

# Matériels consommables : circuits, cathéters, membranes

14/05/2025

DU CEC en chirurgie cardiaque et en suppléance d'organes

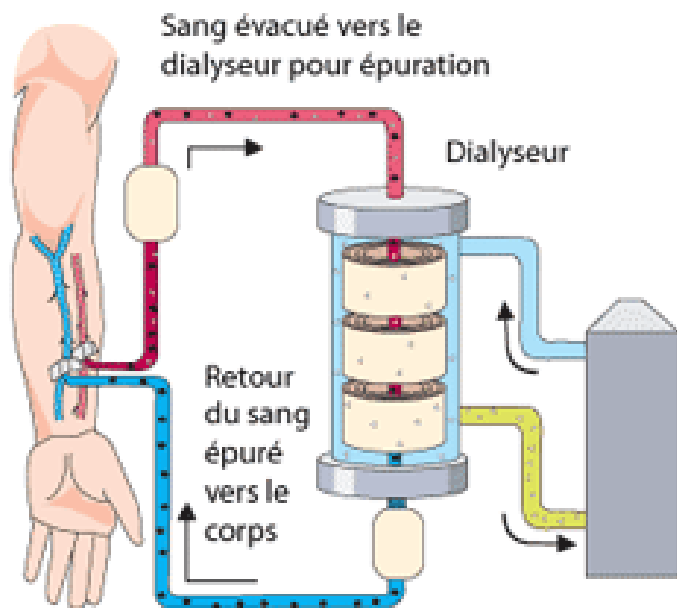
Dr Yoann ABADIE – Chef de Clinique

Service de Néphrologie-Transplantation-Dialyse-Aphérèse-Pellegrin

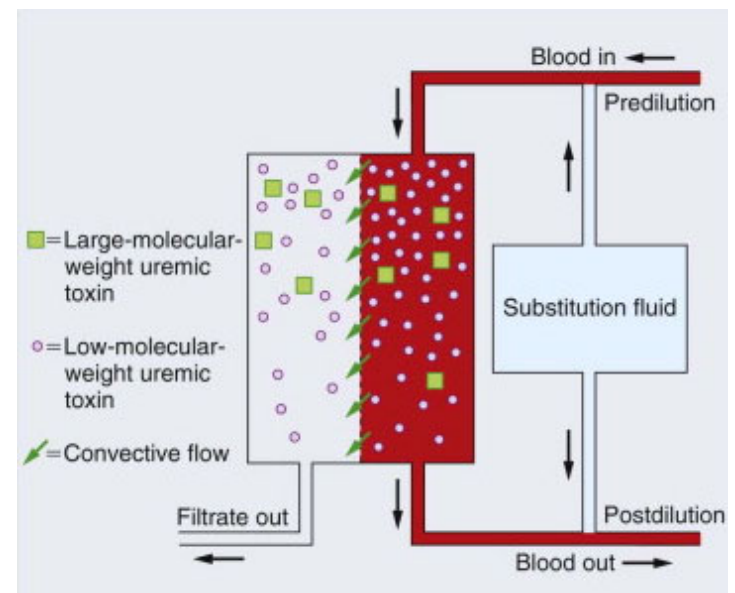
# Partie 1 : le circuit en EER

# Partie 1 : le circuit en EER

## Hémodialyse



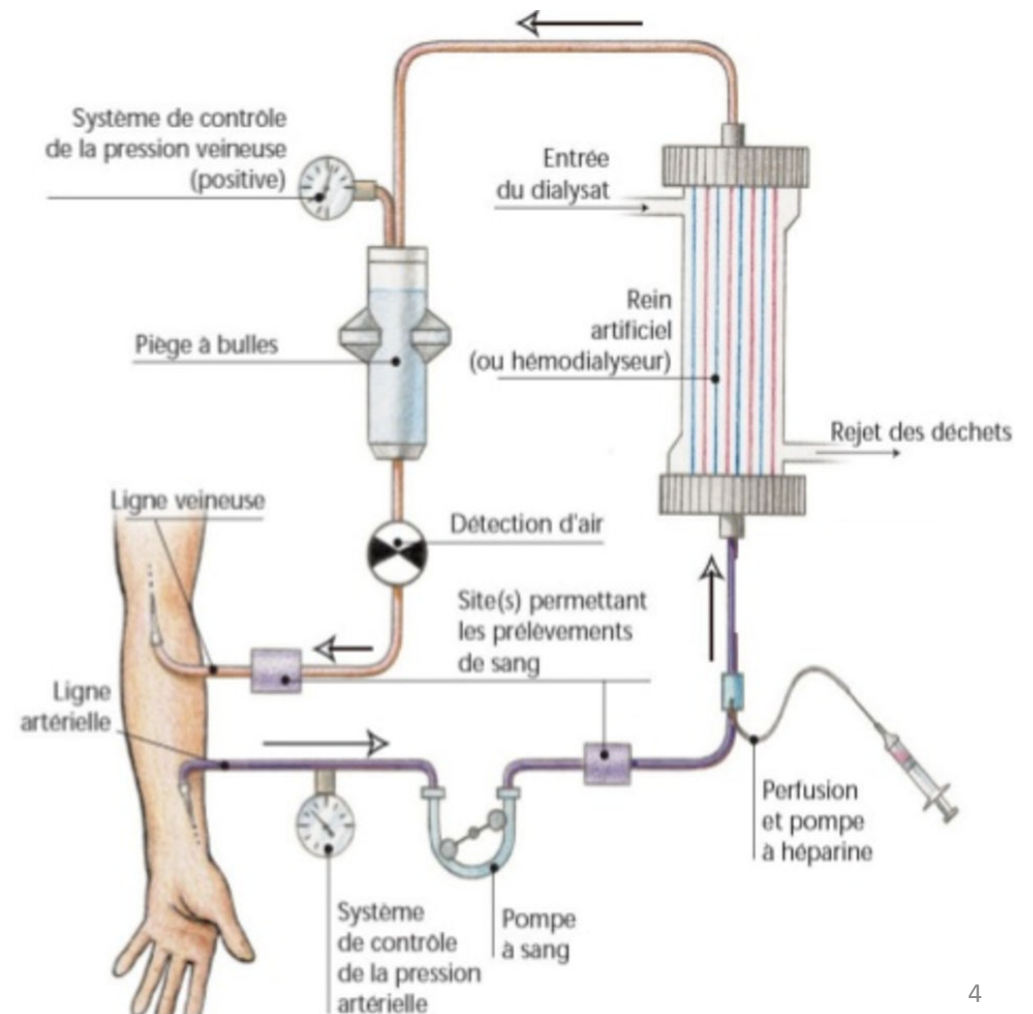
## Hémofiltration



# Le circuit sanguin en hémodialyse

- Capteurs de pression
  - Artérielle (avant la pompe)
  - Veineuse (après le dialyseur)
- Pompe à sang
- Pompe à héparine
- Détecteur d'air
- Clamps

**CIRCUIT  
D'HEMODIALYSE**



# Générateurs d'hémodialyse



AK 200



Gambro

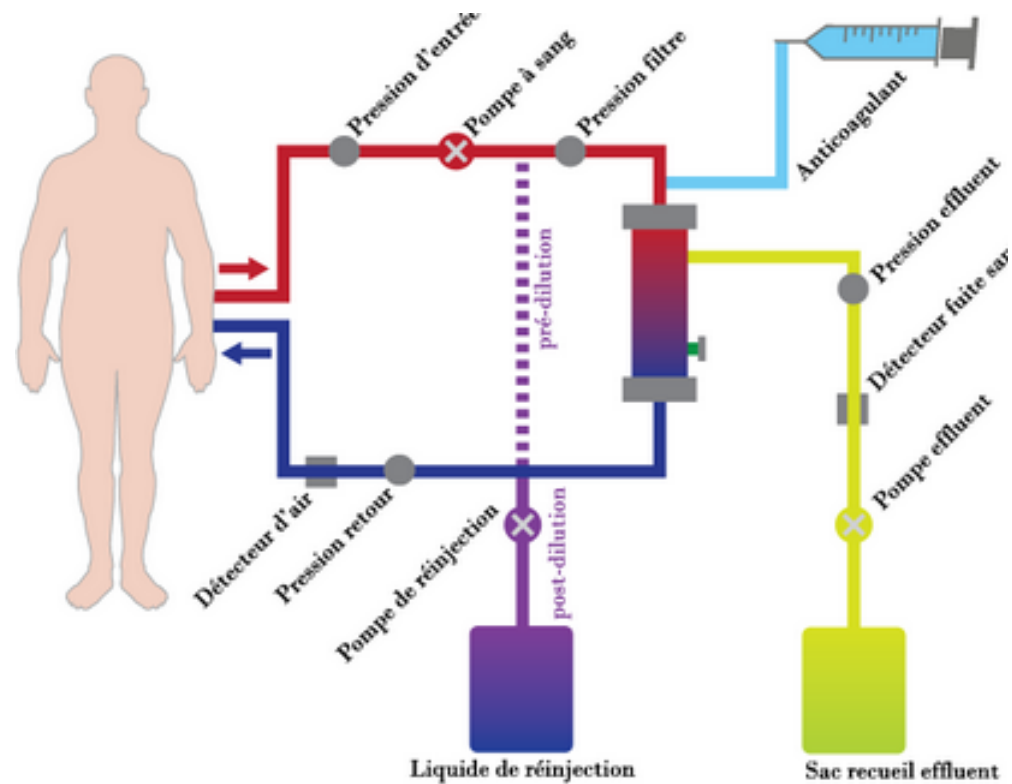


Nikiso

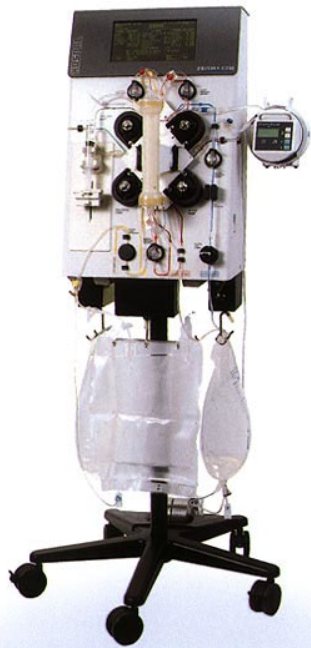


Fresenius

# Le circuit sanguin en hémofiltration



# Moniteurs d'hémofiltration



Hospital



Lifescience



Gambro

# Différents paramètres

- **Débit sang (ml/min)** : est déterminé par le débit cardiaque du patient (cathéter) ou le débit de l'abord (FAV), la résistance interne du circuit à l'écoulement du sang et la différence de pression entre l'artère et la veine.
- **Débit dialysat (ml/min)** : dépend de la technique
- **Pression entrée = Pression artérielle (mmHg)** :
  - limites usuelles : - 50 / -150 mmHg :
  - doit être négative (aspiration).
  - max - 250 mmHg.

# Alarme : pression artérielle basse

| SITE     | PROBLEME                                 | CAUSE (S)                                                                                                                          | C.A.T                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VAISSEAU | Quantité de sang disponible insuffisante | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible débit sanguin intravasculaire</li> <li>- Hypovolémie</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Changer le site, vérifier la position du patient</li> <li>- Expansion volémique (<i>sur prescription médicale</i>)</li> </ul>                                                                          |
| CATHETER | Résistance à l'écoulement accrue         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- KT coudé, clampé</li> <li>- KT contre la paroi vasculaire</li> <li>- Thrombose</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier l'absence de clamp</li> <li>- Vérifier position KT (radio) mobiliser l'extrémité, tourner le KT sur son axe</li> <li>- Rincer la voie artérielle</li> <li>- Changement KT si échec</li> </ul> |
| LIGNE    | Résistance à l'écoulement accrue         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clamp oublié, ligne coudée</li> <li>- Thrombose circuit</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déclamper, lever obstacle</li> <li>- Rinçage du circuit ± changement circuit</li> </ul>                                                                                                                |

# Différents paramètres

**Pression trans-membranaire (PTM) :** filtre (mmHg) : représente la différence de pression entre le compartiment sanguin (pression artérielle, pression veineuse) et le compartiment ultrafiltrat.

- limites usuelles : +100 / +250 mmHg (hémofiltration).

# Alarme : PTM élevée

| Problèmes                               | Causes                            | CAT                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PTM augmente dès le début du traitement | Lignes d'UF clampée ou coudée     | Vérifier les clamps et lignes                                                                                                                                                                                                                   |
| PTM augmente rapidement                 | Ratio débit sang et UF inadéquat  | Augmenter débit sang et/ou diminuer UF (FF à 20%)                                                                                                                                                                                               |
| PTM augmente lentement                  | Coagulation des fibres du filtres | Rinçage prédilution de 100 ml pour vérifier l'état de coagulation des fibres<br>- Si fibres coagulés: restituer<br>- Si fibres correctes:<br>*Réduire post-dilution/<br>augmenter la prédilution/<br>passer en dialyse seule<br>*Ratio FF à 20% |

# Différents paramètres

**Pression retour = Pression veineuse (mmHg) :**

- limites usuelles : +50 / +150 mmHg :
- doit être positive (restitution).
- max +300 mmHg.

# Alarme : PV élevée

| SITE          | PROBLEME                         | CAUSE (S)                                                                                                                                   | C.A.T                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cathéter      | Résistance à l'écoulement accrue | <ul style="list-style-type: none"> <li>- KT coudé, clampé</li> <li>- KT contre la paroi vasculaire</li> <li>- Thrombose</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier l'absence de clamp</li> <li>- Vérifier position KT (radio) mobiliser l'extrémité, tourner le KT sur son axe</li> <li>- Rincer la ligne veineuse</li> <li>- Vérifier l'anticoagulation</li> <li>- Inversion des voies en dernier recours</li> <li>- Changement KT si échec</li> </ul> |
| Ligne/circuit | Résistance à l'écoulement accrue | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clamp oublié, ligne coudée</li> <li>- Thrombose circuit</li> <li>- Capteurs de pression</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déclamper, lever obstacle</li> <li>- Rinçage du circuit . <b>Vérifier anticoagulation</b> +/- changer le kit</li> <li>- Pousser le fluide avec une seringue, changer le capteur</li> </ul>                                                                                                    |

# Systèmes de contrôle

## **Surveillance volume plasmatique**

- Surveillance continue de l'hématocrite par un capteur optique non invasif

## **Surveillance dialysance et dose de dialyse**

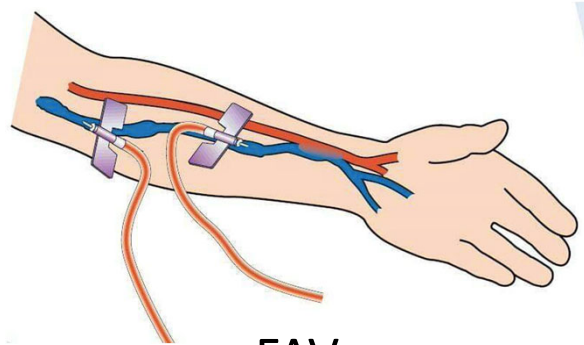
- $Kt/V$ , Clairance, volume de substitution en HDF

## **Rétrocontrôles :**

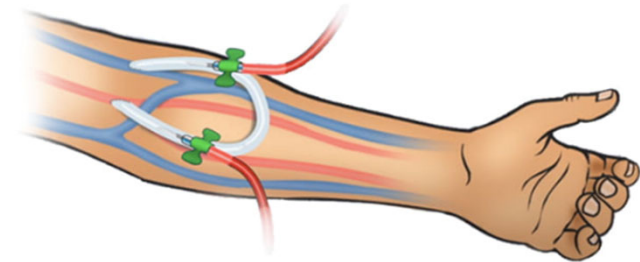
- Modulation débit UF et Na du dialysat
- Améliorer le refilling et la tolérance tensionnelle

## Partie 2 : les abords en EER

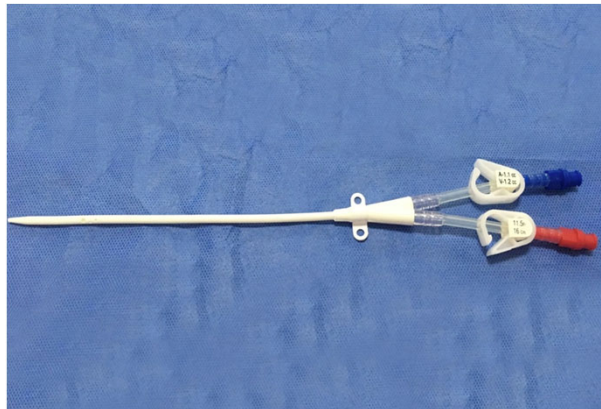
## Partie 2 : les abords en EER



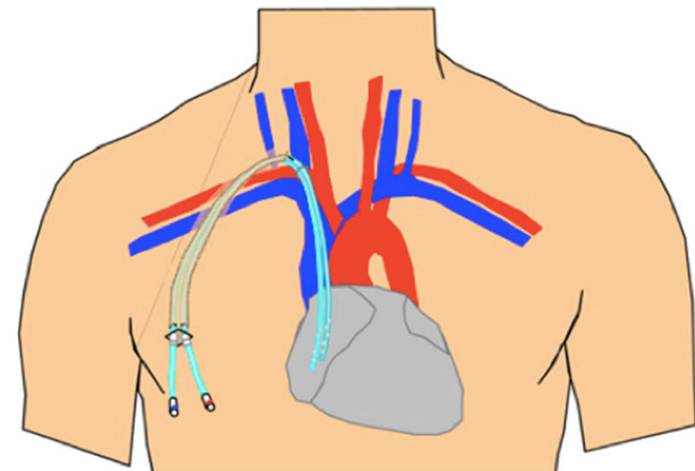
FAV



Anse prothétique



Cathéter temporaire



Cathéter tunnélisé

# Accès vasculaire idéal

- Facilité, sécurité et rapidité d'installation
- Hémocompatibilité du matériel
- Obtention d'un haut débit sanguin avec une faible recirculation
- Risque de complications mécaniques, infectieuses et thrombotiques faible
- Préservation du capital vasculaire

# Accès vasculaire idéal

## Efficacité :

- Débit sang élevé
- Recirculation faible



## Risques de complications :

Lors de la pose : échec, hémorragie, traumatisme

Précoces : dysfonction

Tardives : infections, thromboses, sténoses

# Le débit sang

## Rôle du diamètre de l'abord :

Passer de 12 à 14 Fr double le débit du KT

A adapter à la technique :

- Q sanguins en EER intermittente = 250-450 mL/min (13,5-14 Fr)
- Q sanguins en EER continue = 150-200mL/min (11-12 Fr)

$$\text{Débit sang} = K \frac{P * D^4}{L * V}$$

## Rôle de la longueur de l'abord :

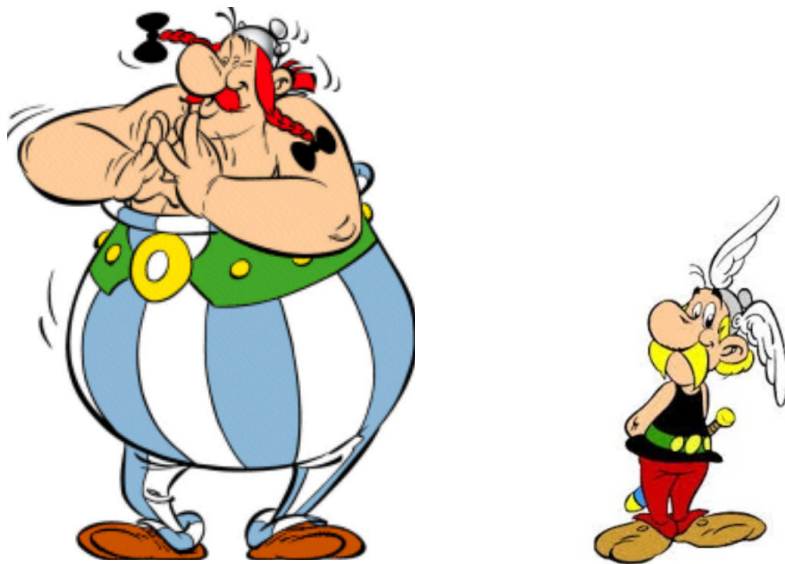
- Moins importante
- Une augmentation du diamètre compense un doublement de la longueur
- A adapter au site de ponction et au patient

Le diamètre interne doit augmenter avec la longueur du cathéter pour obtenir les mêmes débits

Monchi et al. Réanimation. 2003

Pitel et al. Réanimation. 2011

# Importance du morphotype



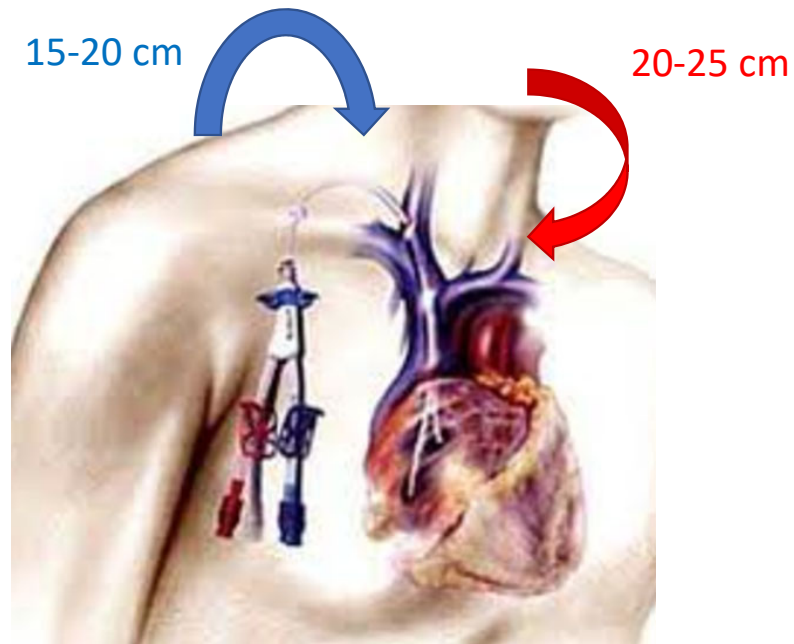
Twardowski Z, Seger R : Measuring central venous structures in humans : implications for central-vein catheter dimensions ; The Journal of Vascular Access, 2002, 3:21-37

TABLE VI - AVERAGE DISTANCE FROM THE ENTRY POINT TO URA IN RELATION TO BSA. THIS DISTANCE IS EQUIVALENT TO IN-TRA-VEIN CATHETER SEGMENT

| BSA (m <sup>2</sup> ) | RIJV to URA (cm) | RSCV to URA (cm) | LIJV to URA (cm) | LSCV to URA (cm) |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1.20                  | 11.1             | 13.4             | 13.9             | 16.5             |
| 1.25                  | 11.2             | 13.5             | 14.1             | 16.7             |
| 1.30                  | 11.4             | 13.7             | 14.2             | 16.9             |
| 1.35                  | 11.5             | 13.8             | 14.4             | 17.1             |
| 1.40                  | 11.7             | 13.9             | 14.6             | 17.3             |
| 1.45                  | 11.9             | 14.1             | 14.8             | 17.5             |
| 1.50                  | 12.0             | 14.2             | 15.0             | 17.7             |
| 1.55                  | 12.2             | 14.4             | 15.1             | 17.9             |
| 1.60                  | 12.3             | 14.5             | 15.3             | 18.1             |
| 1.65                  | 12.5             | 14.6             | 15.5             | 18.3             |
| 1.70                  | 12.6             | 14.8             | 15.7             | 18.5             |
| 1.75                  | 12.8             | 14.9             | 15.9             | 18.7             |
| 1.80                  | 12.9             | 15.1             | 16.1             | 18.9             |
| 1.85                  | 13.1             | 15.2             | 16.2             | 19.1             |
| 1.90                  | 13.2             | 15.3             | 16.4             | 19.3             |
| 1.95                  | 13.4             | 15.5             | 16.6             | 19.5             |
| 2.00                  | 13.5             | 15.6             | 16.8             | 19.7             |
| 2.10                  | 13.8             | 15.9             | 17.1             | 20.1             |
| 2.20                  | 14.2             | 16.2             | 17.5             | 20.5             |
| 2.30                  | 14.5             | 16.5             | 17.9             | 20.9             |
| 2.45                  | 14.9             | 16.9             | 18.4             | 21.5             |
| 2.60                  | 15.4             | 17.3             | 19.0             | 22.1             |
| 2.75                  | 15.8             | 17.7             | 19.5             | 22.7             |

BSA = body surface area, RIJV = right internal jugular vein, URA = upper right atrium, RSCV = right subclavian vein, LIJV = left internal jugular vein, LSCV = left subclavian vein  
Calculations based on linear regressions for BSA shown in Table IV.

# Longueur de l'abord en pratique



1 cm au-dessus de jonction VCS-OD si KT transitoire  
Dans OD si KT tunnéisé

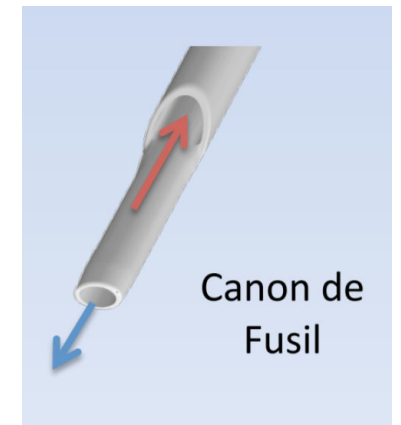
# Recirculation

Recirculation = aspiration par la lumière artérielle du cathéter, du sang épuré restitué par la lumière veineuse du cathéter.

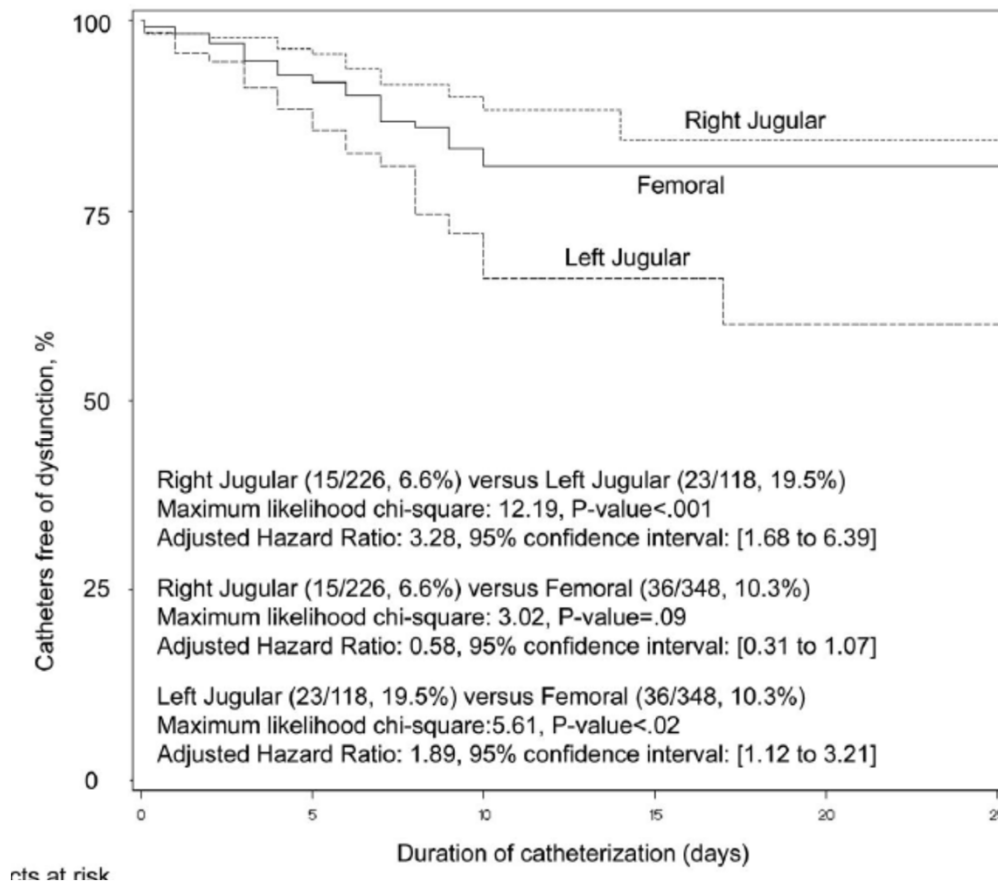
Dépend:

- de la distance entre les orifices des 2 lumières
- d'une éventuelle inversion des lignes du cathéter  
(+20% pour un KT JID)

Atherikul K et al. Nephrol Dial Transplant; 1998



# Dysfonction de cathéter



## Dysfonction précoce :

- Coudure
- Malposition
- Hypovolémie

## Dysfonction tardive :

- Thromboses (verrou anticoagulant)
- Infections

# Quelle voie utiliser ?

## Jugulaire interne droite

- Meilleur débit sang
- Moins d'infections (à part pour IMC faible)
- Moins de thromboses
- Plus de complications à la pose
  - Écho guidée
  - RP systématique : bon positionnement

## Fémorale

- Risque de débit sang limité :
  - Plus de recirculation
  - Aspiration parois vasculaires
- 5 fois plus de risques infectieux chez BMI > 28 (accord fort)
- Plus de thromboses
- Mais plus simple à poser : voie d'urgence ++

KDIGO 2012



# Quelle voie utiliser ?

## Eviter :

### Jugulaire interne gauche

- Tendance à un plus mauvais débit que JID et Fémoral
- Plus d'infections
- Risque de sténose

### Sous-clavière

- 50% de sténose vs 10% en JID
- Risque de thrombose
- Compromet réalisation de FAV
- Difficulté de pose

5.4.2: When choosing a vein for insertion of a dialysis catheter in patients with AKI, consider these preferences (*Not Graded*):

- First choice: right jugular vein;
- Second choice: femoral vein;
- Third choice: left jugular vein;
- Last choice: subclavian vein with preference for the dominant side.

# Quel type de cathéter ?

## Cathéters non tunnésés (< 2 semaines)

Monolumière : incompatible avec EER continue, NE PLUS UTILISER

**Doubles lumières** (parallèles ou coaxiales) : ++ en réanimation

- Matériau: polymère semi-rigide : attention plicature !!! → dysfonction abord/thrombose
- Diamètre variable selon le débit sanguin souhaité
- Longueur variable selon site

# Cathéters non tunnélisés



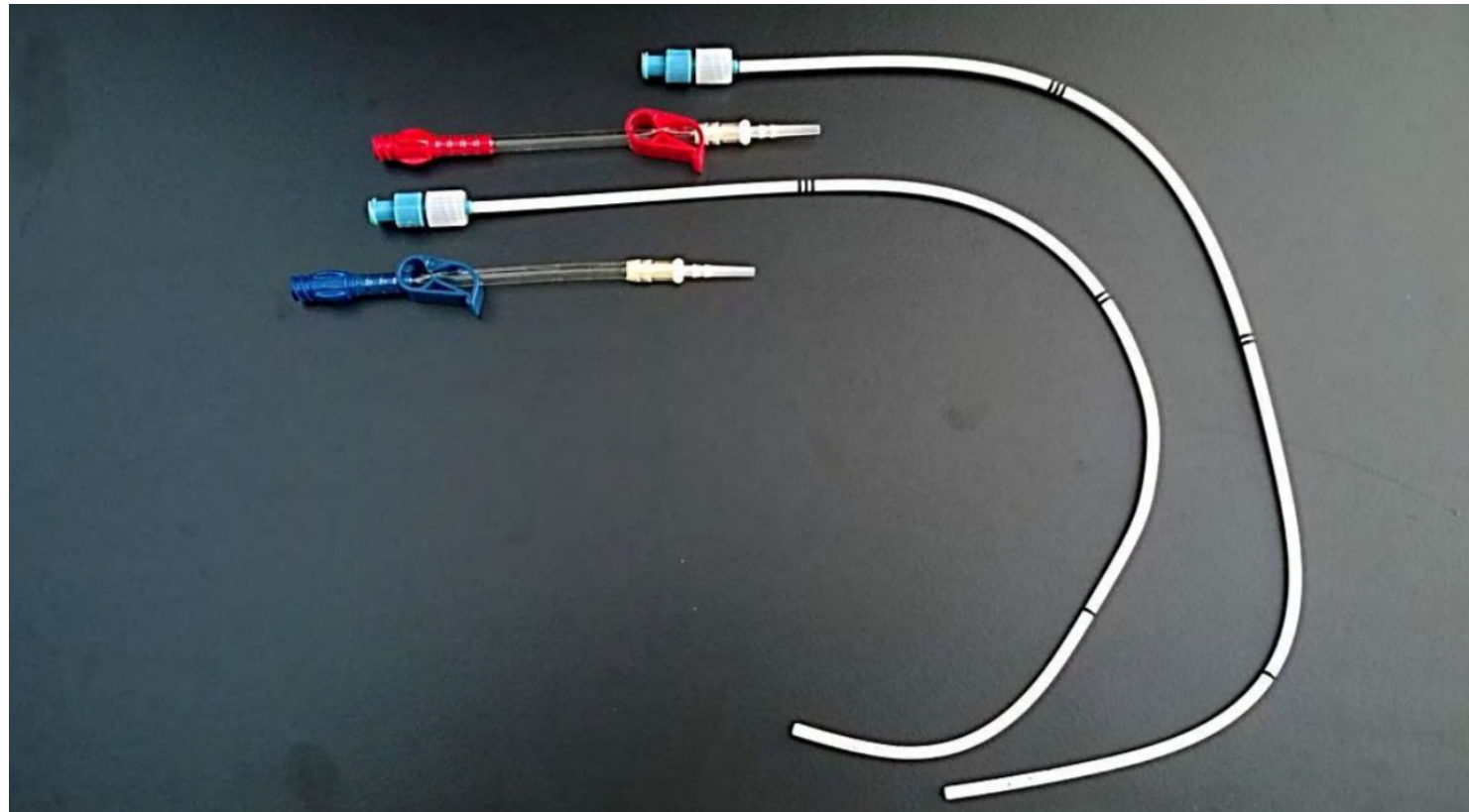
# Quel type de cathéter ?

## Cathéters tunnésés (> 2 semaines)

- Pose par personnel entraîné, pose longue, plus d'hématome **rarement en 1<sup>ère</sup> intention**
  - (Klouche K and al. AJKD. 2004)
- Moins de complications infectieuses au-delà de 14 jours
  - (Marcel C. and al. Nephrol Dial Transplant. 2004)
- Moins de dysfonction, moins de thrombose
  - (Klouche K and al. AJKD. 2004)
- **Matériau souple** permettant une meilleure **tolérance veineuse** et une utilisation prolongée: polymère souple (Silicone), polyuréthane (plus rigide que silicone et donc plus thrombogène), carbothane

# Cathéters tunnélisés

Double cathéter

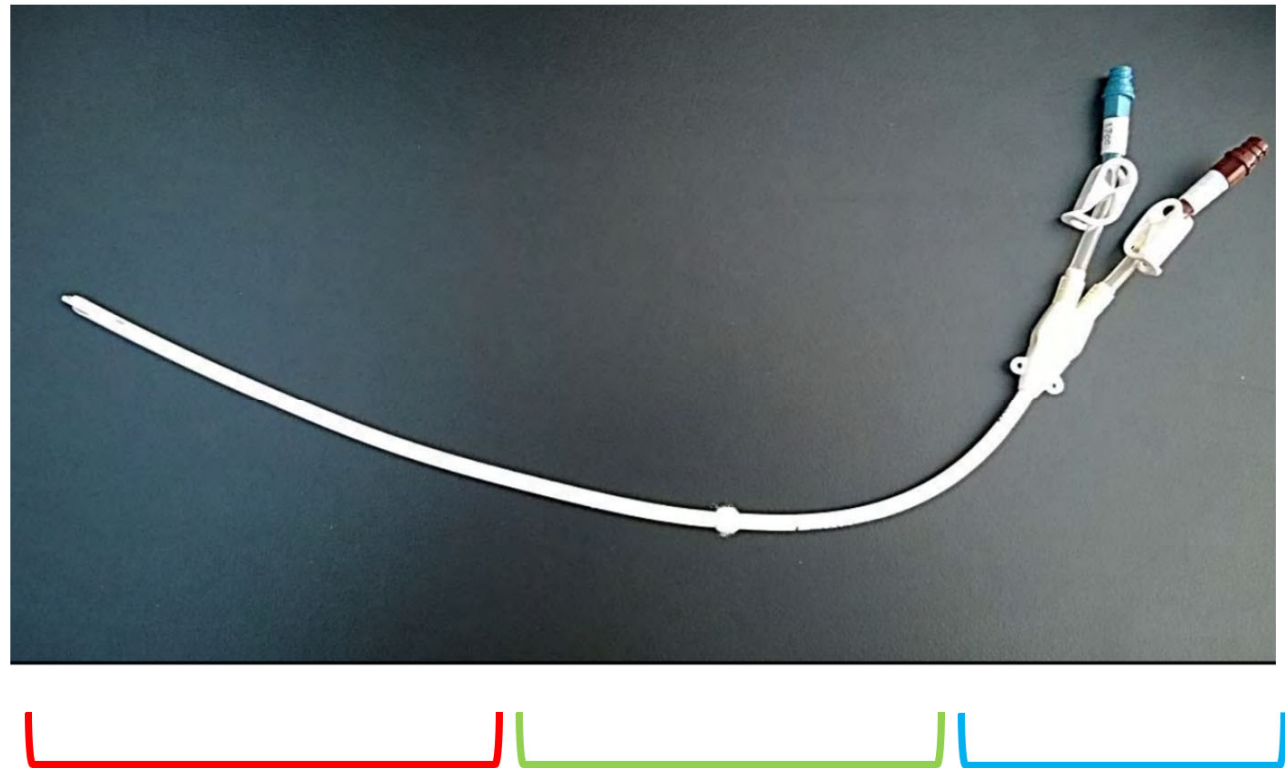


# Cathéters tunnélisés

## Double Lumière

### 3 portions :

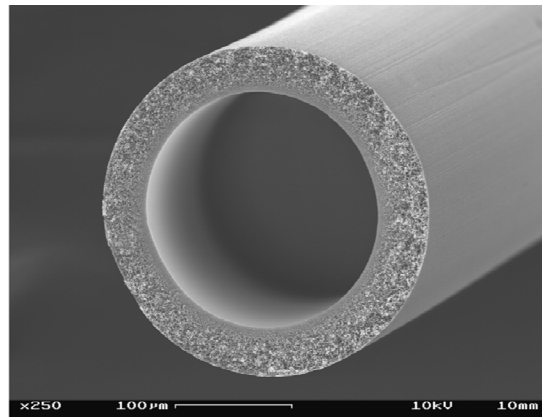
- une portion **intraveineuse**,
- une portion **sous-cutanée**, qui constitue le tunnel et réalise une barrière anti-infectieuse,
- une portion **externe**, permettant les branchements au cours de la séance d'hémodialyse



# Partie 3 : les membranes en EER

## Partie 3 : les membranes en EER

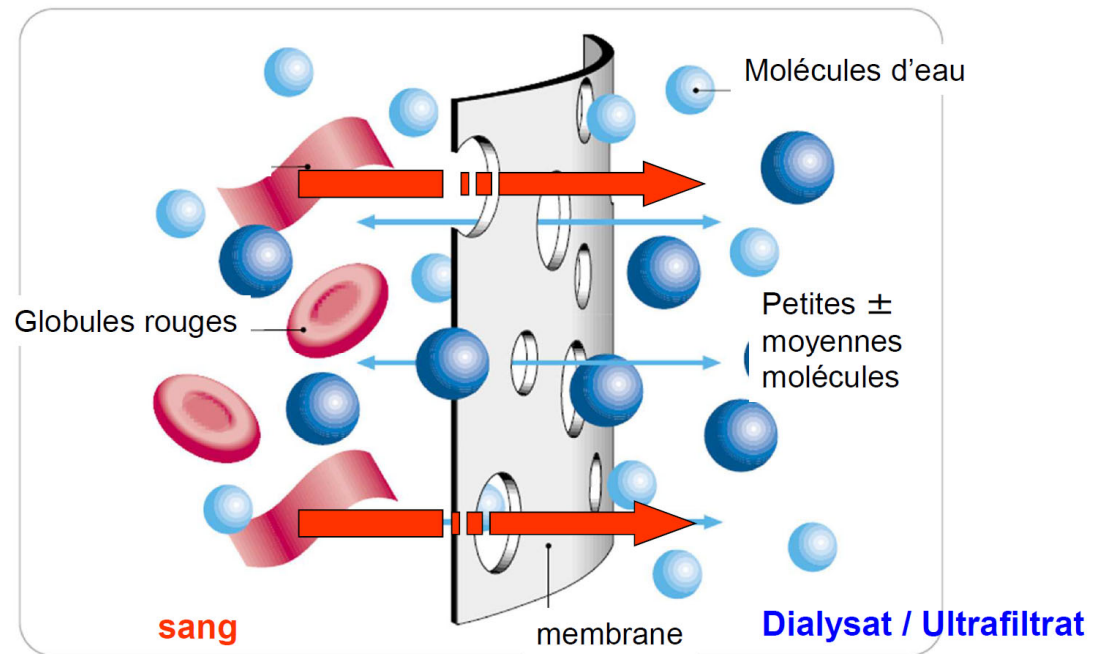
- Définition
- Biocompatibilité
- Caractéristiques



# Définition

## Composant poreux semi-perméable

- Laisse passer eau + certains composants
- En retient d'autres



# Biocompatibilité

**Biocompatibilité** = toute réaction biologique induite par le contact du sang avec une membrane de dialyse

## Contact sang / membrane

- Phase contact de la coagulation ++ si mb électronégative
- Cascade de la coagulation : fibrinogène et fibrine insoluble
- Agrégation plaquettaire, protein cake

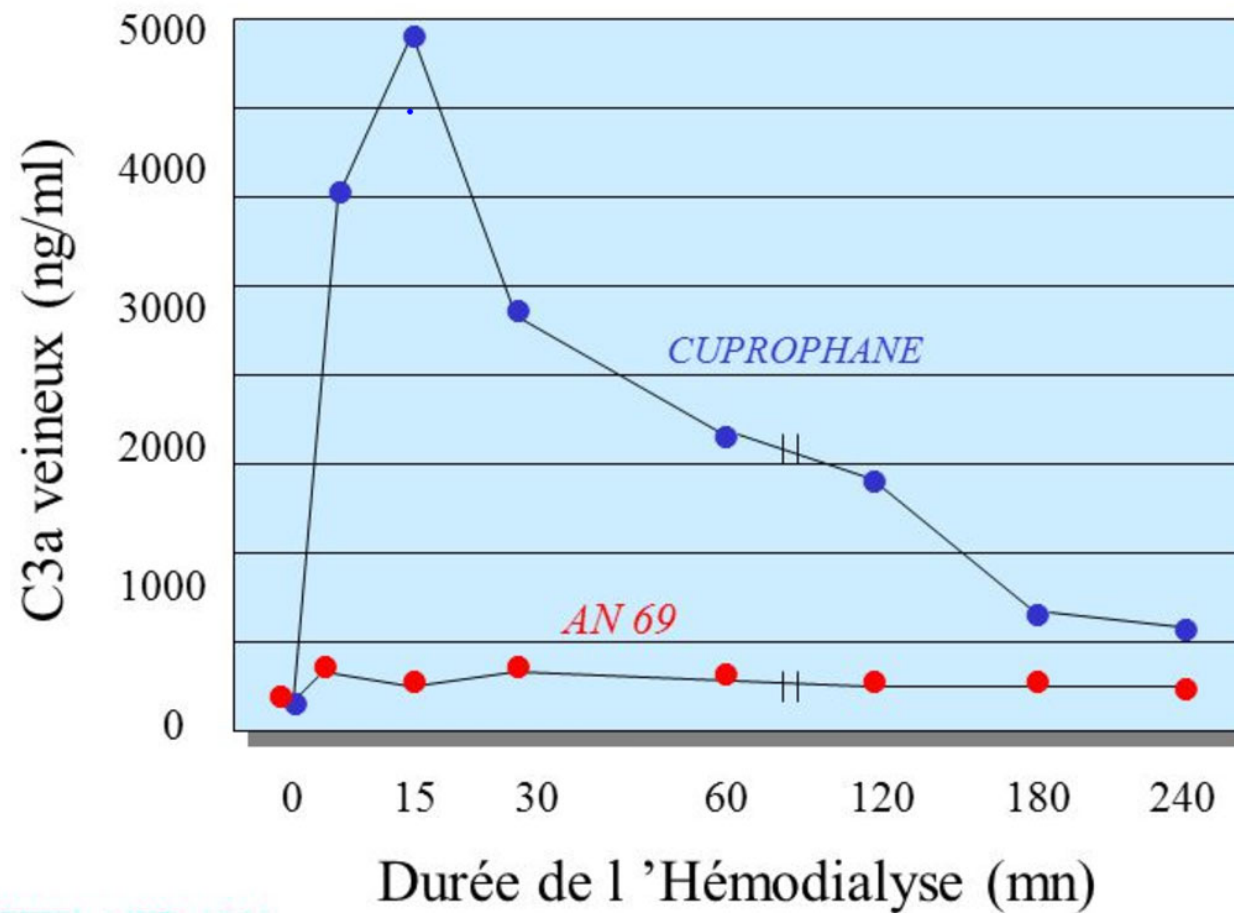


Anticoag du circuit ++

## Réactions médiées par l'activation du complément

- En nette diminution depuis l'utilisation de membranes synthétiques

# Activation du complément



# Biocompatibilité

## Mb cellulosiques : faible épaisseur

- Cellulose non modifiée
  - Cuprophane
- Cellulose modifiée :
  - Acétate de cellulose
  - Diacétate de cellulose
  - Triacétate de cellulose

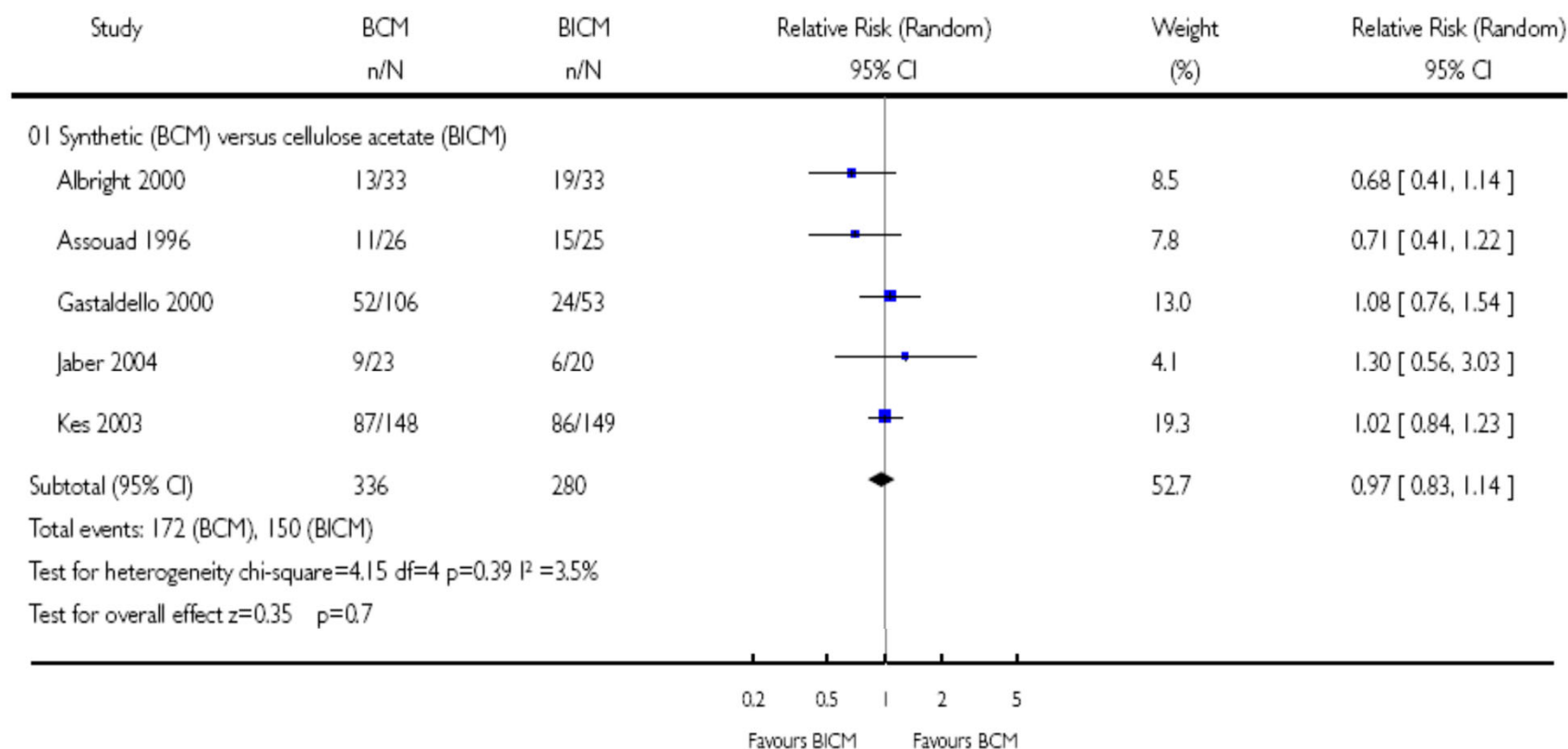
## Mb synthétiques épaisseur 50 $\mu\text{m}$

- Biocompatible ++
  - PMMA (polyméthylméthacrylate)
  - AN69ST (acrylonitrile + méthallylsulfonate)
  - Polysulfone
  - PEPA
  - Polyamide

# Type de membrane et récupération rénale



Alonso A, Lau J, Jaber BL. Biocompatible hemodialysis membranes for acute renal failure  
Cochrane Database of Systematic Reviews 2008, Issue 1.



# Recommandations

5.5.1: We suggest to use dialyzers with a biocompatible membrane for IHD and CRRT in patients with AKI. (2C)

- Membranes cellulosiques modifiés
- Membranes synthétiques



# Caractéristiques d'une membrane

- Ses capacités de clairance
- Le  $K_oA$  = coefficient de transfert de masse du dialyseur pour un soluté donné (par unité de surface)
- Le coefficient de tamisage = Sieving Coefficient (SC)
- Le  $K_{uf}$  = coefficient d'ultrafiltration
- La surface

# Clairance = performance diffusive

- **Définition : quantité de sang épurée d'une substance par unité de temps**
- $K = Q_B \times (C_a - C_v) / C_a$ 
  - K = clairance
  - $Q_B$  = débit sanguin
  - $C_a$  : concentration à l'entrée du dialyseur (artère)
  - $C_v$  : concentration à la sortie du dialyseur
- La clairance est idéalement mesurée avec une  $UF = 0$  pour seulement apprécier l'épuration par diffusion.

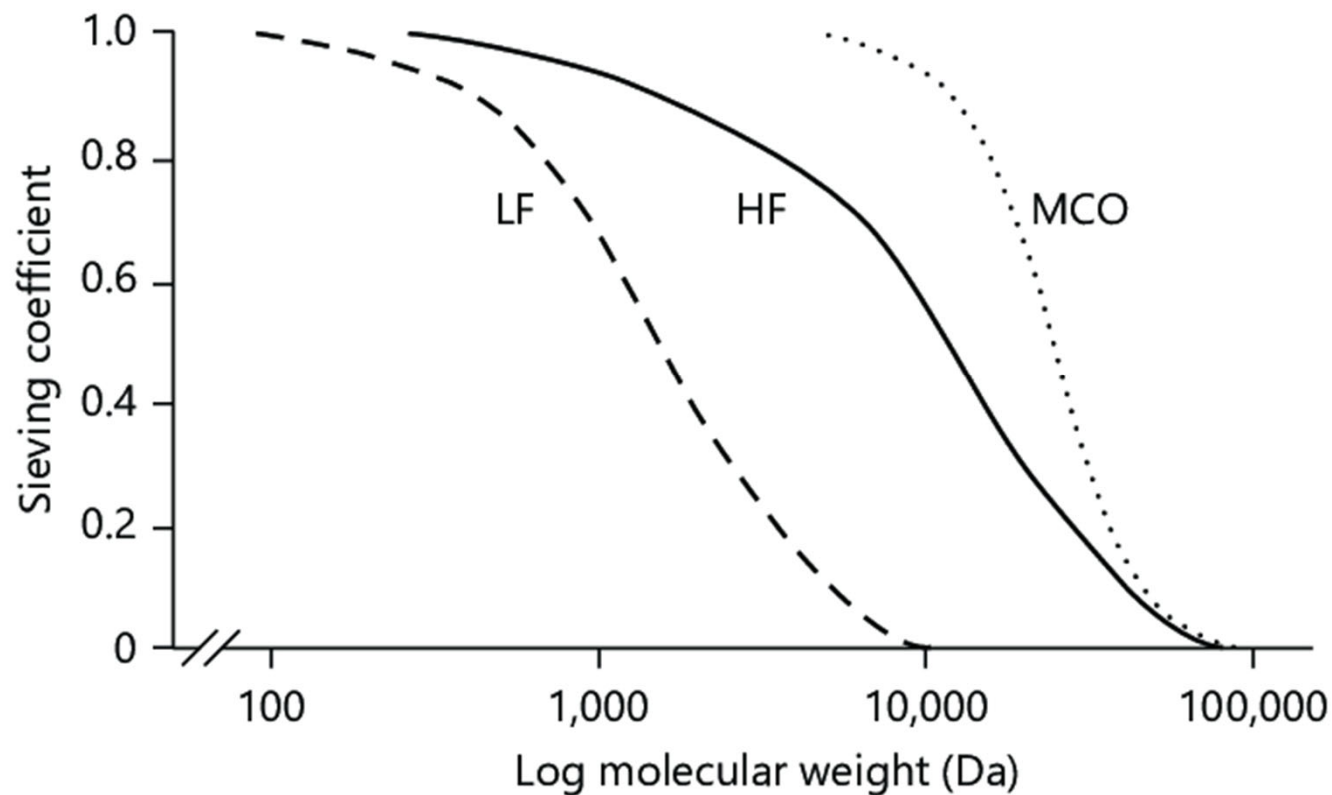
# KoA = coefficient de transfert de masse

- **Définition : clairance maximale théorique d'un soluté, obtenue pour des débits dialysat et sanguins infinis**
- Propre à chaque membrane : dépend de surface, épaisseur, géométrie
- Permet de comparer chaque dialyseur entre eux
- KoA urée donné par les fabricants
- Membranes à faible KoA urée (<500 ml/mn) = low efficiency
- Membranes à haut KoA urée (>600 ml/mn) = high efficiency

# Sieving coefficient (SC) ou coefficient de tamisage

- **Définition : rapport de la concentration d'une molécule dans l'ultrafiltrat et le plasma à un moment donné**
- Ce coefficient définit la perméabilité d'une membrane aux solutés
- $SC = C_{uf} / [(C_a + C_v)/2]$
- Membrane haute perméabilité = SC B2micro glob (11.8 kDa) > 0,6
- Membrane basse perméabilité = SC B2micro glob = 0

# Sieving coefficient (SC) ou coefficient de tamisage



# Sieving coefficient (SC) ou coefficient de tamisage

| Solutés      | PM    | Mb à basse perm | Mb à moyenne perm | Mb à hte perm |
|--------------|-------|-----------------|-------------------|---------------|
| urée         | 60    | 1               | 1                 | 1             |
| Créatinine   | 113   | 0,89            | 0,98              | 1             |
| Vitamine B12 | 1355  | 0,63            | 0,94              | 1             |
| Inuline      | 5200  | 0,31            | 0,77              | 1             |
| Béta-2 micro | 11800 | 0               | 0,42              | 0,65          |
| Myoglobine   | 17000 | 0               | -                 | 0,25          |
| Ch Kappa     | 24000 | 0               | -                 | 0,02          |
| IL-6         | 26000 | 0               | -                 | 0,01          |
| Albumine     | 68000 | 0               | -                 | 0             |

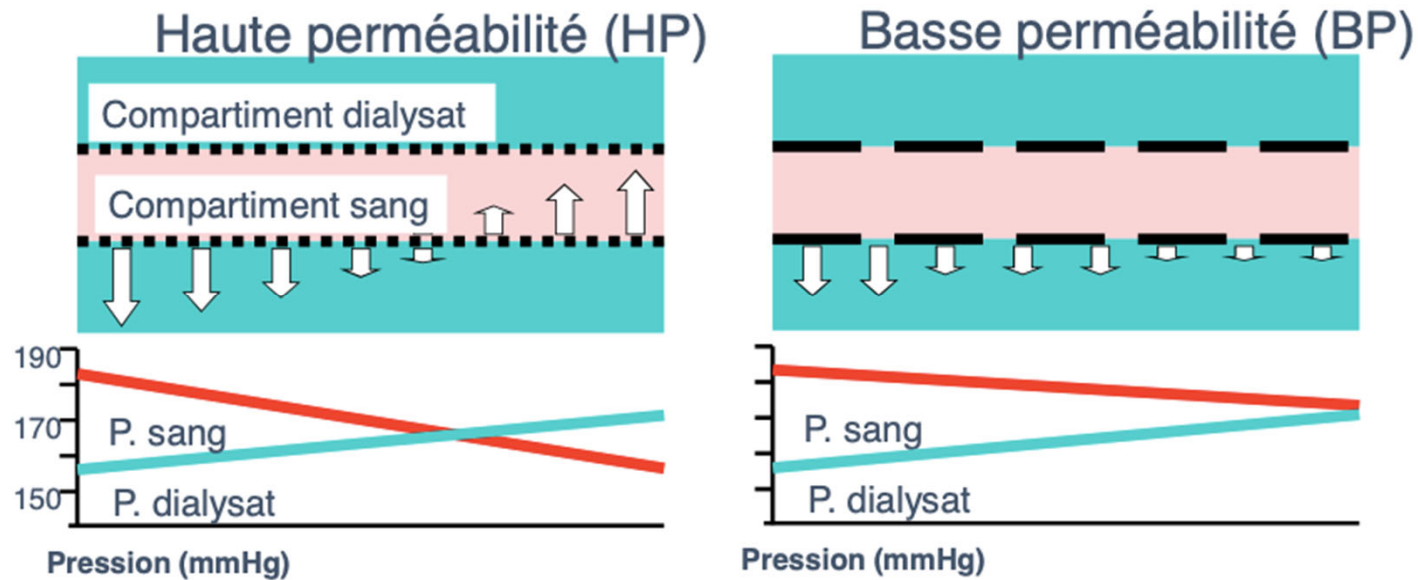
# Kuf = coefficient d'UF = performance convective

- **Définition = coefficient de perméabilité hydraulique de la membrane**
- Perméabilité hydraulique  $\neq$  perméabilité moléculaire
- Haute perméabilité hydraulique ++ si HF ou HDF (mécanisme convectif) ( $KuF > 30 \text{ ml/h/mmHg de PTM}$ )
- Basse perméabilité hydraulique si HD : risque de **rétrofiltration**

# Relation KuF / rétrofiltration

- La diminution de pression coté sang est compensée par une augmentation de pression dans le dialysat
  - Coté artériel **gradient positif -> ultrafiltration**
  - Coté veineux, **gradient négatif -> rétrofiltration**
- Lorsque le Kuf > 10-20 ml/h/mmHg de PTM le risque existe que la pression sortie sang soit inférieure à la pression entrée dialysat : rétrofiltration
- Dialysat ultrapur

# Relation KuF / rétrofiltration



Brunet, CUEN 2019

# La surface

- Variant de :  $< 0,5\text{m}^2 \Rightarrow 2,7\text{m}^2$
- Augmentation des capacités diffusives avec l'augmentation de la surface, mais de manière non linéaire (géométrie interne complexe)

$$Q_{\text{diffusion } X} = \frac{\Delta[X] \times S}{R_X}$$

$$R_X = R_s + R_m + R_d$$

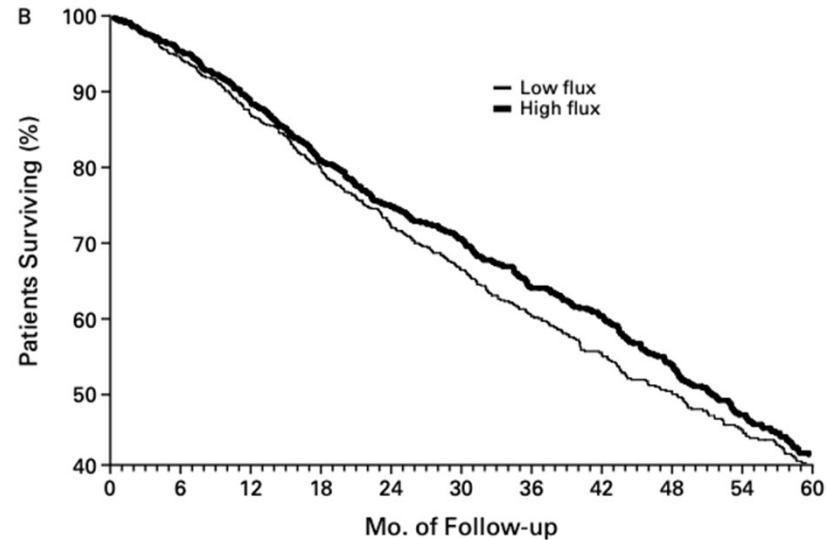
# Particularités : traitement de surface

- **Greffée HNF**
  - Fixe via charges négatives HNF de liquide de rinçage du circuit
  - Epargne héparinique ?
  - AN69-ST : effet finalement non prouvé
  - EVODIAL : moins de coagulation de circuit (*Laville et al., Kidney Int, 2014*)
- **NVU**
  - Polymère hydrophile diminuant l'aggrégation plaquettaire
  - Diminution des besoins en HBPM (*Ronco et al., Int J Artif Organs, 2014*)
- **Oxiris®**
  - Fixe via charges négatives endotoxines
  - Amélioration hémodynamique dans modèle porcin en choc septique

# Particularités : membranes high flux

## HEMO Study : *Eknoyan et al., NEJM 2002*

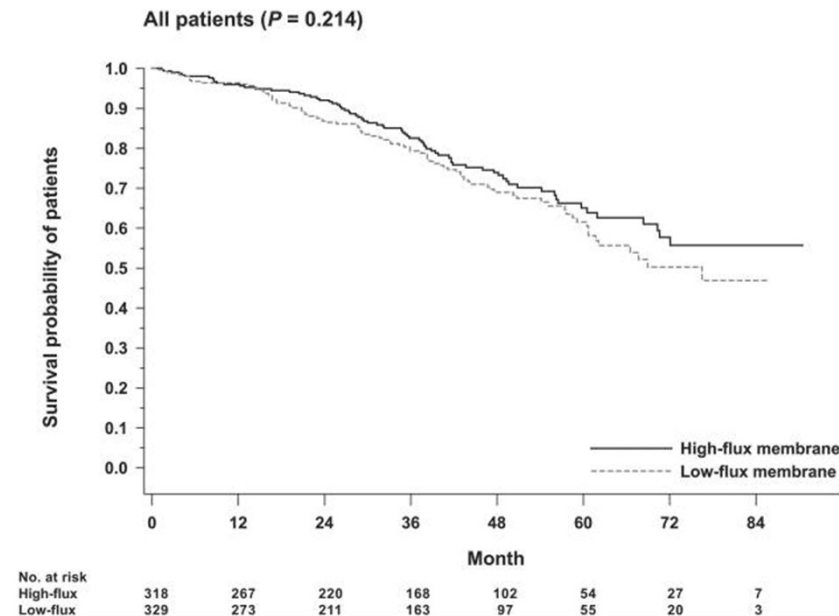
- 1846 patients suivis en HD sur 2,8 ans
- « Faible perméabilité » vs « Haute perméabilité »
- Patients prévalents



# Particularités : membranes high flux

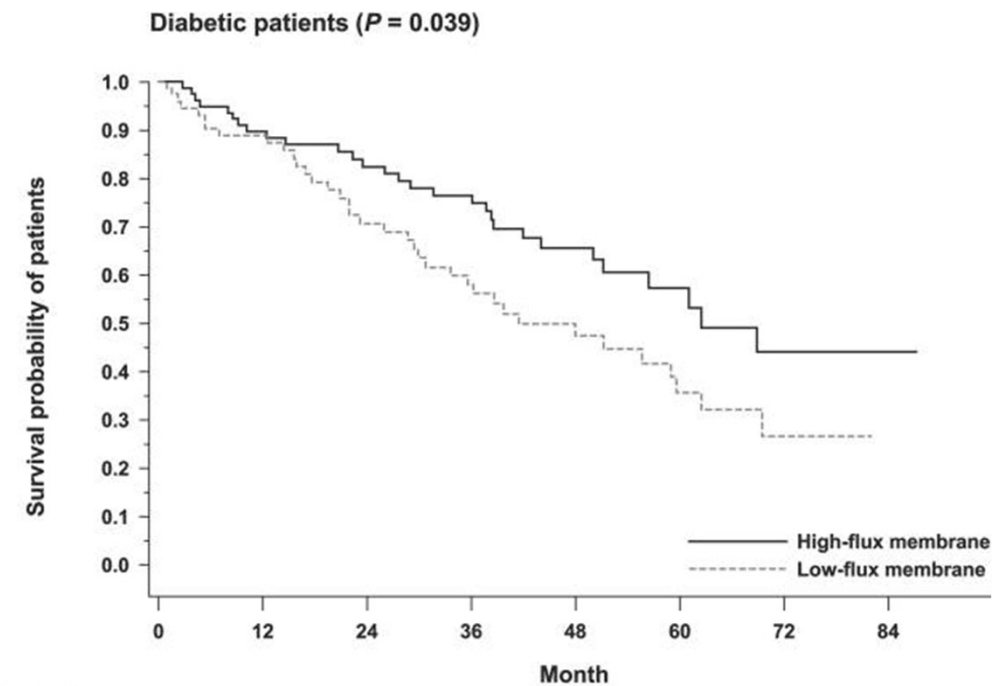
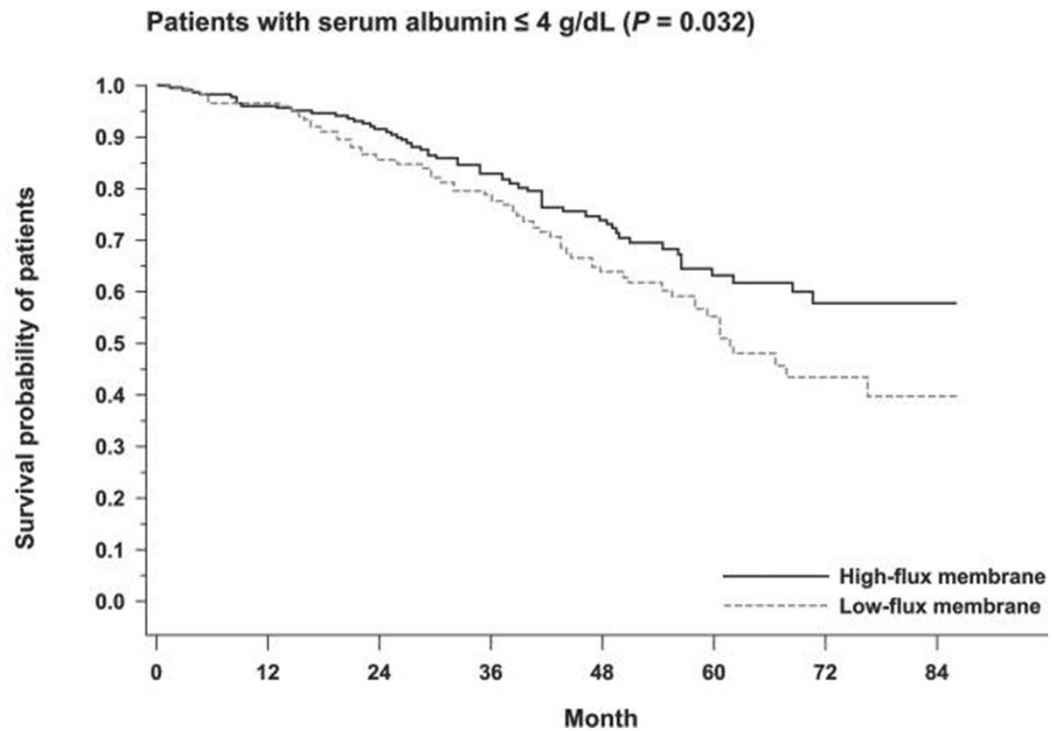
## MPO Study : *Locatelli et al., JASN 2009*

- 738 patients suivis en HD sur 4,5 ans
- « Faible perméabilité » vs « Haute perméabilité »
- Patients incidents

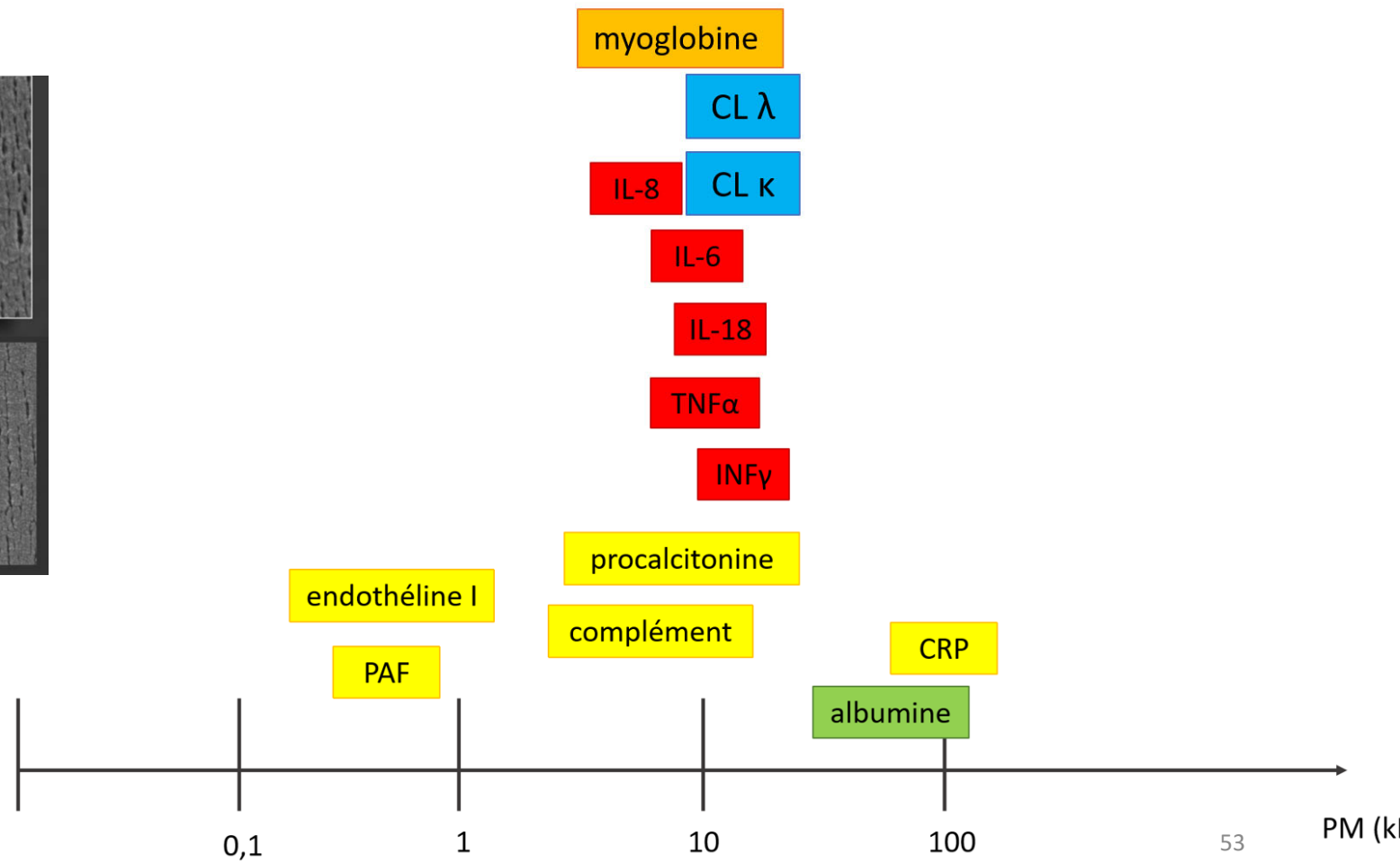
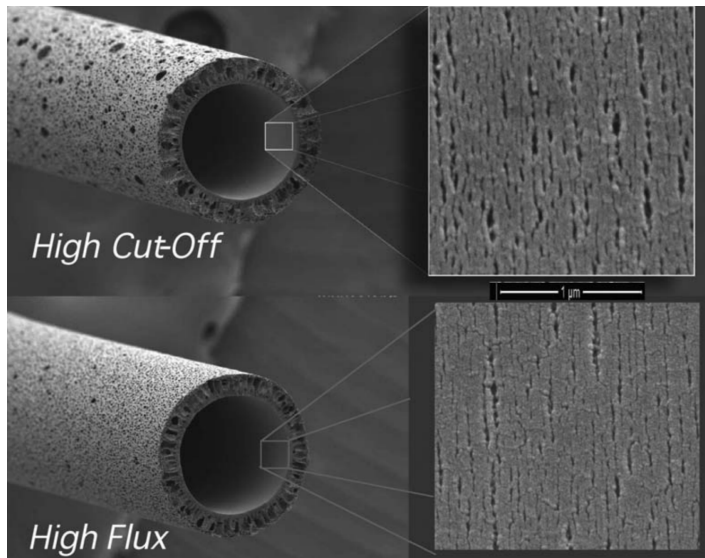


# Particularités : membranes high flux

## MPO Study : *Locatelli et al., JASN 2009*



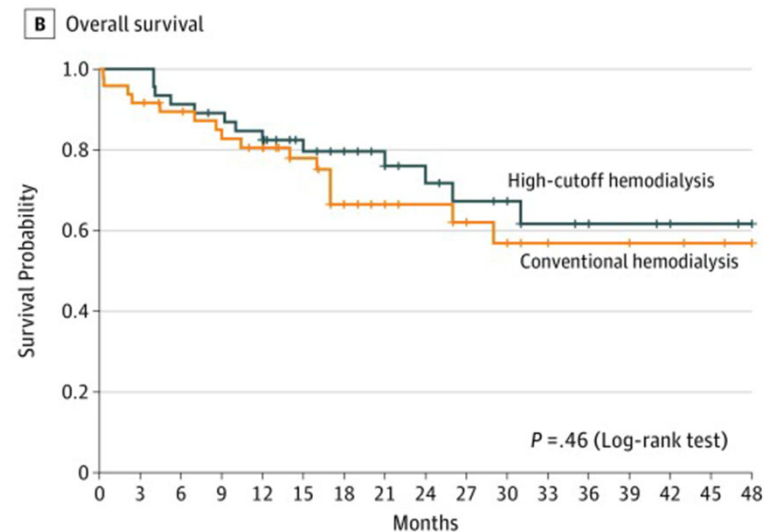
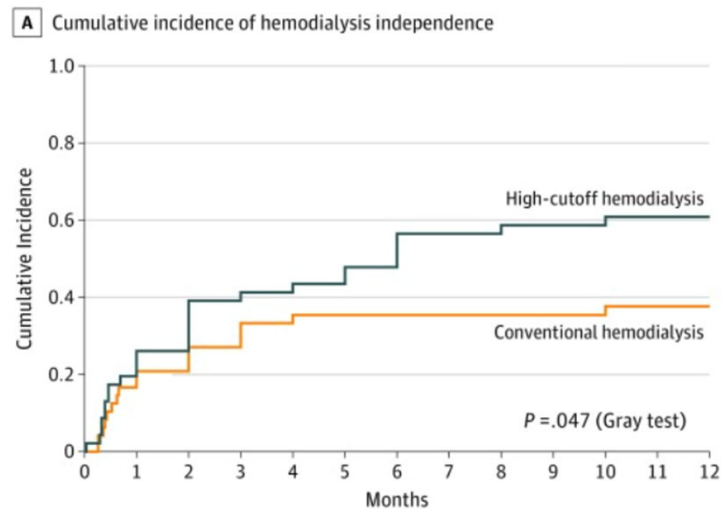
# Particularités : membranes high cut-off



# Particularités : membranes high cut-off

## MYRE Study : *Bridoux et al., JASN 2017*

- 95 patients suivis en HD sur 1 an
- « Haute perméabilité + High cut-off » vs « Haute perméabilité »
- Patients incidents



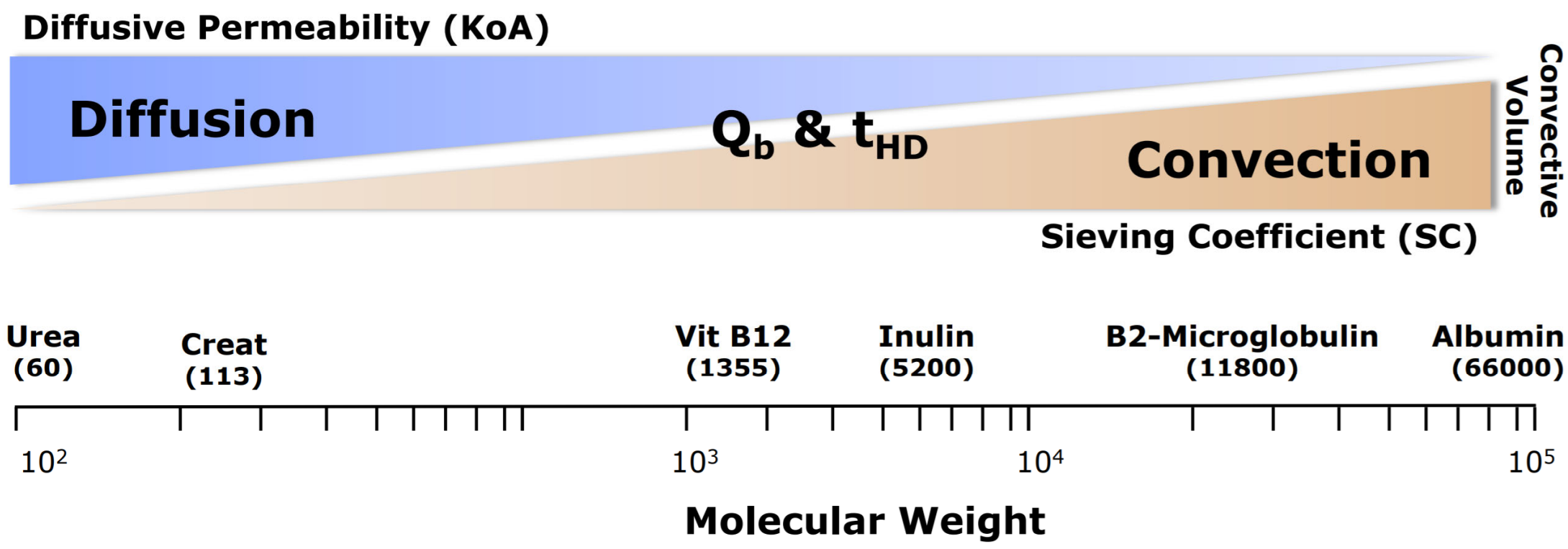
# Quelle membrane choisir ?

## **La situation clinique**

- IRA
- IRC dialysé hospitalisé en réanimation

## **La méthode d'épuration :**

- Hémodiltration : convection +++
- Hémodiafiltration
- Hémodialyse : diffusion +++



# Merci de votre attention

