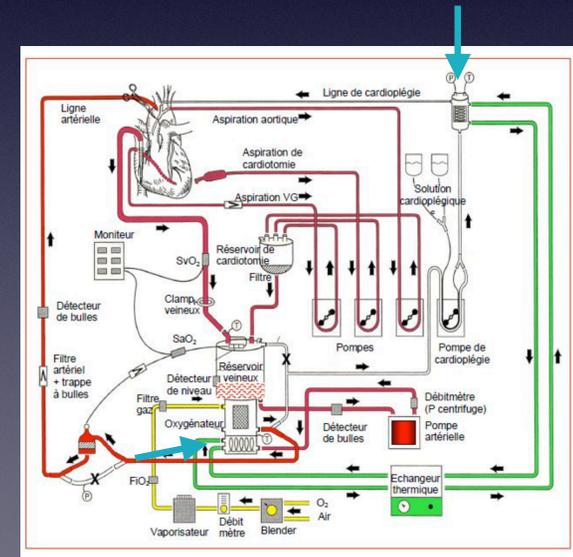
- Filtre à bulles: Efficacité variable et **insuffisante**. Important de diminuer le plus possible le retour d'air par la canule veineuse
- CO<sub>2</sub> artériel contrôlé par le débit de gas frais appelé le « sweep »
- Oxygénation en fonction de la FiO<sub>2</sub>
- Nécessite système livrant air et O<sub>2</sub> (mur)
- Mixeur de gaz: air/O<sub>2</sub>
- Vaporisateur + scavenging. Administration de halogénés. Exige débit de gas frais élevé donc peu écologique

## 5. Échangeur thermique

- Perte de chaleur massive du patient dû au sang passant dans le circuit (canule, réservoir, etc)
- Nécessité absolue de pouvoir réchauffer le patient
- Peut-être utilisé pour refroidir de façon volontaire pour certaines procédures ex: chirurgie de la crosse aortique avec arrêt circulatoire
- Tube à travers lesquels le sang passe. Ceux-ci sont entourés glycol à température variable

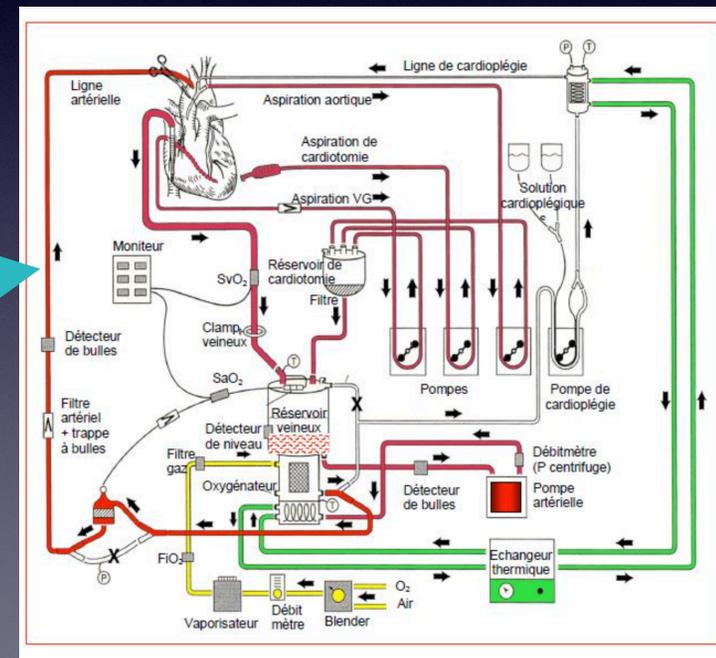


- 2 endroits peuvent avoir un échangeur thermique: Oxygénateur et Cardioplégie. Souvent 2 températures différentes
- Éviter les gradients de température importants lors du réchauffement du patient. Max 10°C de gradient. Max 37°C
- Contrôle de la T° de l'échangeur thermique et du sang dans les canules
- Risque majeur de formation de bulles et d'embolies d'air
- Risque de lésions cérébrales si le cerveau se réchauffe trop et trop vite



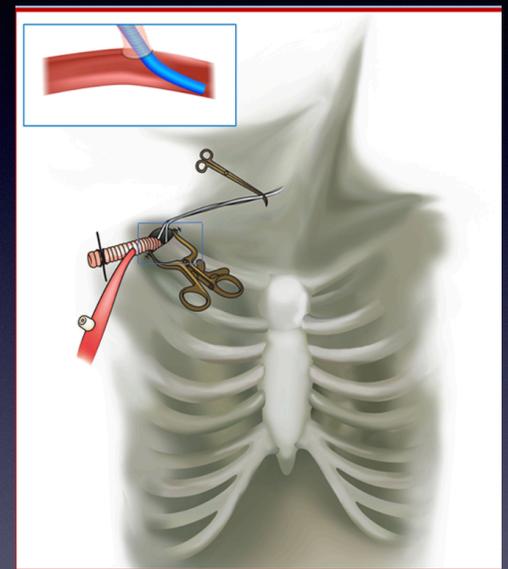
## 6. Canule artérielle

- Rôle: retour du sang vers le patient
- Choix taille de canule en fonction de la taille du patient.  
Objectif: maintien du débit cardiaque
- Vitesse < 100-200 cm/s
- TAM < 100 mm Hg
- Si >: risque de trauma éléments sanguins et paroi aortique
- Sites: **central**, périphérique, sous-clav en fonction de la chirurgie



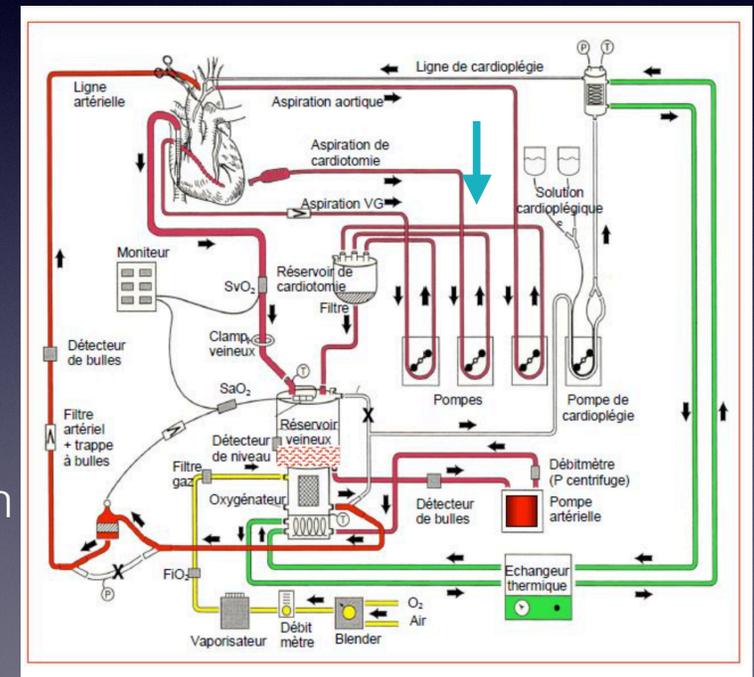
**TABLE 21.1** Arterial cannulation sites

	<b>Indications and advantages</b>	<b>Limitations and hazards</b>
Ascending aorta	Convenient Lower risk of dissection (~0.1%)	Atheroembolism May not be available due to ascending aortic pathology (e.g., atherosclerotic, "porcelain aorta", aneurysm, dissection)
Femoral/Iliac	Ease For peripheral cannulation During re-entry, especially if developed bleeding Pre-incision if severe heart failure For minimal-access surgery	Retrograde dissection (~0.5–1.5%) Unavailable if peripheral vascular disease (PVD) Ischemia of cannulated extremity Compartment syndrome Post-release emboli Risk of malperfusion when used in patients with aortic dissection
Axillary/subclavian	Best for patients with aortic dissection Permits selective cerebral perfusion (SCP) Decrease risk of atheroemboli	More difficult and time consuming Not risk-free



## 7. Différentes succions/aspirations +/- réservoir de cardiectomie

- Pompes à galets
- Les succions sont les sources principales de:
  - micro-embolies
  - hémolyse
  - dénaturation protéique
  - perte plaquettaire et troubles de la coagulation
  - Activation d'un syndrome inflammatoire



Mais pourquoi c'est essentiel? Au delà de la visibilité/exposition

Décompression/venting évite la distension du coeur

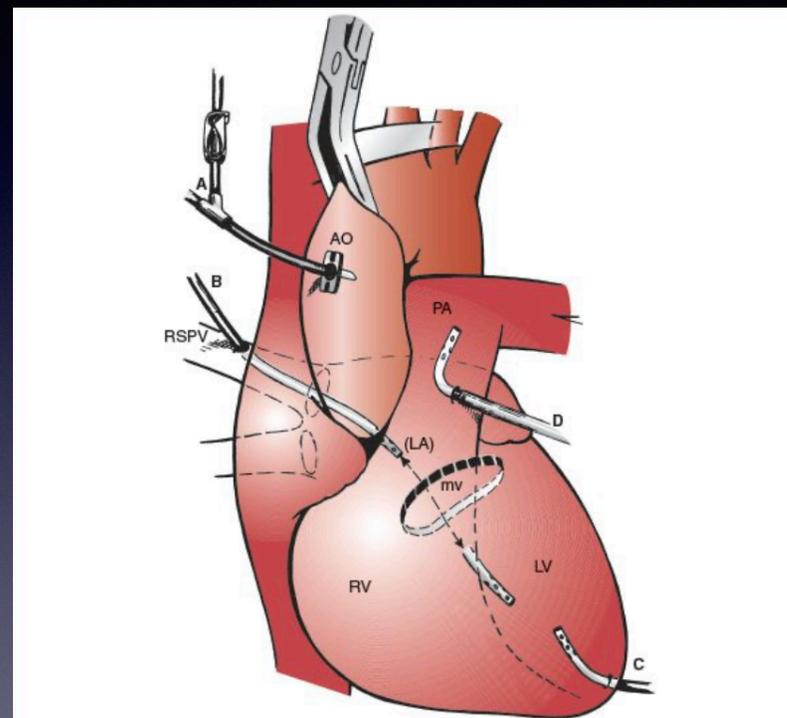
- Participe à la protection myocardique car:
  - la distension cause de la dysfonction VG
  - la distension diminue la perfusion subendocardique et augmente les besoins myocardiaques en  $O_2$
- La distension augmente la pression dans l'OG: risque OAP et hémorragie

1. **Succion droite:** champ opératoire. Toutes chir.

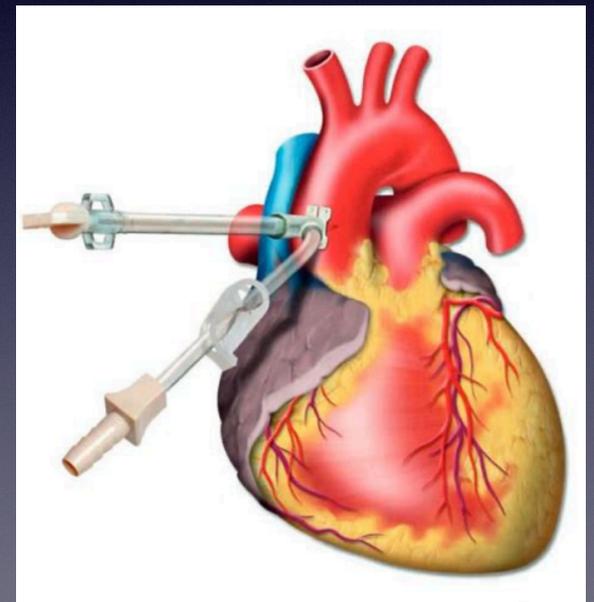
- Ne peut être utilisée que si le patient est déjà héparinisé. Si pas d'héparine, utilisation du cell saver/mur.
- Ce sang contient micro agrégats cellulaires, graisse, débris, facteurs fibrinolytiques et thrombogéniques

## 2. **Succion gauche** = « décompression, basket »

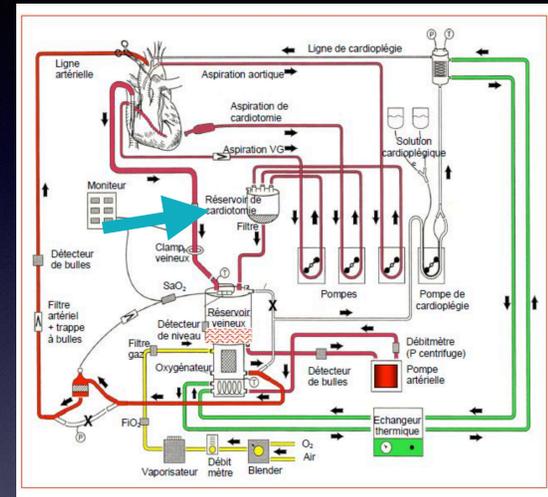
- placée à travers la **VPSD/VG/AP/AA**.
- Décharge les cavités cardiaques gauches.
- Sang provient: circulation bronchique, coeur droit (drainage insuffisant des canules veineuses), IAo, CIA/CIV, ductus arteriosus
- Utilisé pour chir valvulaire.



3. **Succion aortique** - aspiration de bulles + décompression G.  
Toutes chir. 2e partie du « Y » de la cardioplégie



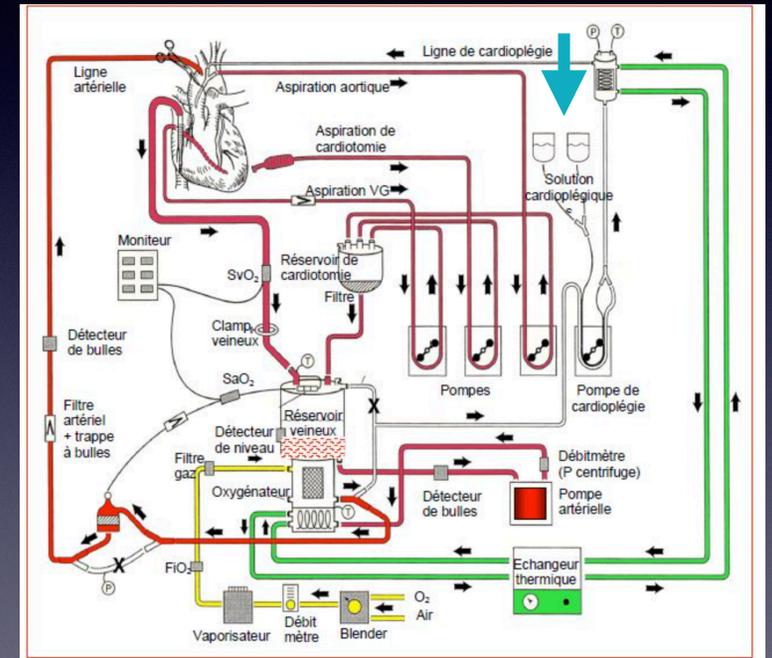
- Réservoir de cardiectomie:
  - utilisé de façon facultative selon chir et groupes. Permet de faire une collecte d'aspiration (sang, graisse) très inflammatoire. Ce contenu est ensuite passé au cell-saver ou autre méthode de filtration.
  - Si pas de réservoir de cardiectomie: directement dans le réservoir veineux



## 8. Cardioplégie

**Rôle:** arrêt et protection du coeur en perfusant les coronaires de solution de cardioplégie.

**Diminuer la consommation d'O<sub>2</sub>**



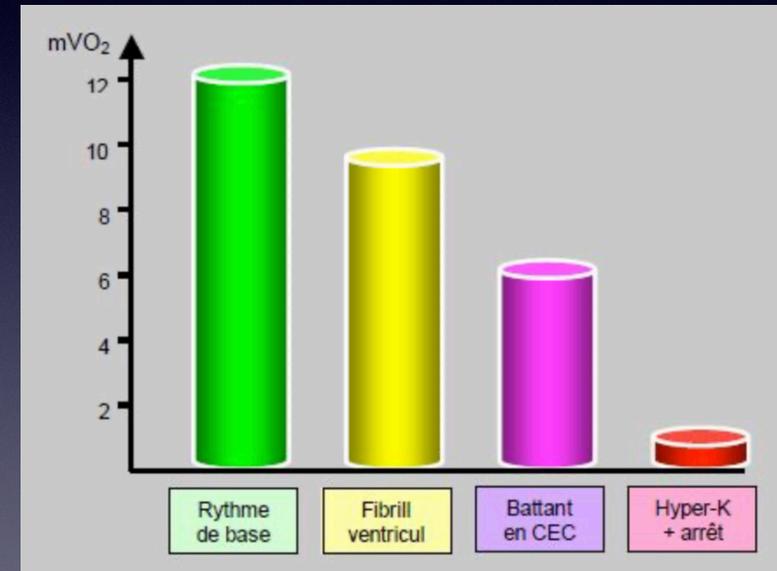
# Protection myocardique

## Lésions cellulaires = ischémie ET reperfusion

- #1 = cardioplégie
- Autres mesures:
  - régulation hémodynamique
  - diminution demande myocardique en O<sub>2</sub>: diminution de la contractilité et tension de la paroi
  - diminution de la réaction inflammatoire: matériel biocompatible, petit circuit de CEC, hémofiltration
  - conditionnement: débat sur les halogénés, peu de bénéfices démontrés

# Variation de la consommation d'O<sub>2</sub>

- Rythme de base: 10-15 mL/100 gm/min
- Fibrillation: 8 mL/100 gm/min (75%)
- Coeur sous CEC battant mais sans produire de travail: 5-7 mL/100 gm/min
- En arrêt en normothermie: 1 mL/100 gm/min
- En arrêt en hypothermie: 0,3 mL/100 gm/min



Un besoin persiste malgré l'arrêt

- Caractéristiques de la cardioplégie
  - Arrêter: diminution de la consommation de O<sub>2</sub>
  - Protéger
  - Fournir des éléments permettant la survie des myocytes jusqu'à la reprise de l'activité = apport de substrat
  - Maintien du pH
  - Prévenir la formation de radicaux libres et surcharge calcique

- 2 éléments majeurs:
  - Hyperkaliémie: [ K<sup>+</sup> ] 18-20 mmol/L pour solutions froides; 20-25 mmol/L pour solutions normothermiques. Arrêt du coeur en diastole
  - Hypothermie: 5-10°C pour les solutions de cardioplégie froide.
- Persistance de consommation d'O<sub>2</sub> par glycolyse anaérobie
  - > acidose intra-cellulaire
    - > besoin de tampons: Bicarbonate, THAM, histidine, acétate

# Solutions de cardioplégie

Aucune solution miracle. Pas de consensus

Sang vs cristalloïdes

Perfusion continue vs intermittente

Froid vs chaud

# Cristalloïde

- Simple et peu coûteuse
- Enrichies en  $K^+$ , peu ou pas de  $Ca^{2+}$  + autres ajouts
- Température 5-10°C
- Plus grand volumes 500 - 1000 ml
- Durée: 30 - 60 min
- Avantage: bonne rhéologie, clarté champ opératoire, moins d'interruption
- Désavantage: pas de transport d' $O_2$ , hémodilution
- Ex: Custodiol, St Thomas, Del Nido (ICM), Bretschneider

Composant	Bretschneider	St. Thomas No 2
$Na^+$ (mmol/L)	12	110
$K^+$ (mmol/L)	10	16
$Ca^{2+}$ (mmol/L)	0	2.4
$Mg^{2+}$ (mmol/L)	4	32
pH	7.4 (histidine)	7.8 (bicarbonate)
Osm (mosm)	320	324
Autre	procaïne 0.2% mannitol 239 mmol/L	± procaïne± (1 mEq) $O_2$

# Sang

- Sang prélevé par une pompe dédié
- Mélangé à une solution enrichie en  $K^+$  : ratio solution/sang 1/5
- Variation de cette technique: pousse seringue de  $K^+$  et  $Mg^{2+}$
- Avantage: sang lui même transporte  $O_2$ , a un pouvoir tampon, bon pouvoir oncotique et rhéologique. Moins d'hémodilution. Moins de lésions de reperfusion
- Différentes possibilités en terme de température. Si normothermique, administration doit être continue ou q 10 min
- Pas de diminution d'infarctus ou de mortalité

- Voies d'administration de cardioplégie

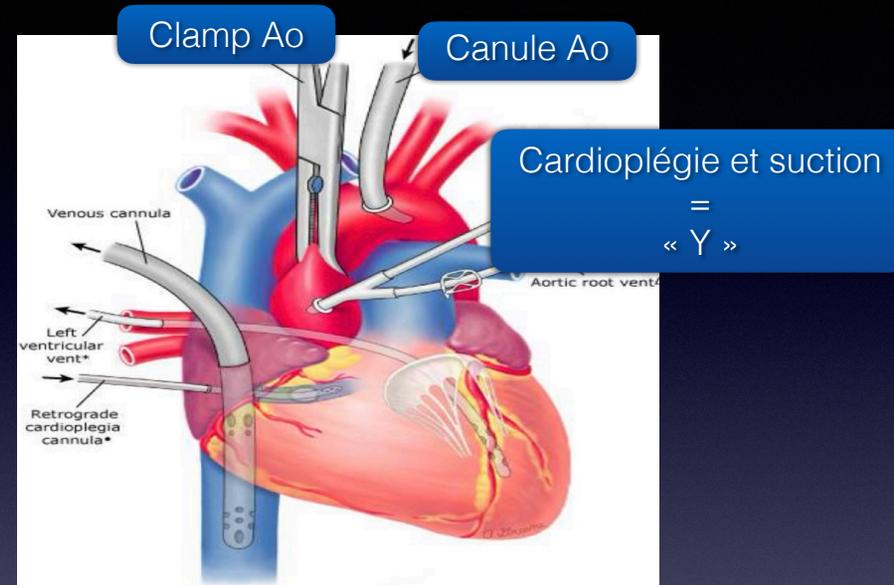
1. Racine aortique:

Inefficace si Insuffisance Ao

Risque majeur de distension du VG si IAo importante

Appelé « Y »: cardioplégie et suction

Doit avoir un certain degré de pression dans la racine afin de perfuser les coronaires. 70-100 mm Hg



## 2. Ostia coronariens:

Si IAo, chirurgie ouvrant la racine Ao ou dissection aortique

Risque d'embolisation de plaques athéromateuses distalement

Pression de perfusion 70-100 mm Hg



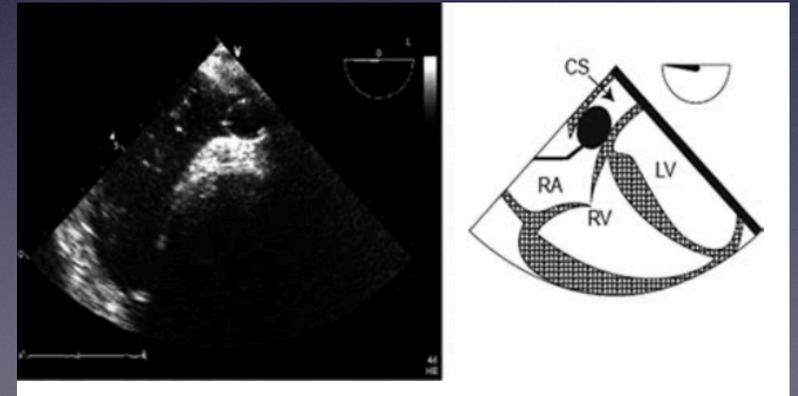
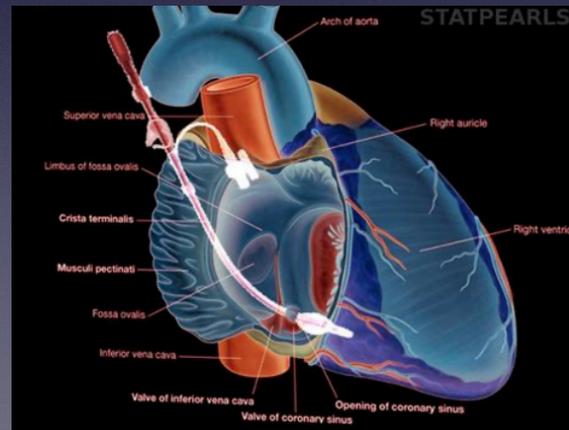
Canules ostiales ou Spencer

### 3. Sinus coronaire - cardioplégie rétrograde.

Protection le plus souvent insuffisante du VD et devrait donc être associée à une cardioplégie antérograde. Utile en cas de sténoses coronariennes sévères ou IAO

Mesure de la pression de perfusion afin de ne pas déchirer le sinus: 30 - 40 mmHg

Placé à travers l'OD



Cathéter de cardioplégie rétrograde

# Anticoagulation

- Absolument nécessaire afin d'éviter les thromboses de circuit
- Interface sang/air et sang/matériel: activation de la coagulation
- **Héparine non-fractionnée**: choix #1
- Dose: 300-400U/Kg
- Se lie à l'antithrombine III et augmente sa capacité à inhiber les facteurs II, IX et X
- Suivi de l'ACT avant et per CEC: idéalement > 480 sec. Peu de risques si > 400 sec
- Alternatives: bivalirudine, argotroban, danaparoïde sodique

# Protamine

- Actuellement obtenue par des techniques recombinantes. Au départ, extrait de sperme de saumon
- 1 mg de protamine neutralise 100U d'héparine
- 1/2 vie protamine 7min vs 1/2 vie héparine 60 -120 min
- Dose basée sur la courbe dose-réponse (HMS) du patient ou **80% de la dose d'héparine** (préférence personnelle)

- Effets secondaires de la protamine:
  - libération histamine: vasoplégie
  - HTAP: complexe protamine/héparine libère de thromboxane A2
  - réaction Ag-Ac: expo préalable à la protamine, patients diabétiques (insuline stabilisée avec protamine), patients vasectomisés (22-33% développent des Ac contre protamine post vasectomie), allergie au poisson
  - réaction anaphylactoïde: activation du complément par complexe protamine/héparine
  - À un ration protamine/héparine > 1.5:1 mg, la protamine possède un effet anticoagulant

# Syndrome inflammatoire systémique SIRS

- Le sang, dans son état normal, ne rencontre que l'endothélium.
- Une plaie ou corps étranger = surface non-endothélialisée

Déséquilibre instantané et déclenchement d'une cascade de phénomènes protecteurs

L'agression étant systémique, la réponse l'est aussi

= SIRS

« Tout » dans une CEC participe à cette réaction

- Contact surface/sang: circuit
- Contact air/sang: aspirations
- Hypothermie
- Ischémie/reperfusion
- Héparine
- Complexe héparine - protamine

- Conséquences
  - Coagulopathie
  - Vasoplégie
  - Accumulation interstitielle de liquides: oedème cérébrale, pulmonaire
  - Dysfonction multiorganes
- 20% des patients avec bas risque opératoire

# Complications liées à la CEC

- Dissection aortique: canule placée en intrapariétale, autres causes possibles: décompression, clampage. Mortalité 20%
- Embolie gazeuse massive: cause #1 réservoir vide donc vigilance et prévention avec multiples capteurs. Mortalité 35%
- Hypoxémie

Défaut d'alimentation en O<sub>2</sub>

Bris oxygénateur: Mortalité 10%. Possibilité de changer per CEC mais doit être arrêtée.

- Thrombose de circuit: Héparinisation insuffisante. Prévention avec ACT q 20-30 min. Ajout d'héparine au besoin.

Autre cause: administration de protamine per CEC ou utilisation de la succion droite après administration de la protamine. Cela rend la CEC inutilisable en cas d'urgence.

- Arrêt de la pompe artérielle: coupe électrique ou dysfonctionnement. Manivelle

- Obstruction du retour veineux: clamp, kink, canule mal positionnée, air lock.

Mauvais drainage avec augmentation de la pression veineuse.  
Risque de diminution de la perfusion cérébrale sur oedème,  
distension des cavités droites

Risque d'embolie gazeuse car réservoir vide



ECMO

Extracorporeal membrane oxygenation

# ECMO

- Version simplifiée d'une CEC. Permet une utilisation de longue durée
- Circuit:
  - Pompe:
  - Oxygénateur: membrane PMP (polyméthylpentène) non micro poreuse. Échanges gazeux moins performants mais meilleure biocompatibilité et durabilité car pas de contact sang/air. Caractéristique importante
  - Échangeur thermique
  - Canules

- Différence majeure avec la CEC : il n'y a **pas de réservoir ni filtres** :  
**BULLES**
- Centrale vs périphérique
- Différentes utilisations de l'ECMO
  - Bridge to recovery
  - Bridge to transplant: coeur ou poumon
  - Bridge to VAD
  - Bridge to « think »

- Indications
  - insuffisance cardiaque et/ou respiratoire réfractaire au traitement conventionnel.
  - Menace la survie du patient
- Bridge to recovery
  - Post-op chirurgie cardiaque
  - Réa intra-hospitalière
  - Pneumonie
  - EP
  - Noyade
  - ARDS
  - Sepsis
  - Cardiomyopathie aiguë
  - CM du postpartum

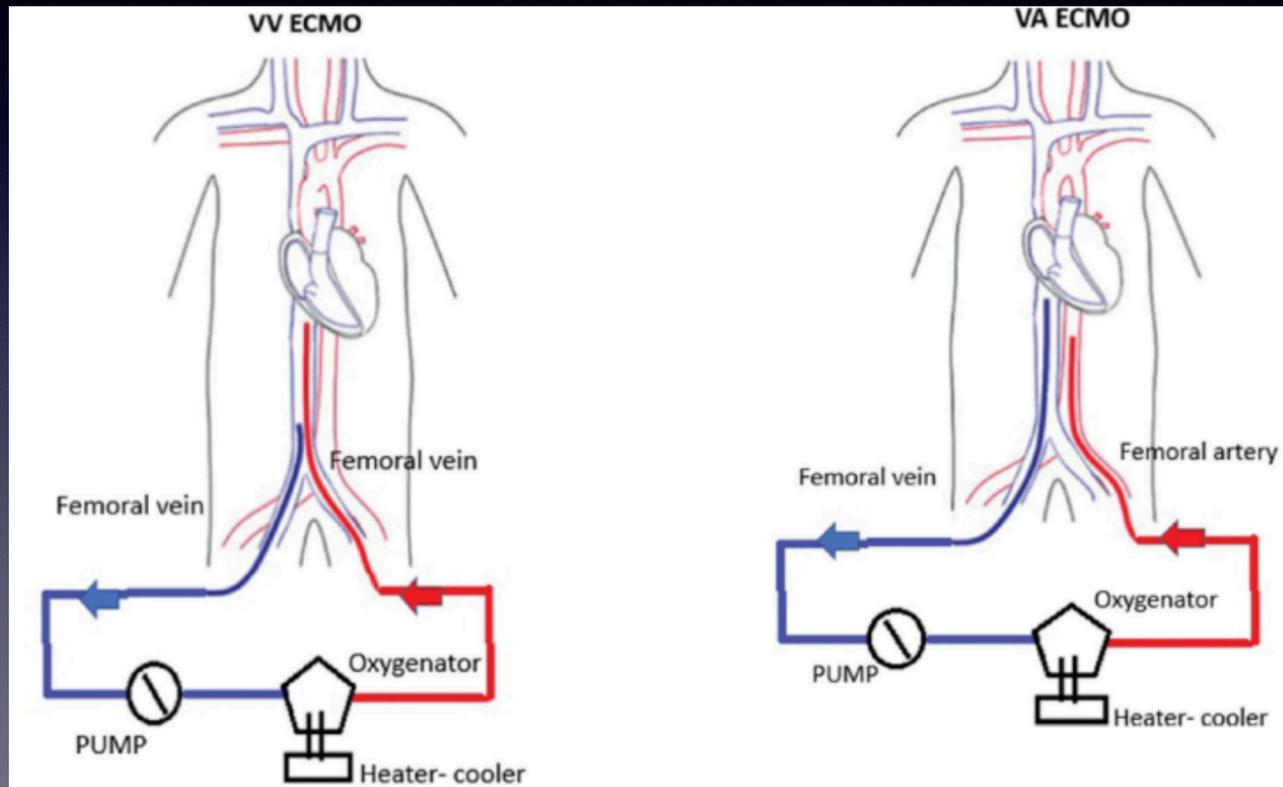
- Contre-indications:
  - Trop longue réanimation
  - Lésions neurologiques
  - IAo sévère, dissection aortique
  - pas de possibilité de bridge to...

Penser à l'ECMO plutôt tôt que tard

- PaO<sub>2</sub> déterminée par: fonction pulmonaire résiduelle, mélange air/O<sub>2</sub>
- PaCO<sub>2</sub> déterminée par: débit de gaz frais et débit de pompe
- Causes d'hypoxémie:
  - Défaut oxygénateur: thrombose
  - Débit de pompe ou gaz frais trop bas
  - Détérioration de la fonction respiratoire
  - Demande métabolique accrue: fièvre, sepsis
  - Recirculation - ECMO VV

# 2 types d'ECMO

## VV vs VA



# ECMO Veino-Artérielle ou ECLS

- Assistance cardio-respiratoire
- Circuit
  - sang drainé par canule à partir de l'OD (centrale) ou VCI proche de l'OD (périphérique)
  - passage dans l'oxygénateur
  - renvoi du sang vers une **artère** de gros calibre: fémorale (périphérique), sous clavière ou aorte
- Pompe centrifuge. Moins d'hémolyse mais très volume et post charge dépendant —> remplissage, diminution vitesse de rotation

- Débit systémique = ECMO + éjection cardiaque résiduelle.
- En cas de canulation centrale: PaO<sub>2</sub> est élevée au niveau des a. radiales
- En cas de canulation fémorale:
  - PaO<sub>2</sub> : A. radiale D < A. radiale G < A. fémorale
  - Monitoring des échanges gazeux sur **a. radiale droite** car coronaires et cerveau vont être perfusés par le sang en provenance du VG. Important de s'assurer de la bonne oxygénation de celui-ci
  - Flux antérograde (coeur) et flux rétrograde (fémoral) vont se rencontrer à des niveaux variables au niveau de l'aorte thoracique

- Post chirurgie cardiaque: le plus souvent, besoin d'ECMO VA
  - Variation possible pour assistance droite uniquement: canulation OD et AP
- Meilleure efficacité de canules centrales (OD et aorte) vs fémorales
- Désavantage: Maintien du thorax ouvert

- Complications rencontrées sont multiples:
  - Augmentation de la postcharge par flux en provenance de la canulation artérielle. Plus marqué par canulation fem.

Provoque distension du VG, stase et formation de thrombus intra VG. OAP. Aggravé par le retour veineux bronchique

ETO: VG dilaté, contraste spontané, thrombus, VA ne s'ouvre pas

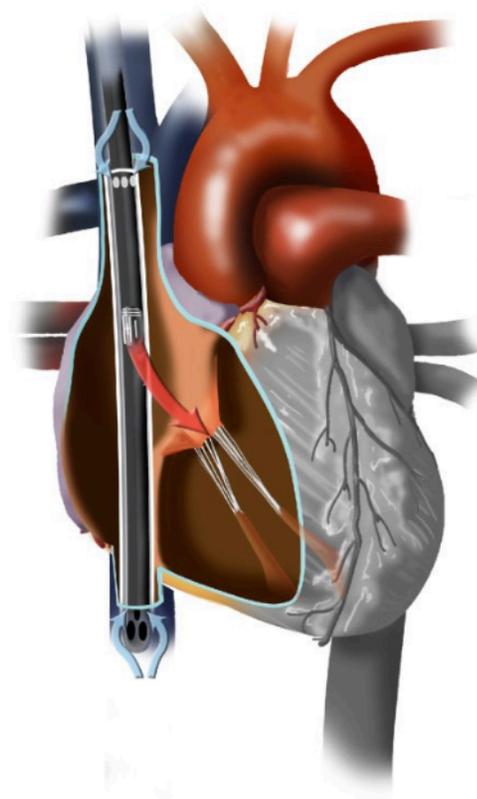
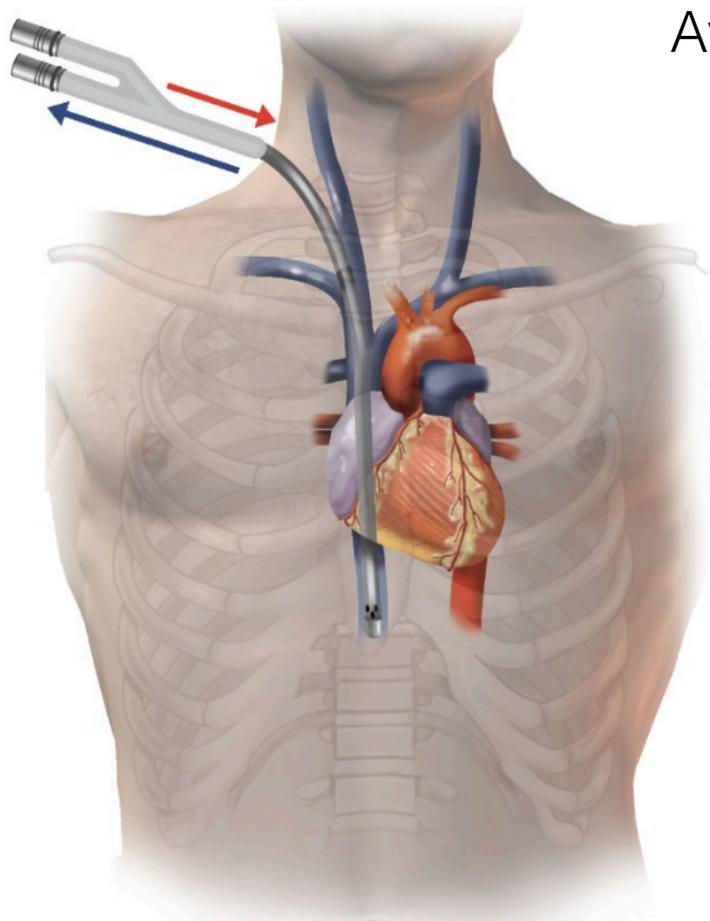
R/ inotropes, BIA, décompression, arrêt vasopresseurs +/- vasodilatateurs, PEEP

- Hémorragie: sites de cannulation, dig, intracrânienne, tamponnade
- Thrombose circuit ou oxygénateur: EP, AVC, thrombus intra VG
- IRA
- Infection, sepsis
- Thrombocytopénie, HIT
- Pneumonie, ARDS
- Ischémie de la jambe: canule de reperfusion
- Neuro: AVC hémorragique ou thrombotique, hypoperfusion
- Embolie gazeuse
- Déconnection de circuit

# ECMO Veino-veineuse

- Assistance respiratoire
- Débit cardiaque assuré par le coeur
- Circuit: drainage et retour se font à partir et vers des **veines**
- Montages classiques:
  1. Drainage VCI à travers la fémorale et retour par VJI
  2. Avalon: KT à 2 lumières implanté dans la VJI drainant VCS et VCI et réinjectant le sang dans l'OD vers la valve tricuspide

Avalon



- ECMO VV permet ventilation hyperprotectrice
  - Bas volume courant
  - Faible pression de crête
  - FiO<sub>2</sub> réduite
  - Pa CO<sub>2</sub> :ventilation extracorporelle

- Phénomène de recirculation - complication spécifique à ECMO VV:

lorsque les canules de drainage et de retour sont trop proches dans l'OD, le sang oxygéné by-pass le patient et retourne directement dans la canule de drainage

Diagnostic: SvO<sub>2</sub> élevée avec SaO<sub>2</sub> basse

# Conclusion

- CEC et ECMO à la fois semblable et différent.

Leurs spécificités permettent des utilisations différentes et complémentaires

CEC = salle d'op vs ECMO = support externe

- Risque morbi-mortalité non négligeable
- Indications d'ECMO continuent d'évoluer. Centre expérimenté avec volumes élevés.

- A practical approach to cardiac anesthesia, Gravlee
- Précis d'anesthésie cardiaque
- Extracorporeal membrane oxygenation cardiopulmonary disease in adults, Abrams & al