

Cathéters, membranes et circuits

Dr Frank Bidar

Département d'anesthésie-réanimation

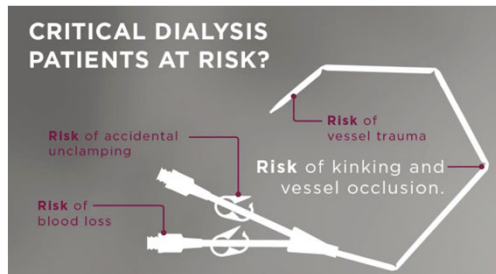
Hôpital Louis Pradel, Lyon, France

I. Cathéters : ce qu'il faut connaître en 10 points

1) Pourquoi le choix du cathéter de dialyse est-il important ?

Dysfonction de cathéter

= une des causes les plus importantes d'alarme d'EER



Cathéter de dialyse fonctionnel



EER continue stable et réellement continue



Dose administrée proche de la dose prescrite

Dose d'EER :

- **5.3. RRT dose-intensity**
- Recommendation 5.3.1: We recommend delivering an effluent volume of **20-25 ml/kg/h** over higher volumes for solute clearance in adults receiving CRRT, or a Kt/V of 3.9 per week over higher urea clearance in adults receiving IRRT or PIRRT for AKI (1B).



Dose administrée / Dose prescrite

Initiation de l'EER	25 ml/kg/h	35 ml/kg/h
Nursing Traitement arrêté 2 à 3 fois par jour (1h)	24 ml/kg/h	33 ml/kg/h
Changement de poches (1h)	23 ml/kg/h	31 ml/kg/h
Arrêts de thérapies (chirurgie – TDM – Nouvelle session) (>1h)	21 ml/kg/h	29 ml/kg/h
Arrêt de thérapies non programmés (thrombose de circuit, dysfonction de cathéter) (>1h)	<< 20 ml/kg/h	25 ml/kg/h

2) Quelle loi détermine le fonctionnement d'un cathéter ?

Loi de Poiseuille

$$Q_B = \pi \Delta P R^4 / 8 \eta L$$

Q_B = Débit sang

ΔP = Différence de pression

η = Viscosité

L = Longueur de cathéter

R = Diamètre interne



Jean Léonard Marie Poiseuille (1797 – 1869)

3) Où poser le cathéter de dialyse ?

Sites des cathéters d'EER



Par ordre de préférence:

- 1- Veine jugulaire interne droite
- 2- Veine fémorale
- 3- Veine jugulaire interne gauche
- 4- Veine sous-clavière (côté dominant)
- 5- Veine sous-clavière (côté non dominant)

Sites des cathéters d'EER



Par ordre de préférence:

- 1- Veine jugulaire interne droite (**15 cm**)
- 2- Veine fémorale (**25 cm**)
- 3- Veine jugulaire interne gauche (**20 cm**)
- 4- Veine sous-clavière (côté dominant)
- 5- Veine sous-clavière (côté non dominant)

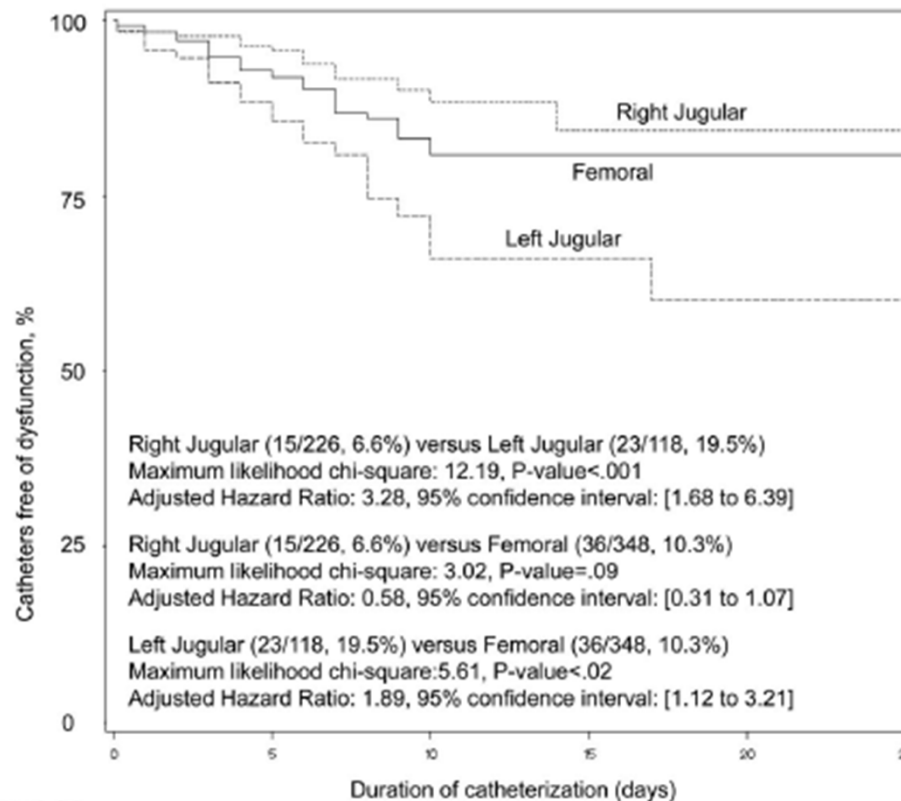
Table 47 | Peres' formulas for determining catheter length in adults^{882, 883}

Site	Formula	Accuracy
Right internal jugular	Height/10 cm	90%
Left internal jugular	Height/10+4 cm	94%
Right subclavian	Height/10-2 cm	96%
Left subclavian	Height/10+2 cm	97%

KDIGO Guidelines 2012 => 2026

Catheter dysfunction and dialysis performance according to vascular access among 736 critically ill adults requiring renal replacement therapy: A randomized controlled study

Jean-Jacques Parienti, MD, PhD; Bruno Mégarbane, MD, PhD; Marc-Olivier Fischer, MD; Alexandre Lautrette, MD, PhD; Nicole Gazui, MD; Nathalie Marin, PharmD; Jean-Luc Hanouz, MD, PhD; Michel Ramakers, MD; Cédric Daubin, MD; Jean-Paul Mira, MD, PhD; Pierre Charbonneau, MD; Damien du Cheyron, MD, PhD; for Members of the Cathedia Study Group



Parienti et al. Crit Care Med 2010

4) Quel diamètre ?

For adults, catheters of at least 12 French (F) in size are recommended to allow sufficient blood flow rates (ideally $\geq 200\text{--}250$ ml/min) and reduce the risk of circuit clotting or inadequate RRT delivery



KDIGO Guidelines 2012 => 2026

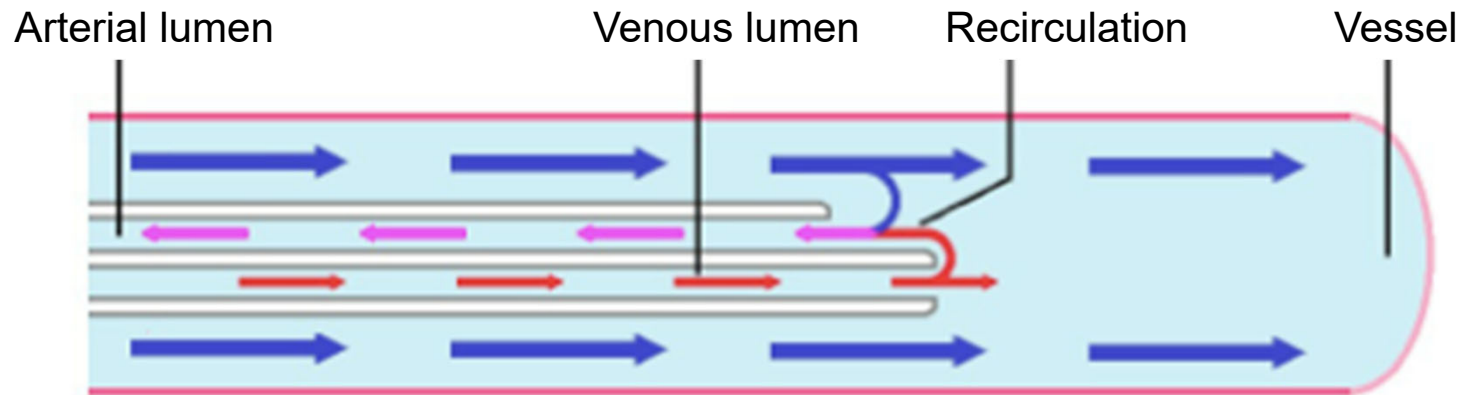
A adapter à la modalité utilisée

- CVVHD: débit sang faible / 100 à 150 ml/min / 11-12 Fr
- CVVH: selon le débit sang nécessaire et fraction de filtration
- HDI: débit sang élevé / $\geq 200\text{--}350$ ml/min
- CRRT + ECCO2R: débit sang très élevé / 400-450 ml/min / 14-16 Fr

5) Qu'est ce que la recirculation ?

Recirculation dans le cathéter

Diminution de l'efficacité de l'EER

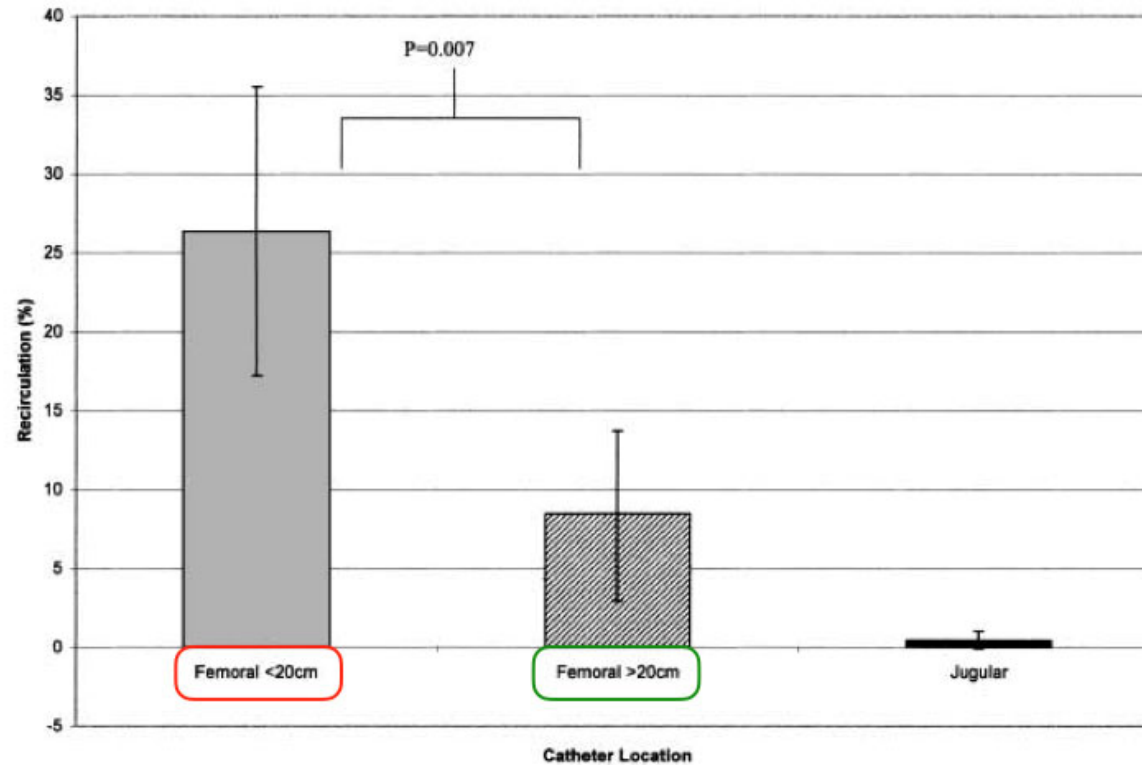


Comment limiter la recirculation ?

- 1) Distance entre extrémité d'entrée et de sortie du cathéter de 2-3cm
- 2) Haut débit sang au niveau du site de retour
- 3) **Ne pas inverser les lignes +++**

Access Recirculation in Temporary Hemodialysis Catheters as Measured by the Saline Dilution Technique

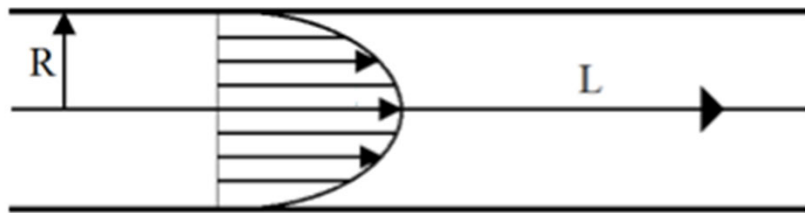
Mark A. Little, MD, Peter J. Conlon, MD, and John J. Walshe, MD



Little et al. Am J Kidney Dis 2000

6) Quel design de lumière interne ?

L'objectif est de limiter au maximum le flux turbulent qui favorise les thromboses



(a)

Flux laminaire



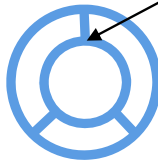

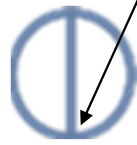

(b)

Flux turbulent

Angles importants


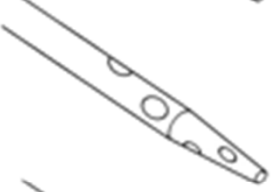
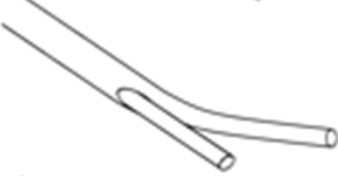


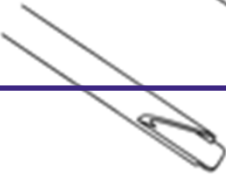
=

Flux turbulent

Type	PRO	CON	Design
Co-axial	Less suction to vessel wall	<ul style="list-style-type: none">- Large surface of contact with blood- Turbulent/stagnant flow due to acute angles	
Double-O	<ul style="list-style-type: none">- Laminar flux	<ul style="list-style-type: none">- Large outer diameter	
Double-D	<ul style="list-style-type: none">- Low surface of contact with blood	<ul style="list-style-type: none">- Turbulent/stagnant flux due to acute angles	
Cycle-C or Kidney Shape	<ul style="list-style-type: none">- Optimized form : No angle- Arterial lumen > venous lumen : pressure decrease		

Ash. Seminar in Dialysis 2007
Joannidis et al. Critical Care 2007

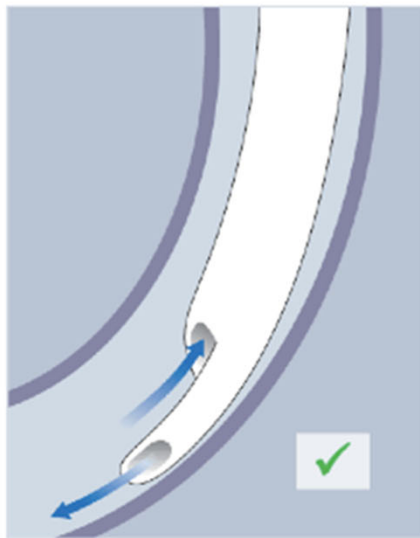
7) Quel design pour l'extrémité du cathéter ?

		Advantages	Disadvantages	
	a. Pointed catheter	- easy introduction	- recirculation - side hole: parietal suction	- Not recommended
	b. Multiperforated pointed catheter		- multiple side holes: turbulences	- Not recommended
	c. Split tip catheter	- less recirculation - laminar flow	- difficult insertion	- Recommended in chronic RRT
	d. Multiperforated split tip catheter		- multiple side holes: turbulences	- Not recommended
	e. Step tip or shotgun catheter	- less recirculation		- Recommended in acute RRT
	f. symmetric or side-by-side catheter	- less recirculation - lumen inversion allowed		- Further studies necessary

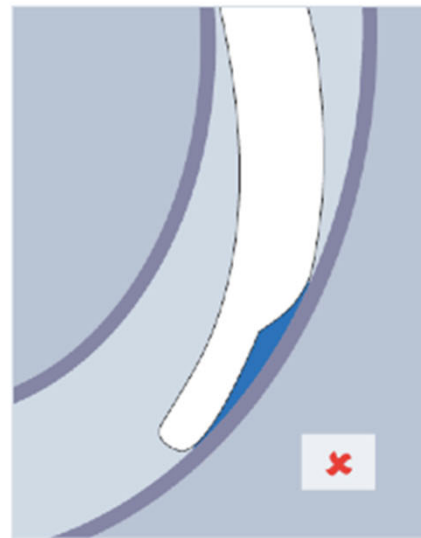
Le shot-gun tip

Shot-gun tip // high flow catheter orientation in the vessel:

Right orientation (1)



Wrong orientation (2)



8) Doit-on utiliser des cathéters imprégnés ?

Cathéters imprégnés ?

Data hétérogènes concernant :

- Imprégnation en antibiotique
- Imprégnation en antithrombotique

Baumbauer et al. ASAIO J 1998

Treretola et al. Radiology 1998

Ash. Seminar in Dialysis 2007

Joannidis et al. Critical Care 2007

Knuttinen et al. Semin Intervent Radiol 2009

9) En cas de cathéter non fonctionnel, peut-on changer sur guide ?

Echange sur guide vs pose de nouveau cathéter

Table 3 Distribution of the microorganisms involved in dialysis catheter colonization

Aetiologic microorganisms	GWE	VPI
Colonized DC	N = 10	N = 10
Gram-positive		
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	1
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	4	0
Other coagulase-negative <i>Staphylococci</i>	2	7
<i>Enterococcus species</i>	0	1
Other Gram-positive	1	0
Gram-negative		
<i>Escherichia coli</i>	1	0
<i>Klebsiella pneumonia</i>	0	1
Fungi	2	1

DC dialysis catheter, GWE guidewire exchange, VPI venipuncture insertion

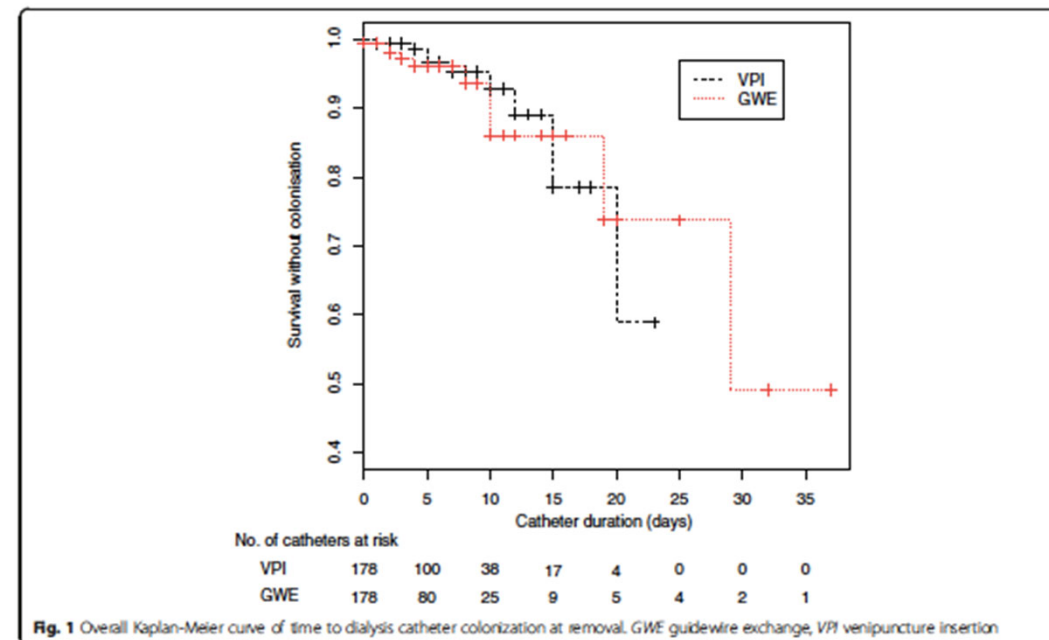


Fig. 1 Overall Kaplan-Meier curve of time to dialysis catheter colonization at removal. GWE guidewire exchange, VPI venipuncture insertion

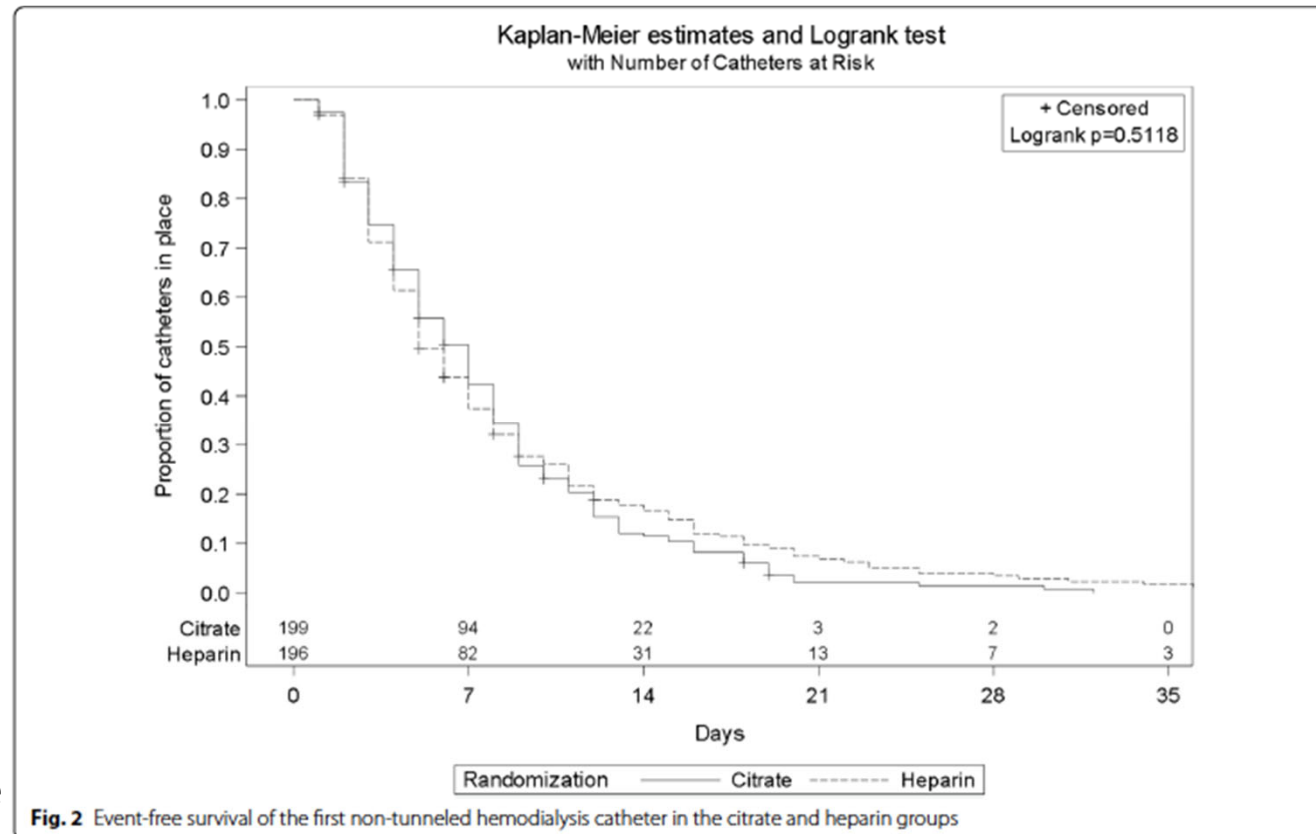
10) Faut-il utiliser un verrou ?

VERROU-REA study

- ECR multicentrique en double aveugle
- 396 patients
- Citrate 4% vs HNF 5000 UI/mL
- CDJ principal : temps d'utilisation du catheter sans complication
- CDJ secondaires :
 - Thrombose de catheter
 - Infection de catheter
 - Durée de séjour en réa et hospitalière
 - Mortalité à 28 jours

→ Pas de difference entre les 2 groupes

Mais uniquement premier cathéter pris en compte et durée de vie de 7 jours

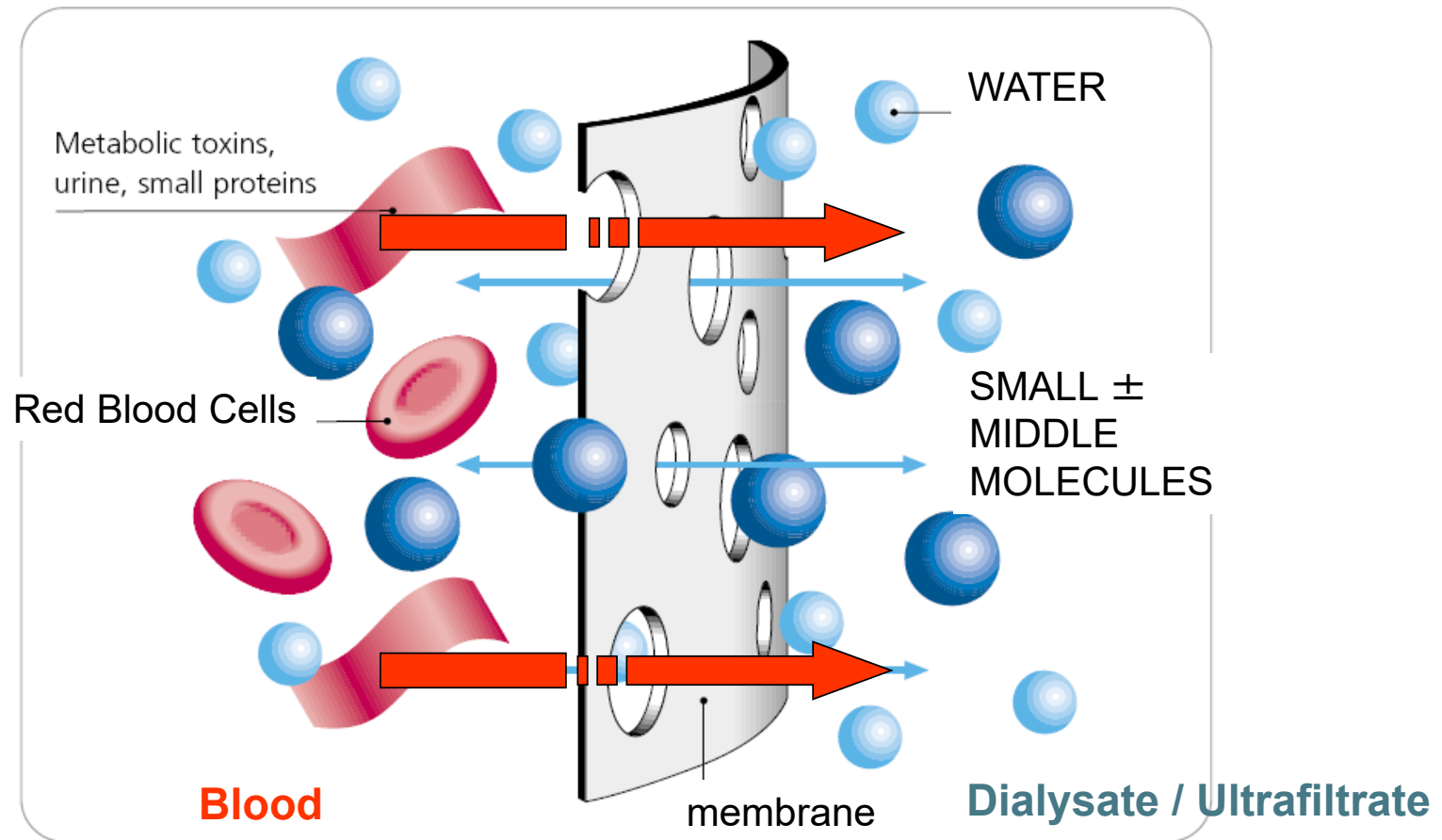




Component	Recommendation
Catheter site selection	Prefer right internal jugular vein for insertion; avoid subclavian vein to prevent central vein stenosis
Ultrasound guidance	Use real-time point-of-care ultrasound (POCUS) to guide catheter insertion and confirm placement
Aseptic technique	Strict maximum sterile barrier precautions during insertion.
Catheter securement	Use sutures or securement device to minimize movement and reduce infection risk.
Dressing protocol	Apply chlorhexidine-impregnated dressing and change per institutional policy or when soiled/loose.
Exit site care	Perform regular exit site cleaning with antiseptic solution.
Catheter locking	Use anticoagulant lock (e.g., heparin, citrate) or antimicrobial lock if infection risk is high.
Documentation & monitoring	Document insertion details and monitor daily for signs of infection or dysfunction.
Timely removal	Remove catheter as soon as no longer needed or if signs of infection/dysfunction.
Education & training	Ensure staff are trained in insertion, care, and early recognition of complications.

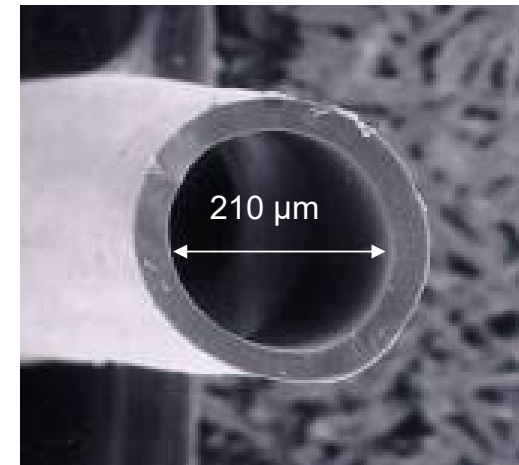
II. Membranes

La membrane est un système semi-perméable



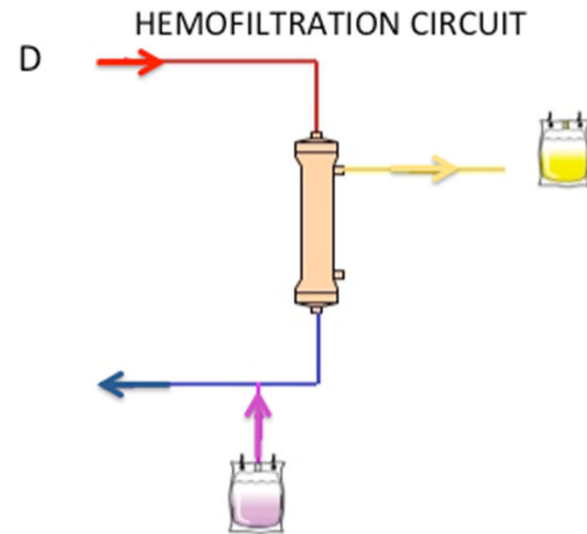
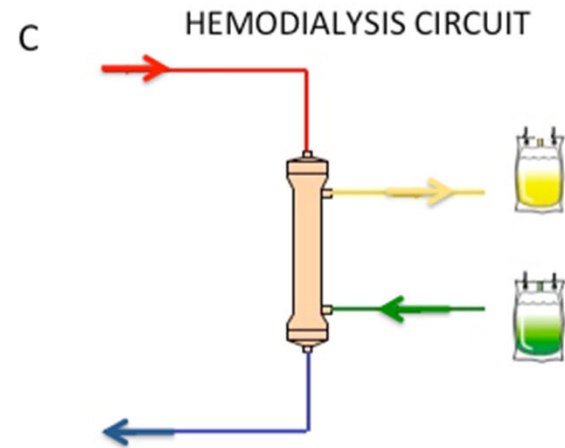
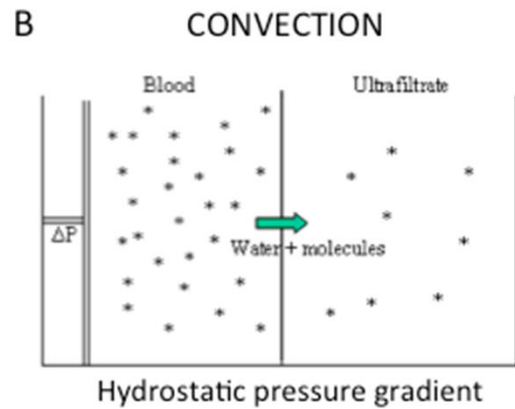
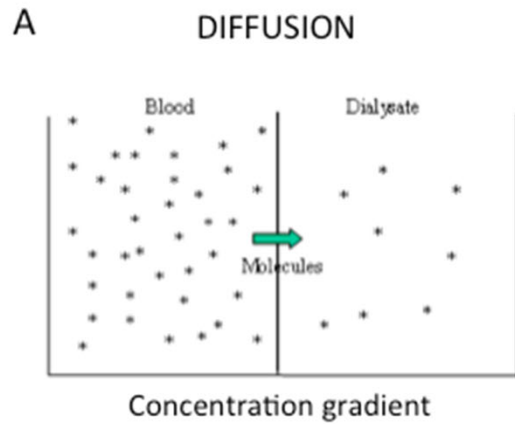
Quelques chiffres

Juxtaposition de fibres:



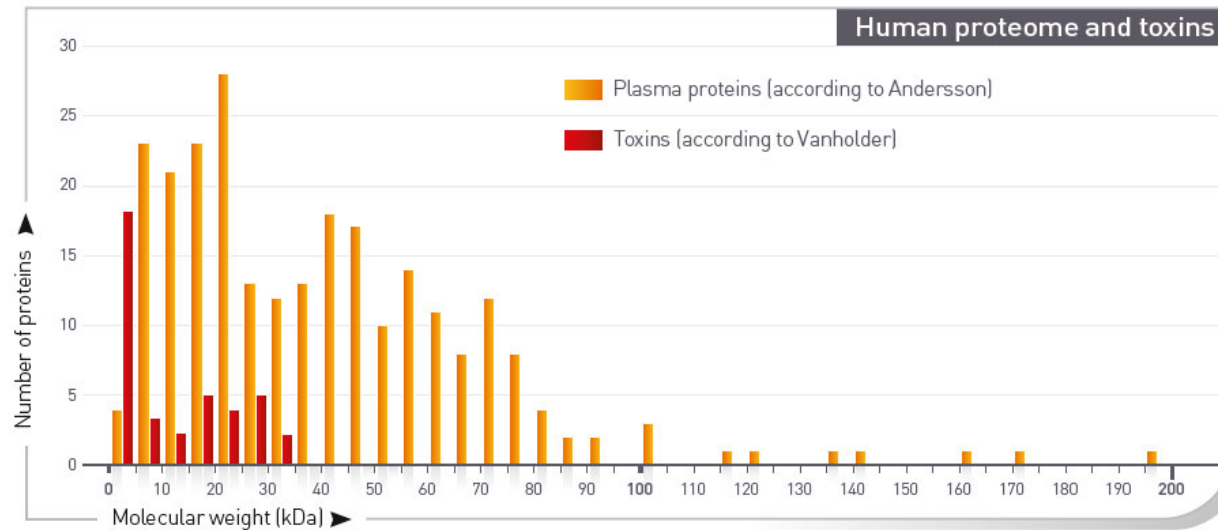
- 15000 à 25000 fibres par membrane
- Longueur = 14 à 28 cm
- Diamètre interne = 150 to 250 μm
- Epaisseur de la membrane = 5 to 50 μm

Types d'élimination des solutés



Limites des mécanismes conventionnels

Les toxines urémiques et les protéines essentielles ont des poids moléculaires comparables



Vanholder et al. J Nephrol 2008

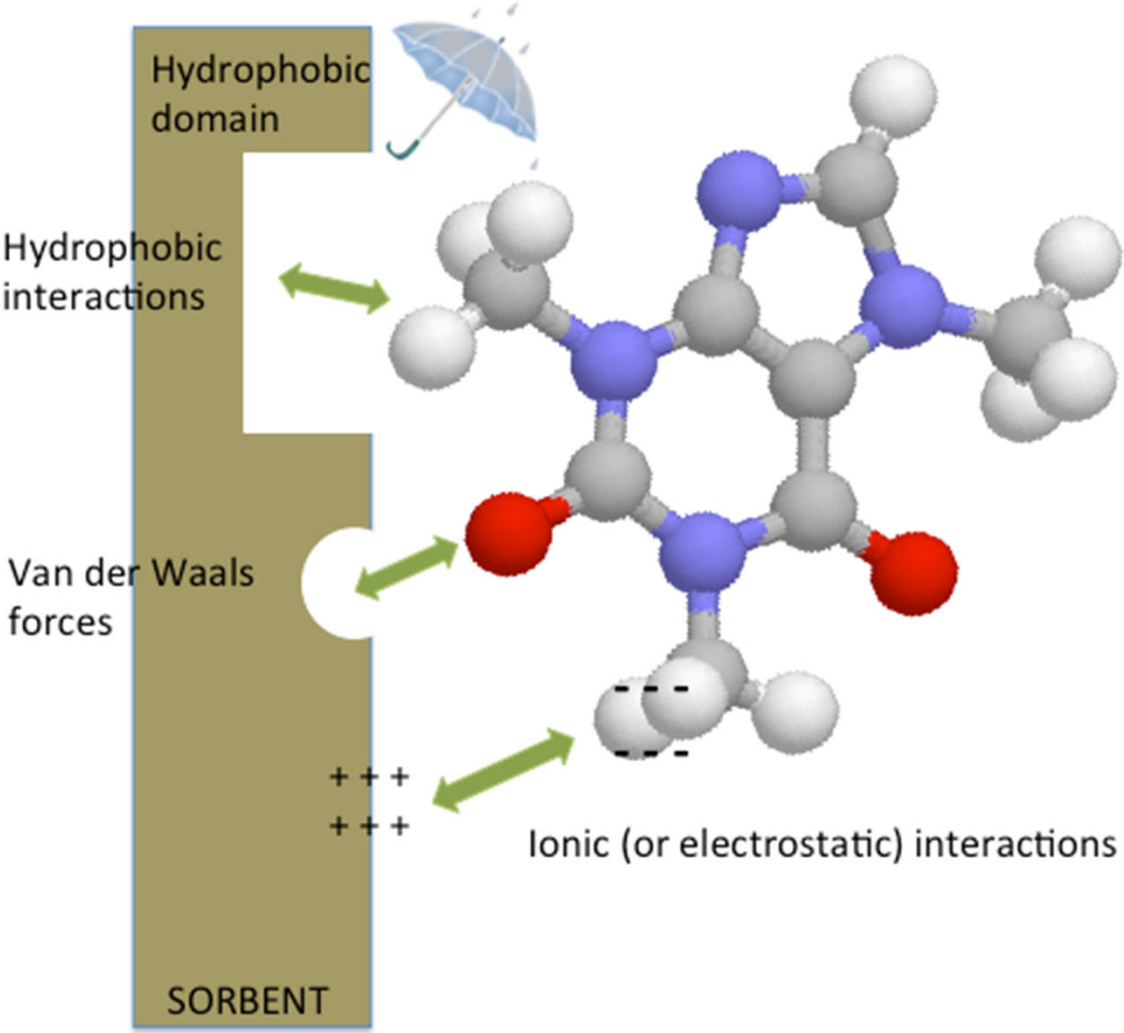
Anderson et al. Molecular and Cellular Proteomics 2002

Limites des mécanismes conventionnels : concentration plasmatique

PROTEIN	Molecular Weight, Da	Mean plasma concentrations, mmol/l	<u>Albumin concentration</u> Protein concentration
Albumin	66 500	0.5	1
Fibrinogen	340 000	0.008	63
β_2 microglobulin	11 800	0.002	250
Factor D	23 750	0.0008	625
MCP-1	16 300	0.00000001	50 000 000
TNF α	51 000	0.000000004	125 000 000

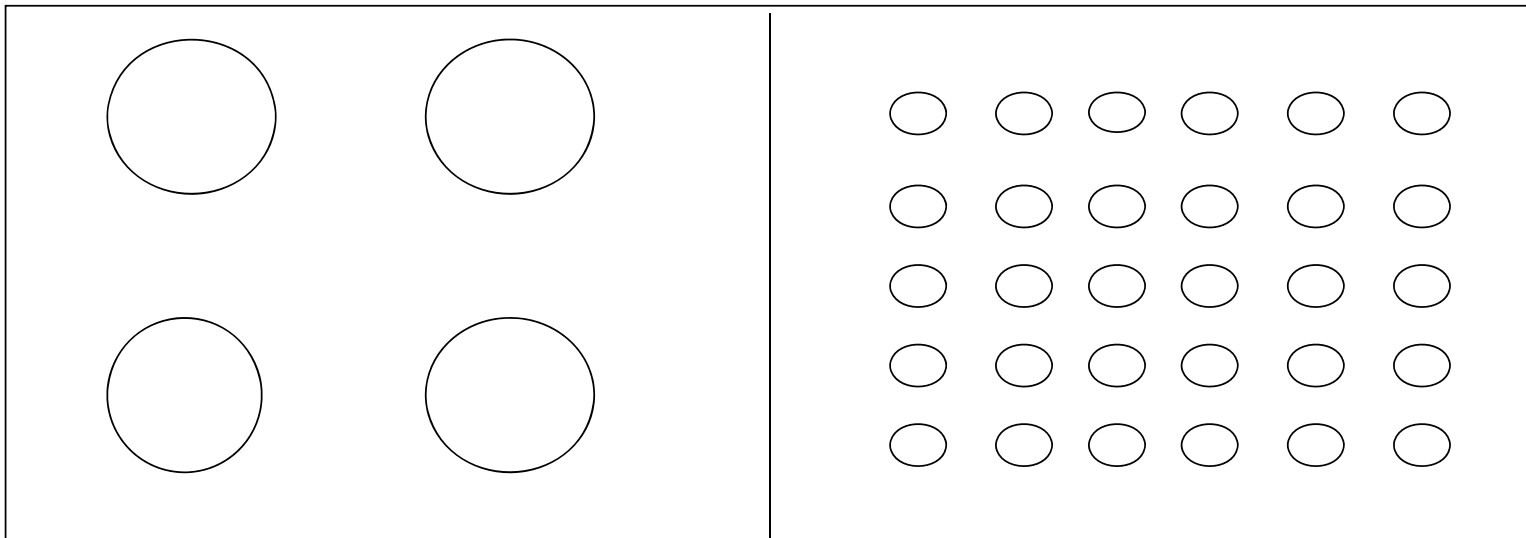
Table 1: Examples of Plasma Proteins and Concentration Ratios with Albumin (Vanholder 2001, 2003; Morena, 2010) (1,2,31)

ADSORPTION (Gradient of affinity)



High permeability \neq High cut-off

- Perméabilité hydraulique (= water permeability) est définie par le coefficient d'ultrafiltration
- K_{UF} in ml / h / mmHg / m² de surface membranaire
- Fonction du nombre de pores par unité de surface + rayon des pores à la puissance 4
- Perméabilité hydraulique \neq perméabilité moléculaire



Perméabilité des membranes

	Kuf ml/h/mmHg/m ²
Low Flux	<10
High Flux	20 à 40
Super High-Flux	>40
HCO	>40

La perméabilité hydraulique est une propriété physique qui exprime le débit de filtration en mL produit par unité de temps, par unité de surface et par unité de pression transmembranaire.

La perméabilité aux solutés est estimée par :

- le coefficient de diffusion KoA (mL/min/m²) spécifique de chaque soluté pour les membranes diffusives
- Le coefficient de tamisage SC Sieving coefficient pour les membranes convectives

Perméabilité hydraulique et modalité d'EER

Hémofiltration: nécessite une membrane d'EER avec une perméabilité hydraulique élevée (> 20 ml/h/mmHg/m²) pour obtenir un débit d'effluent significatif sans augmentation démesurée de la pression transmembranaire

$$Q_{UF} = K_{UF} \times TMP$$

Hémodialyse : parfaitement compatible avec des membranes de faible perméabilité hydraulique (< 5 ml/h/mmHg/m²)

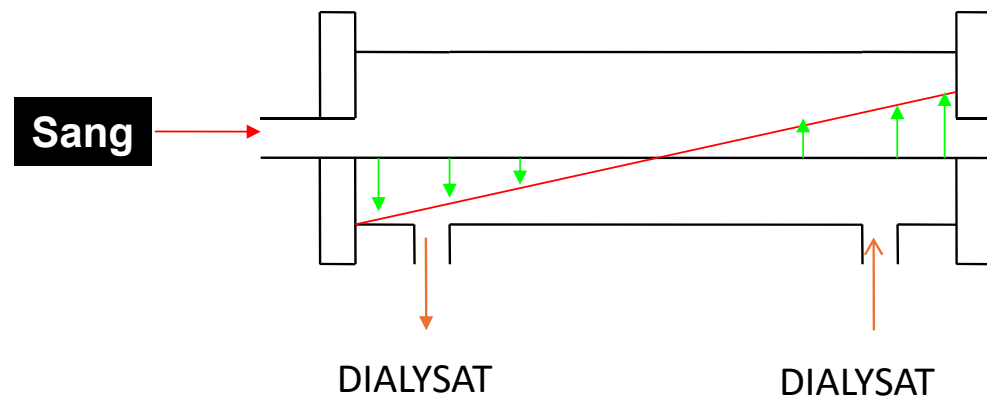
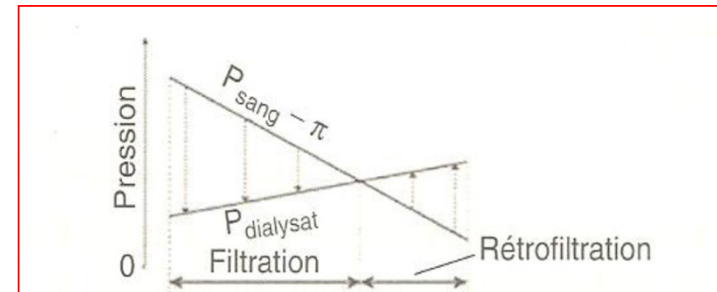
Si utilisation de membrane « high flux » → Rétrofiltration

Rétrofiltration

Au début du filtre, côté entrée sang, la pression hydrostatique sanguine est souvent élevée. Il y a donc filtration du plasma vers le compartiment dialysat/effluent.

Puis, en avançant dans le filtre :

- la pression sanguine chute progressivement ;
- la pression oncotique augmente car le sang se concentre ;
- la pression côté dialysat/effluent peut devenir relativement plus élevée.



**La rétrofiltration permet la réalisation d'échanges additionnels par convection
Cela peut permettre l'élimination de molécules de poids moléculaire moyen**

Sieving coefficient et cut-off point

- En-dessous du cut-off point, le sieving coefficient est défini pour chaque molécule par la formule suivante :

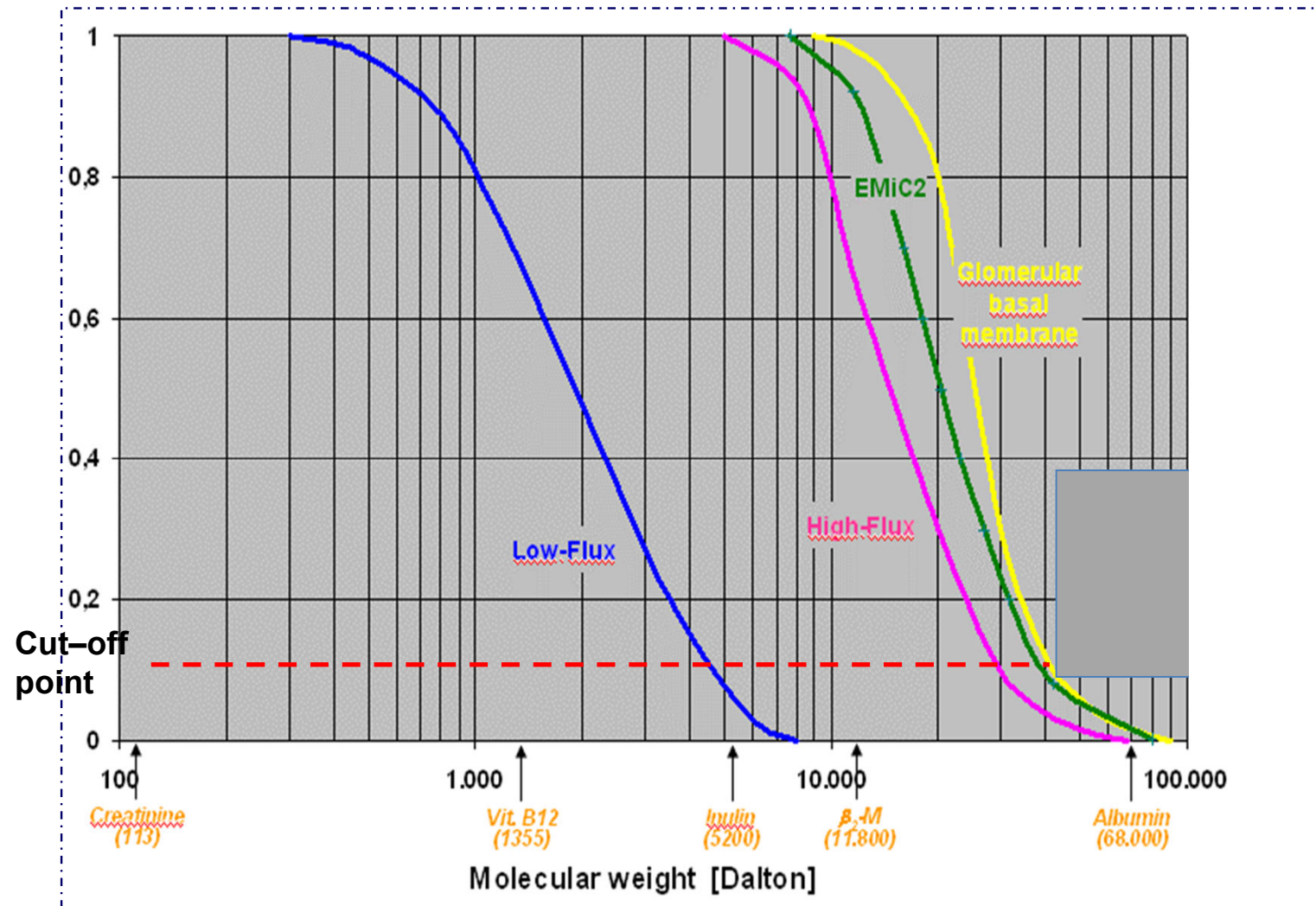
$$SC = [X]_{UF} / [X]_P$$



$$\text{Clairance } [X] = SC \times Q_{UF}$$

- Cut-off point de la membrane : poids moléculaire des molécules qui ont un sieving coefficient de 0,1 avec cette membrane

Sieving coefficients and cut-off of different membranes



Diminution de l'efficacité de la membrane au cours du temps

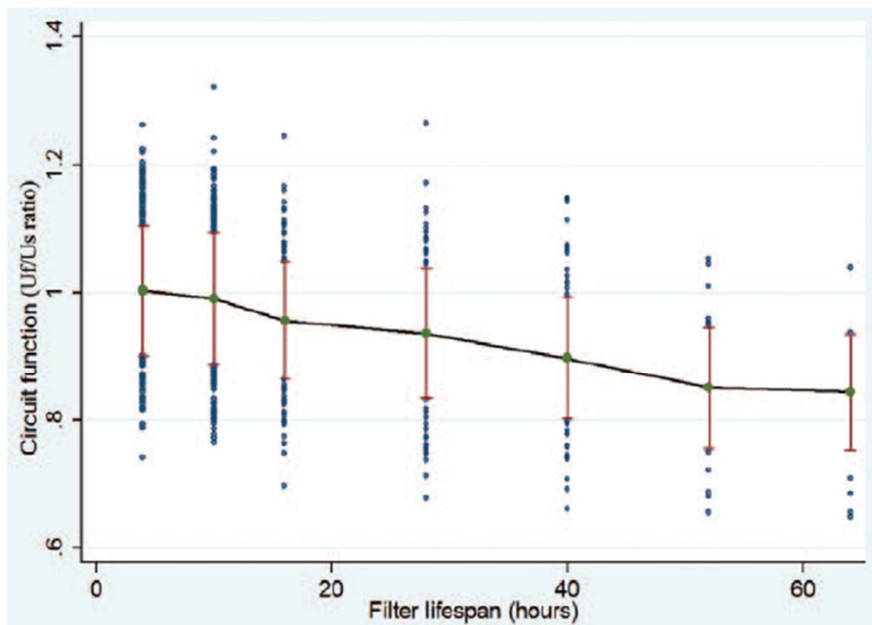


Figure 1. Filter function (Equation 6) declined progressively over time. U_f refers to urea measured in ultrafiltrate, and U_s refers to urea measured in the blood.

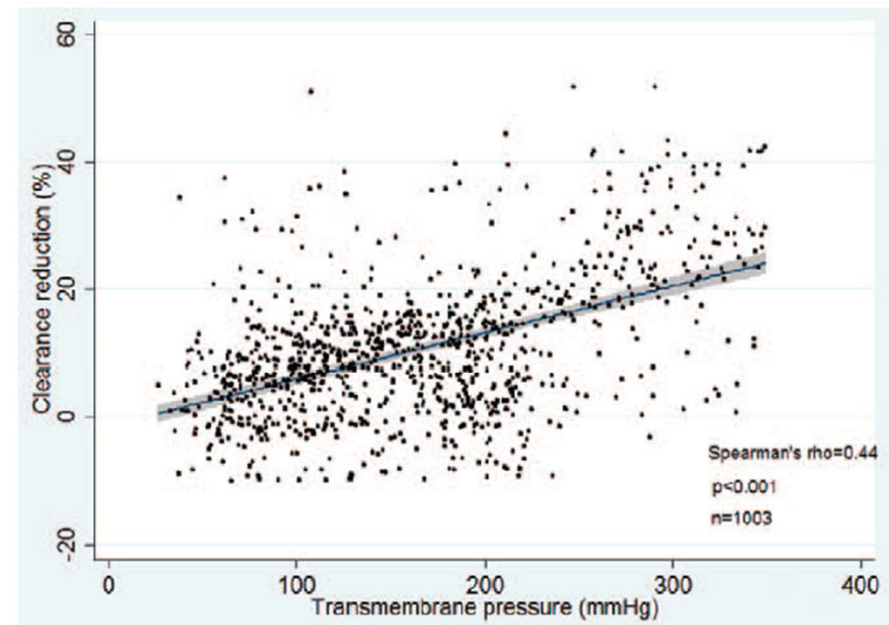
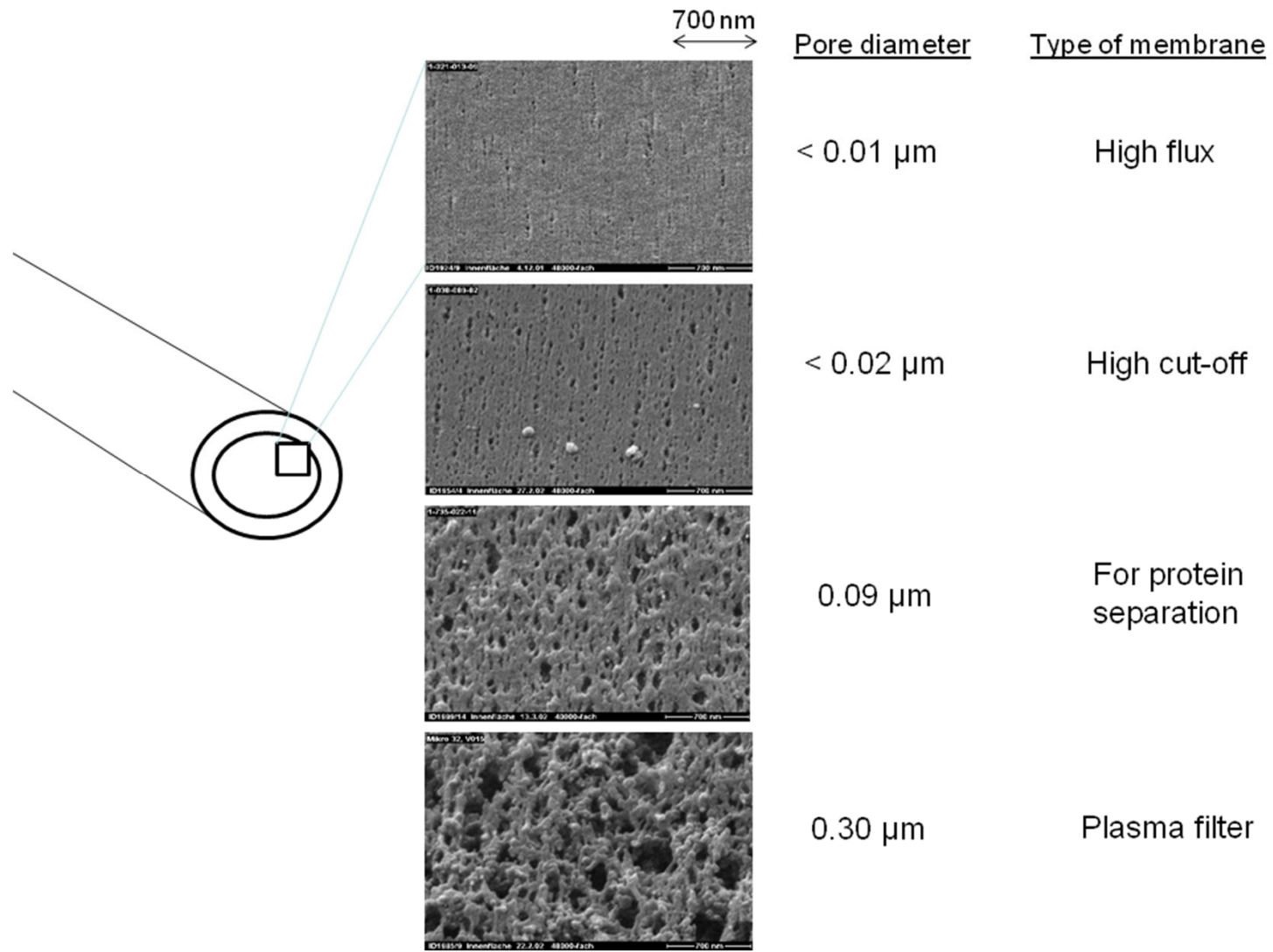


Figure 3. Correlation between clearance reduction and transmembrane pressure is statistically significant with a Spearman's rho of 0.44 ($p < 0.001$).

Différentes tailles de pores selon le type de membrane





Albumine

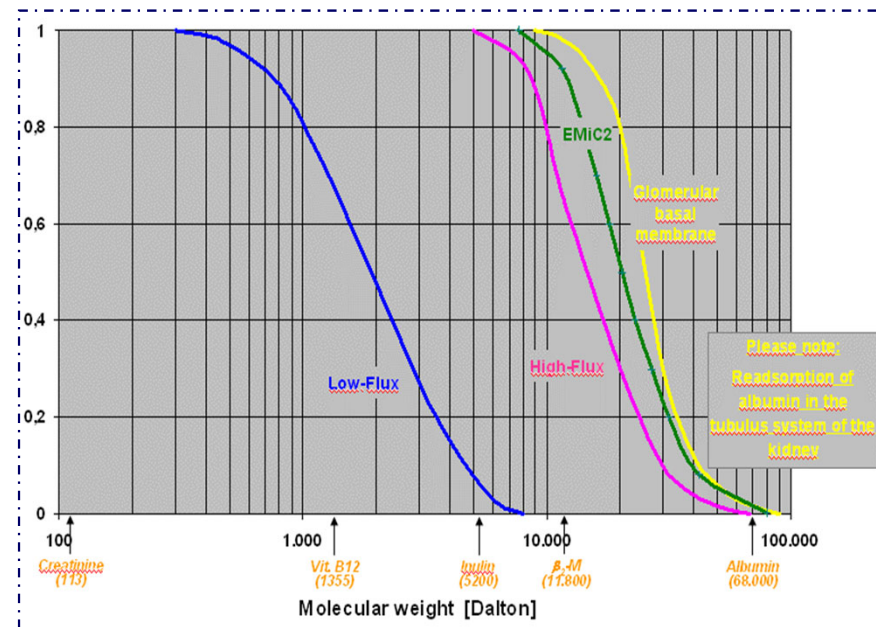
Jusqu'à 30 g / 4 h!

Morgera et al. Nephrol Dial Transplant 2003

Membrane « Super High-Flux » : EMiC2

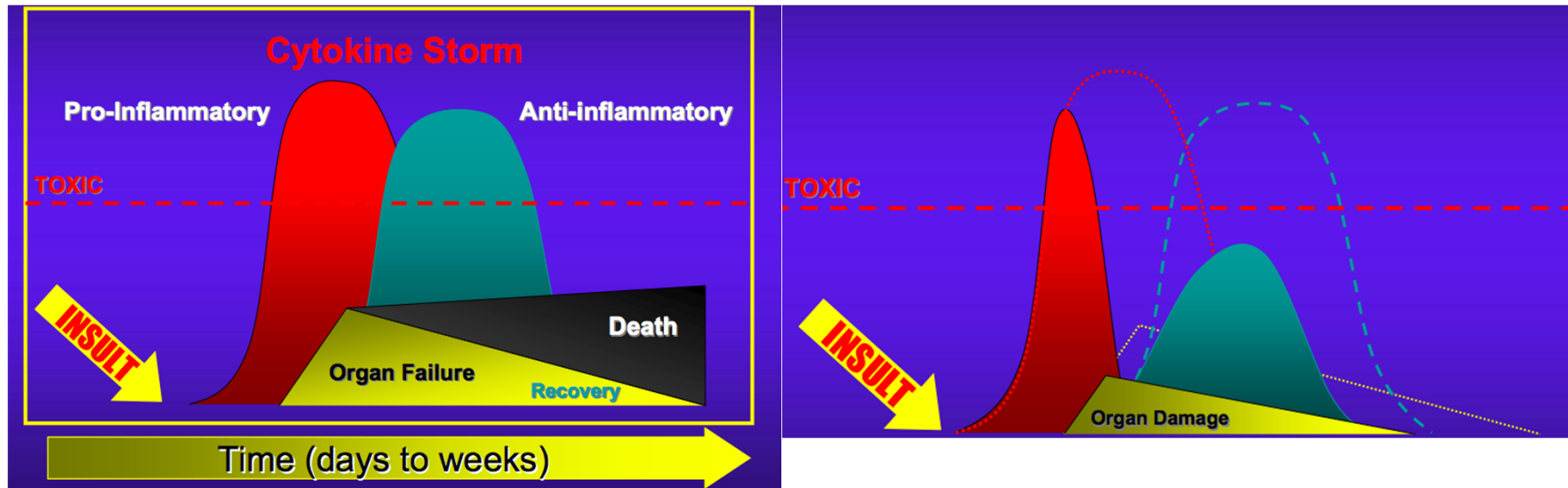
- Polysulfone, Hémofiltre « Super high flux »
- Rationnel d'utilisation : élimination de molécules de moyen poids moléculaire
 - Cytokines dans le choc septique
 - Myoglobine dans la rhabdomyolyse
 - Chaînes légères dans le myélome multiple

Cut-off in vitro = 40 kDa

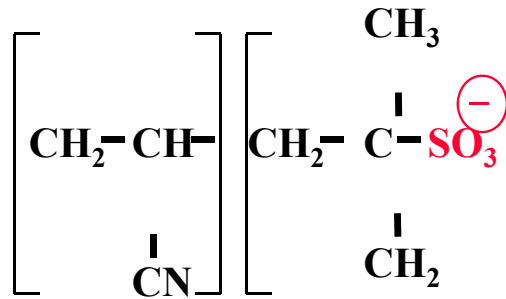


Membrane adsorbante : Oxiris

- Objectif : diminution de la quantité d'endotoxine

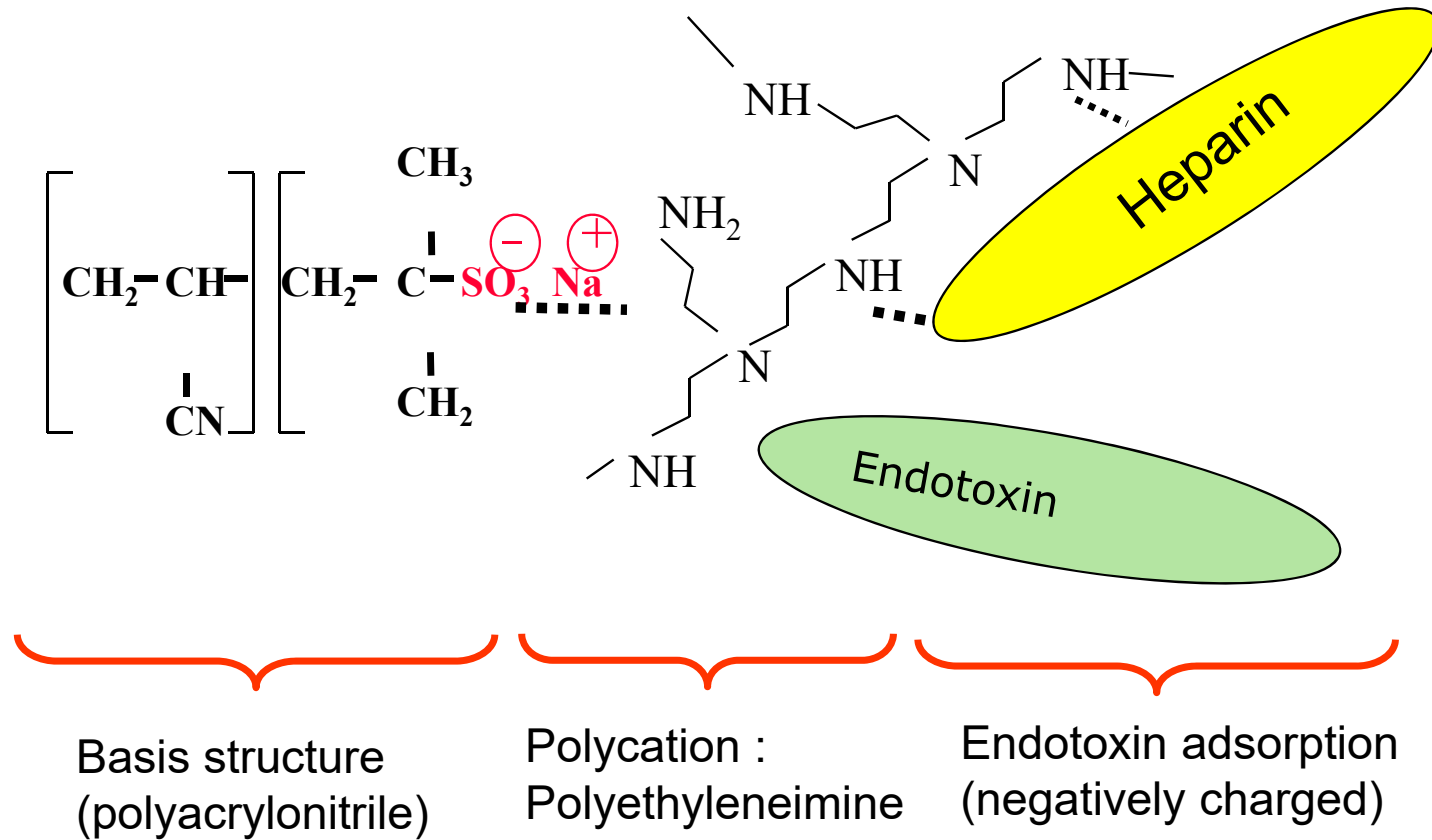


Oxiris[®] : se compose en partie d'une membrane AN69



AN69
(polyacrylonitrile)

Oxiris®



- Oxiris®: Adsorption des endotoxines qui sont chargées négativement sur la surface de la membrane
- Structure de base AN69 : adsorption de cytokines

