

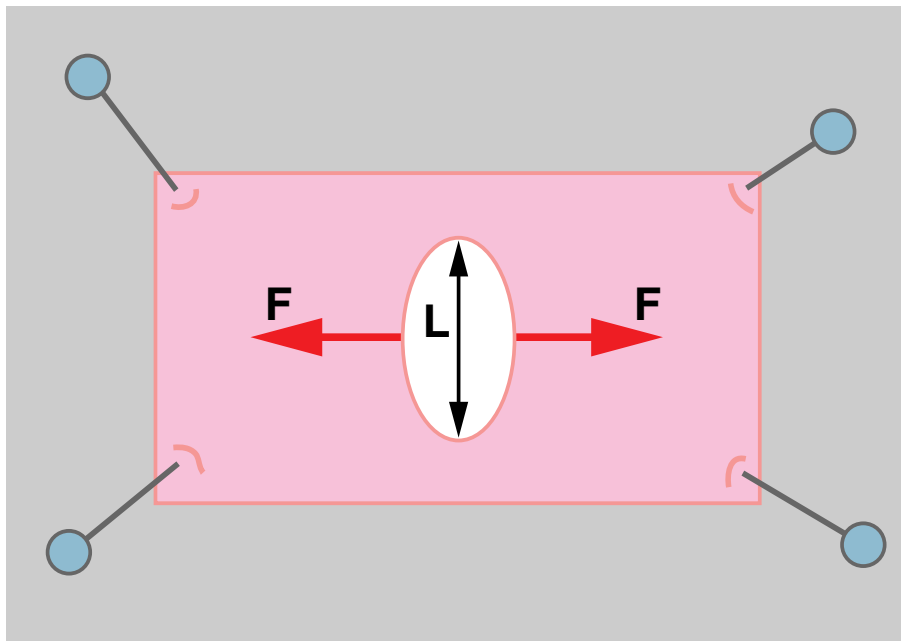
**LES LOIS HYDRODYNAMIQUES.  
EXPÉRIMENTATIONS IN VITRO EN  
URODYNAMIQUE**

**Loïc Le Normand  
Centre Fédératif de PelviPérinéologie  
CHU Nantes**

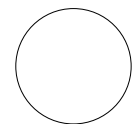
# NOTION DE PRESSION / TENSION DE MEMBRANE

- Pression / Tension / Loi de Laplace
- Définition d'une tension de membrane = élément élastique

$$T = F/L$$



Exemple :  
Incision du Detrusor



# TENSION DE PAROI ET PROPRIÉTÉS VISCO-ÉLASTIQUES

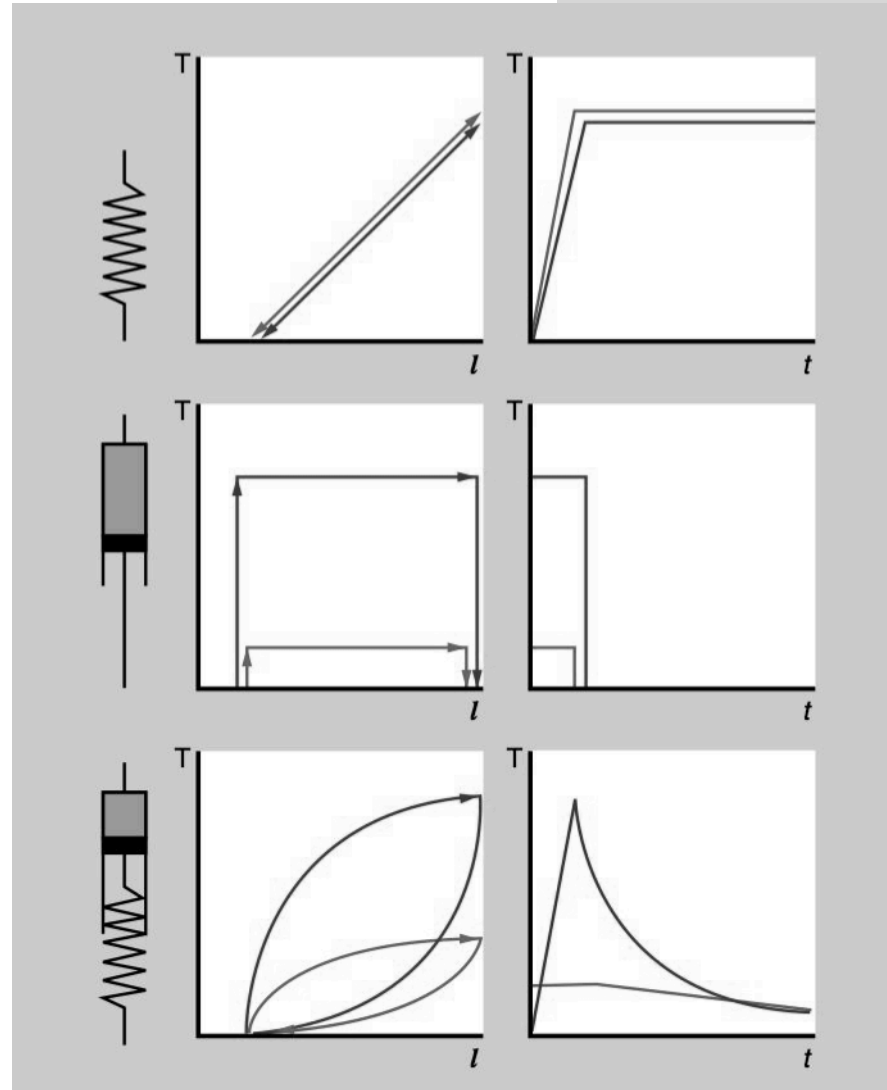
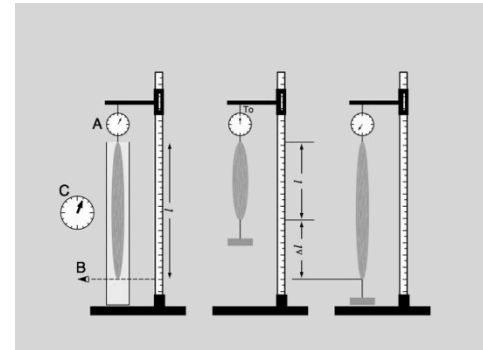
## ○ Composante élastique :

- T proportionnelle à la longueur l'étirement
- $T = E \times \Delta L$

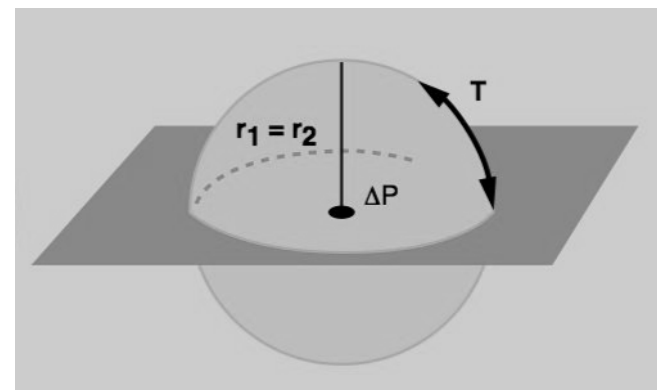
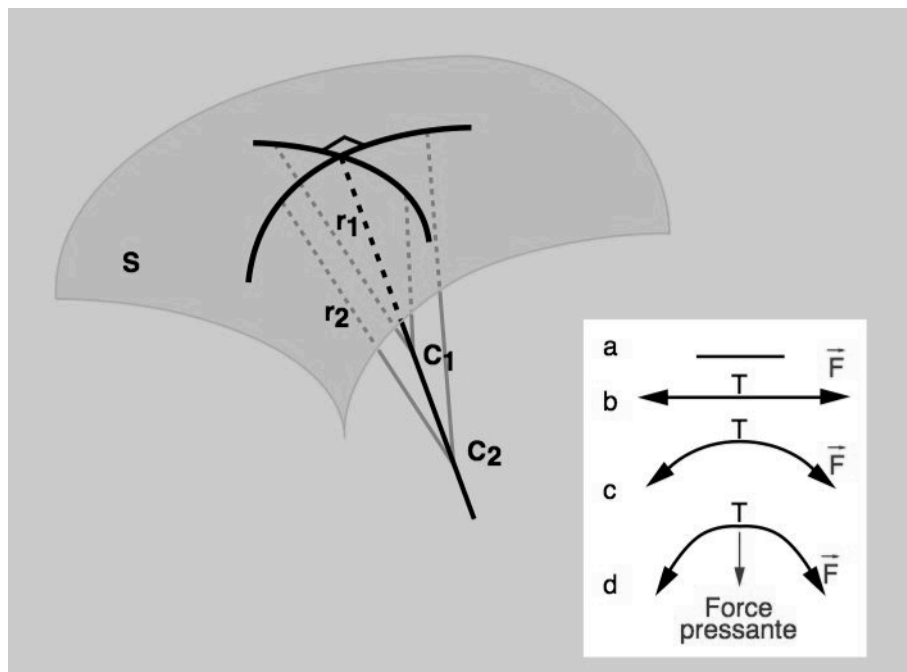
## ○ Composante visqueuse

- T proportionnelle à la vitesse d'étirement
- $T = \eta \Delta l / \Delta t$

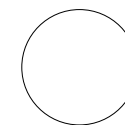
➔ Application pour la vitesse de remplissage en urodynamique



# LOI DE LAPLACE



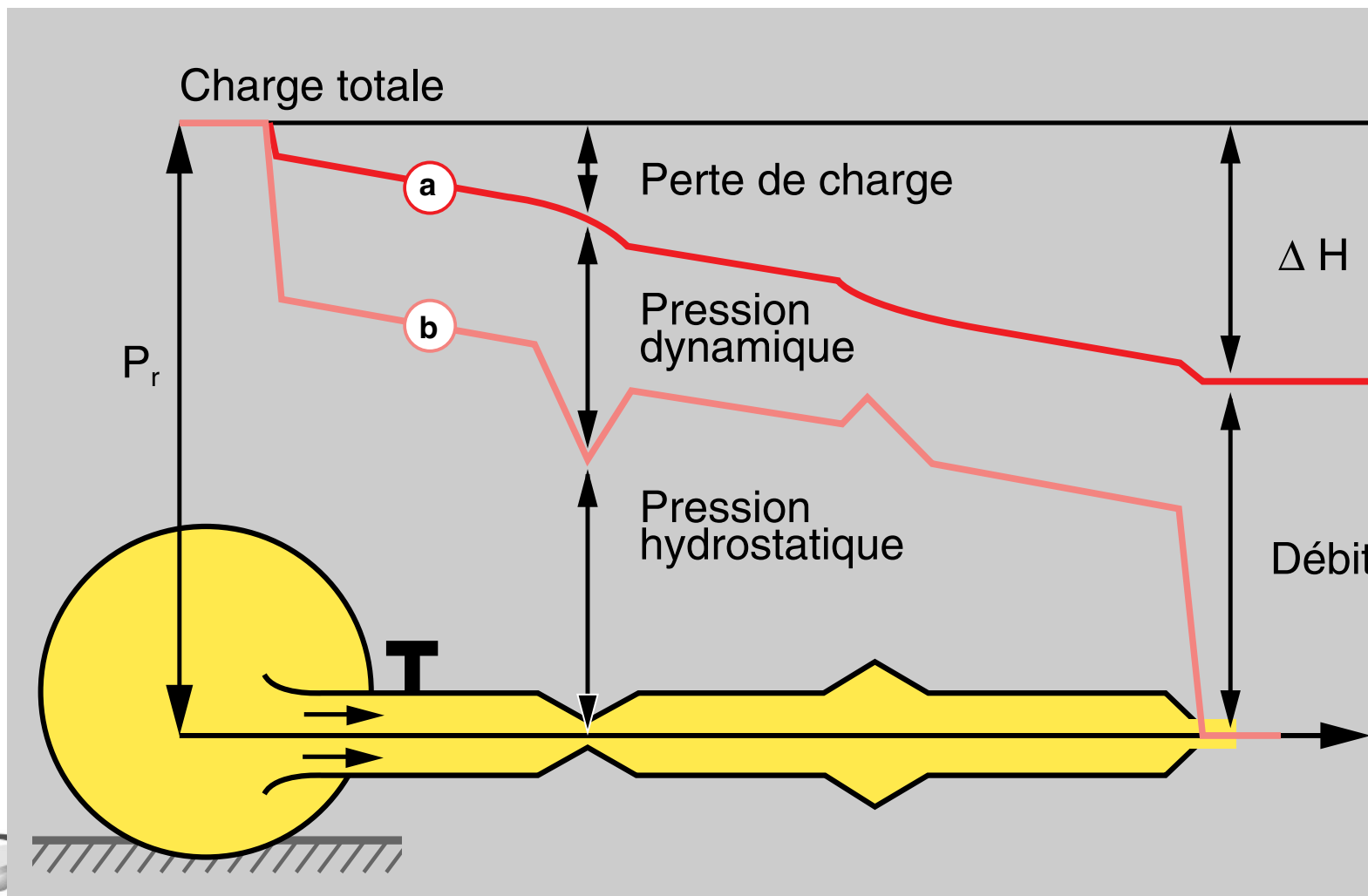
- $\Delta P = 2T/r$
- Pour une même tension pariétale, plus la sphère est grande, plus la pression est faible



# HYDROSTATIQUE / HYDRODYNAMIQUE

## FLUIDE IMMOBILE/ FLUIDE EN MOUVEMENT

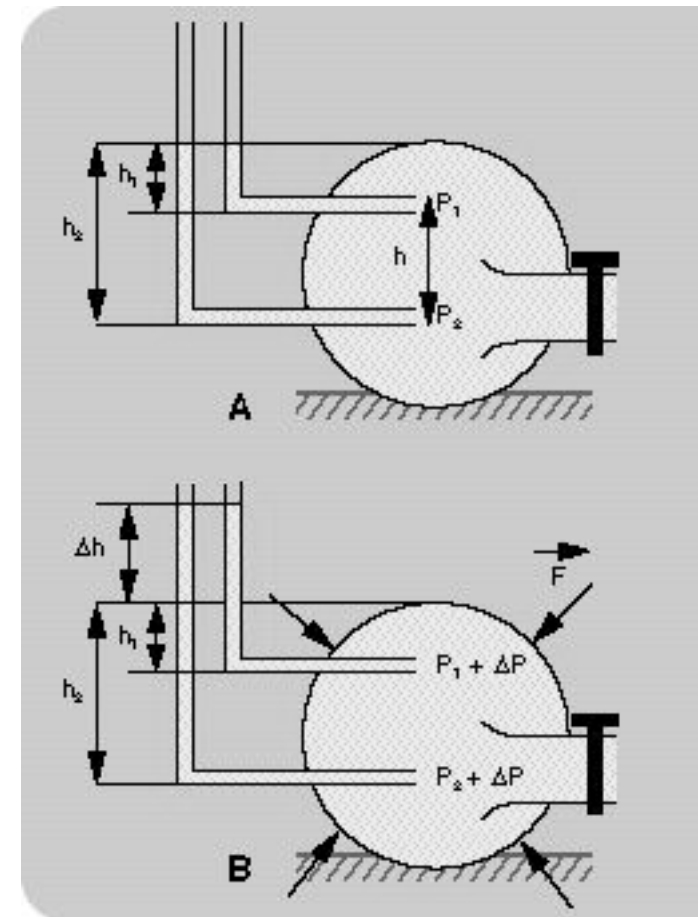
Centre fédératif de pelvi-périnéologie



Energie totale = énergie disponible + pertes de charge

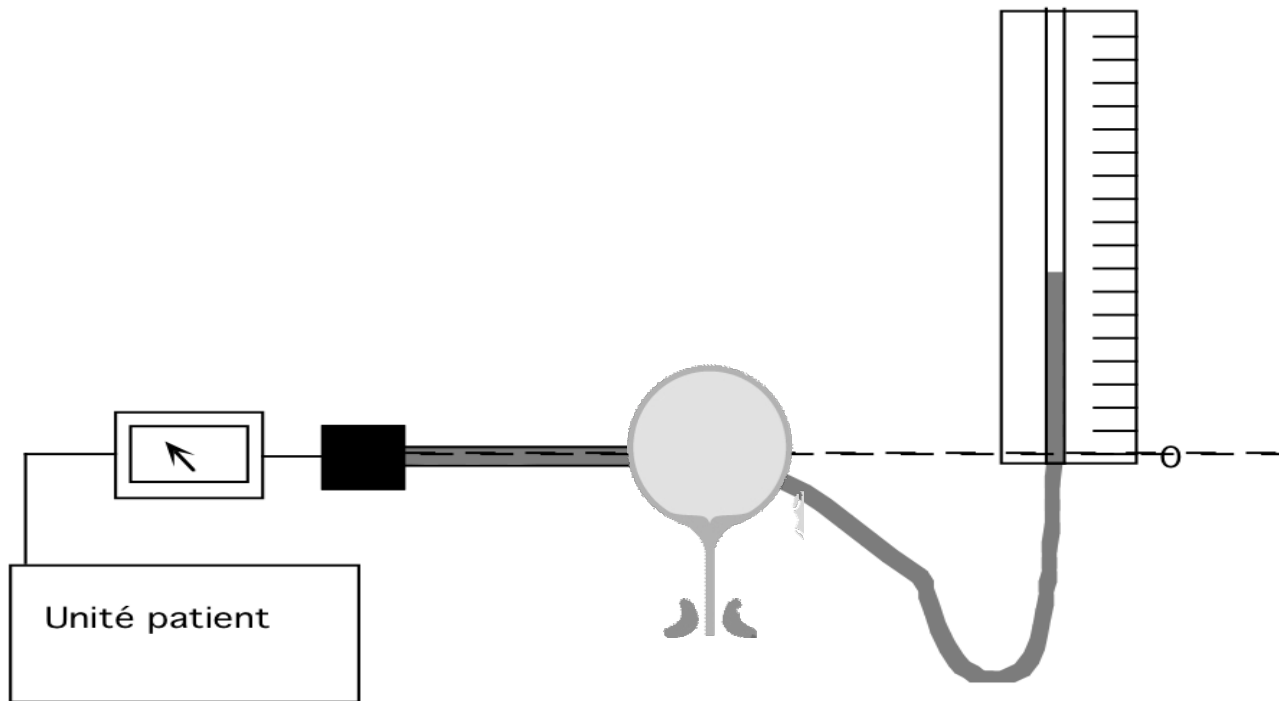
# LOIS DE L'HYDROSTATIQUE = FLUIDE AU REPOS

- ✓ La pression en un point est la même dans toutes les directions
- ✓ La pression est la même sur une même horizontale
- ✓ La différence de pression entre 2 niveaux se différencie par la hauteur entre ces 2 points
- ✓ Un fluide transmet intégralement dans toutes les directions les variations de pression qu'il subit



# APPLICATION À L'URODYNAMIQUE : CYSTOMANOMÉTRIE

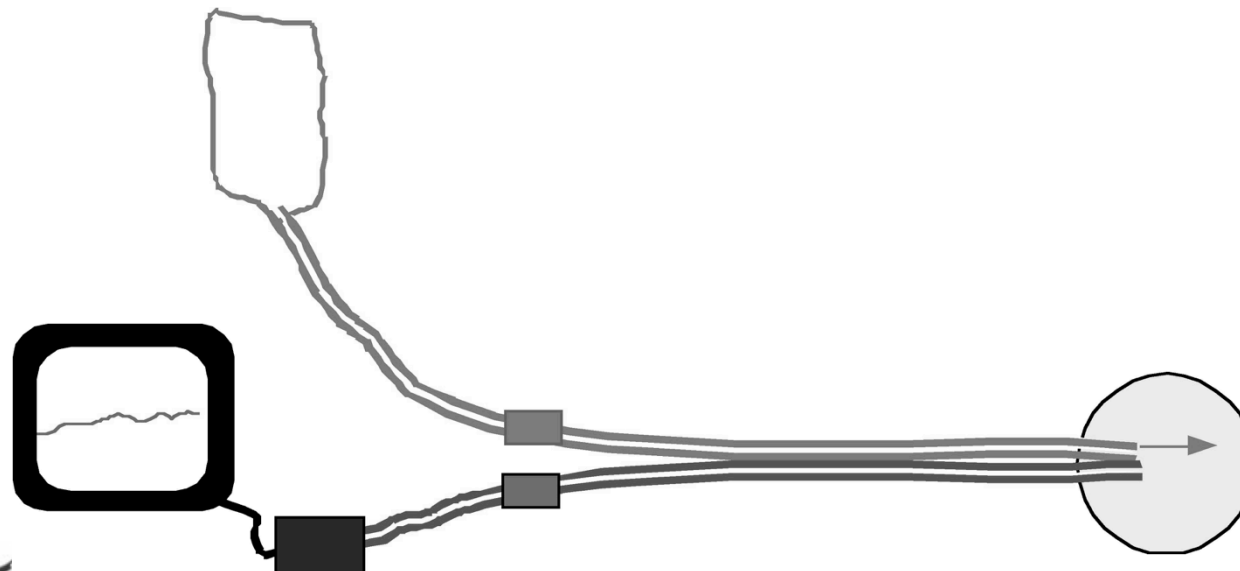
- A condition que le fluide soit homogène
  - Pas de bulle d'air



# APPLICATIONS PRATIQUES POUR LA RÉALISATION DES BILANS URODYNAMIQUES

✓ Pour la réalisation des cystomanométries:

- 2 voies : l'une pour perfuser, l'autre pour mesurer
- Sinon : limiter la perte de charges (cf)

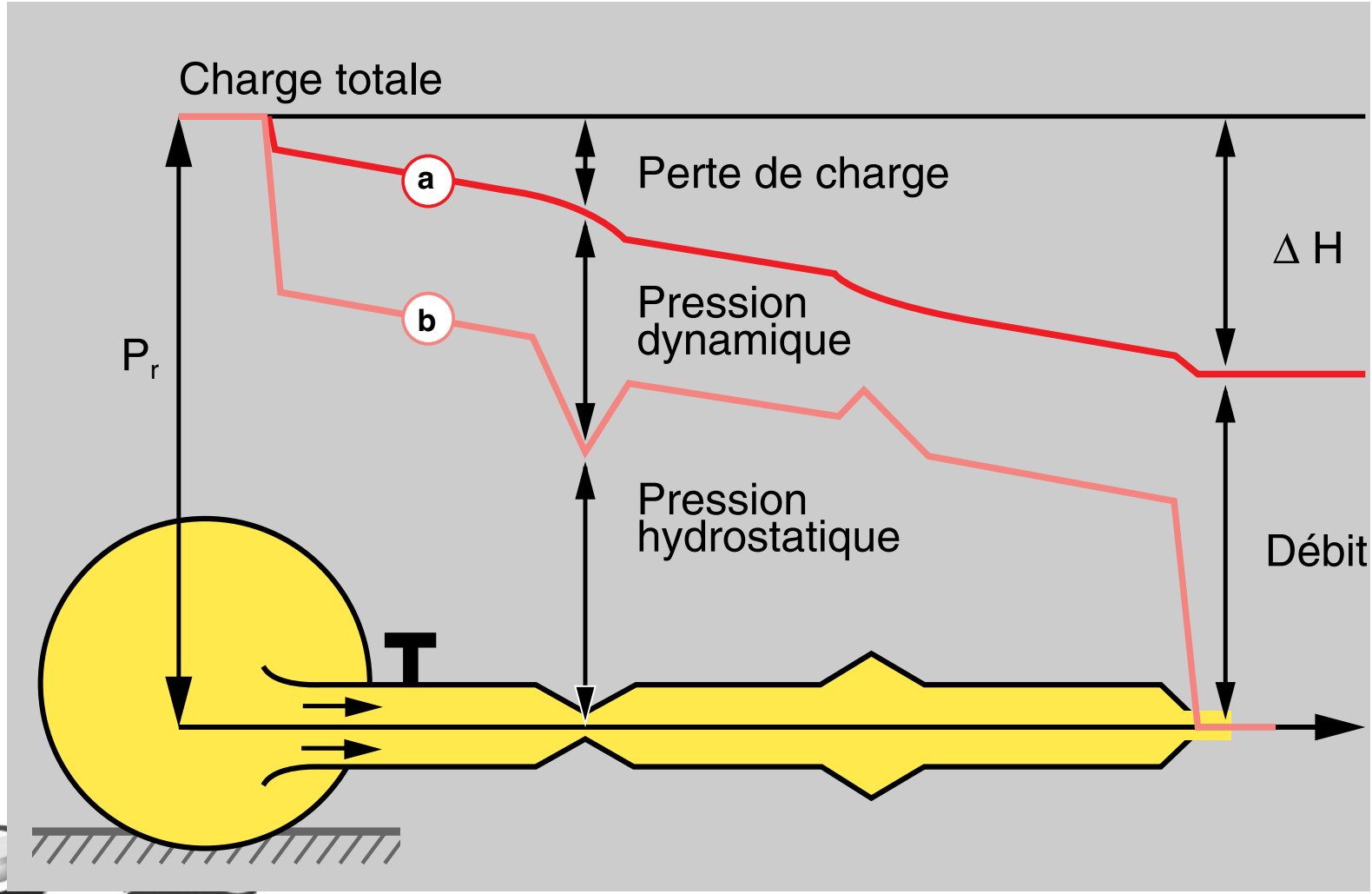




# HYDRODYNAMIQUE

## FLUIDE EN MOUVEMENT

Centre fédératif de pelvi-périnéologie



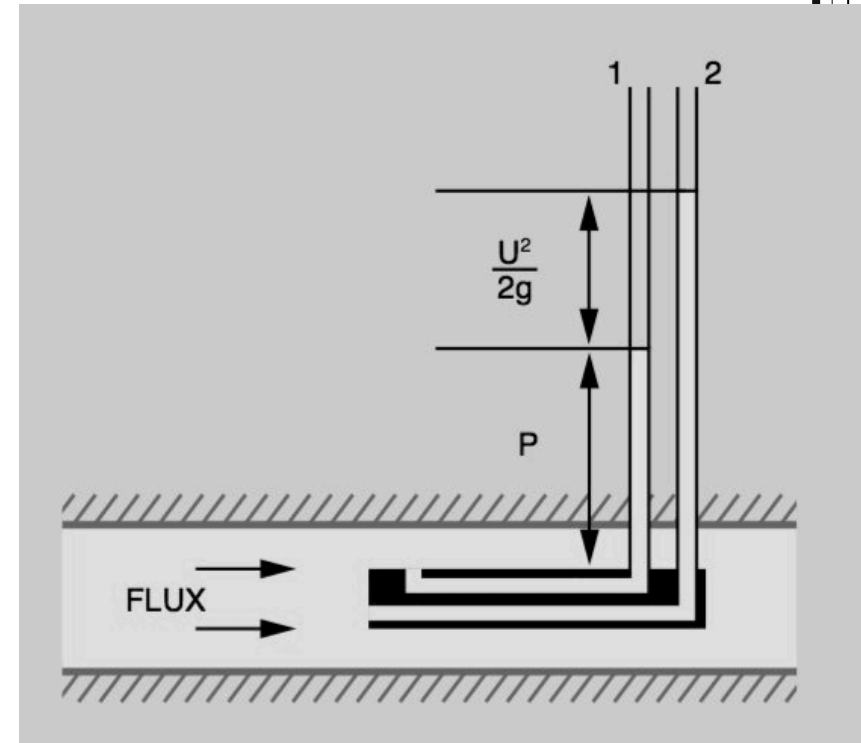
$$\text{Energie totale} = \text{énergie disponible} + \text{pertes de charge}$$

# PRESSION DYNAMIQUE / STATIQUE

## ○ Principe du tube de PITOT

1.  $P$  = pression hydrostatique
2. Pression totale

Pression totale – Pression hydrostatique = pression dynamique

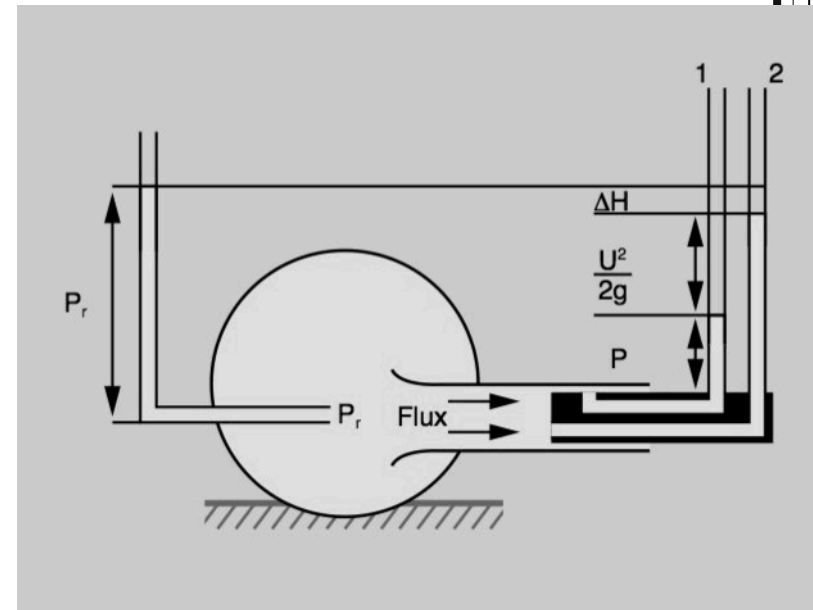


# PERTE DE CHARGE

1.  $P$  = pression hydrostatique
2. Pression totale à l'extrémité du tube de Pitot

$P_r$  = Pression de charge initiale

$\Delta H$  : perte de charge

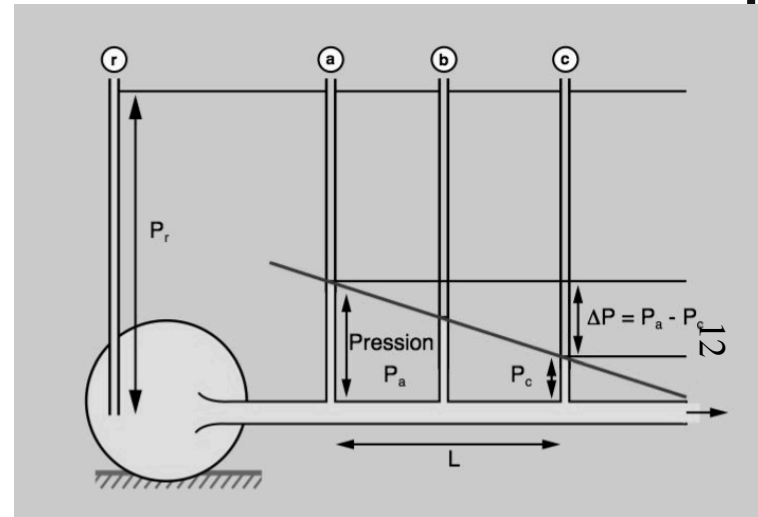


# LOIS PHYSIQUES SUR LES LIQUIDES EN MOUVEMENT

## ✓ Notion de perte de charge

Energie initiale =  
énergie disponible +  
Pertes de charge

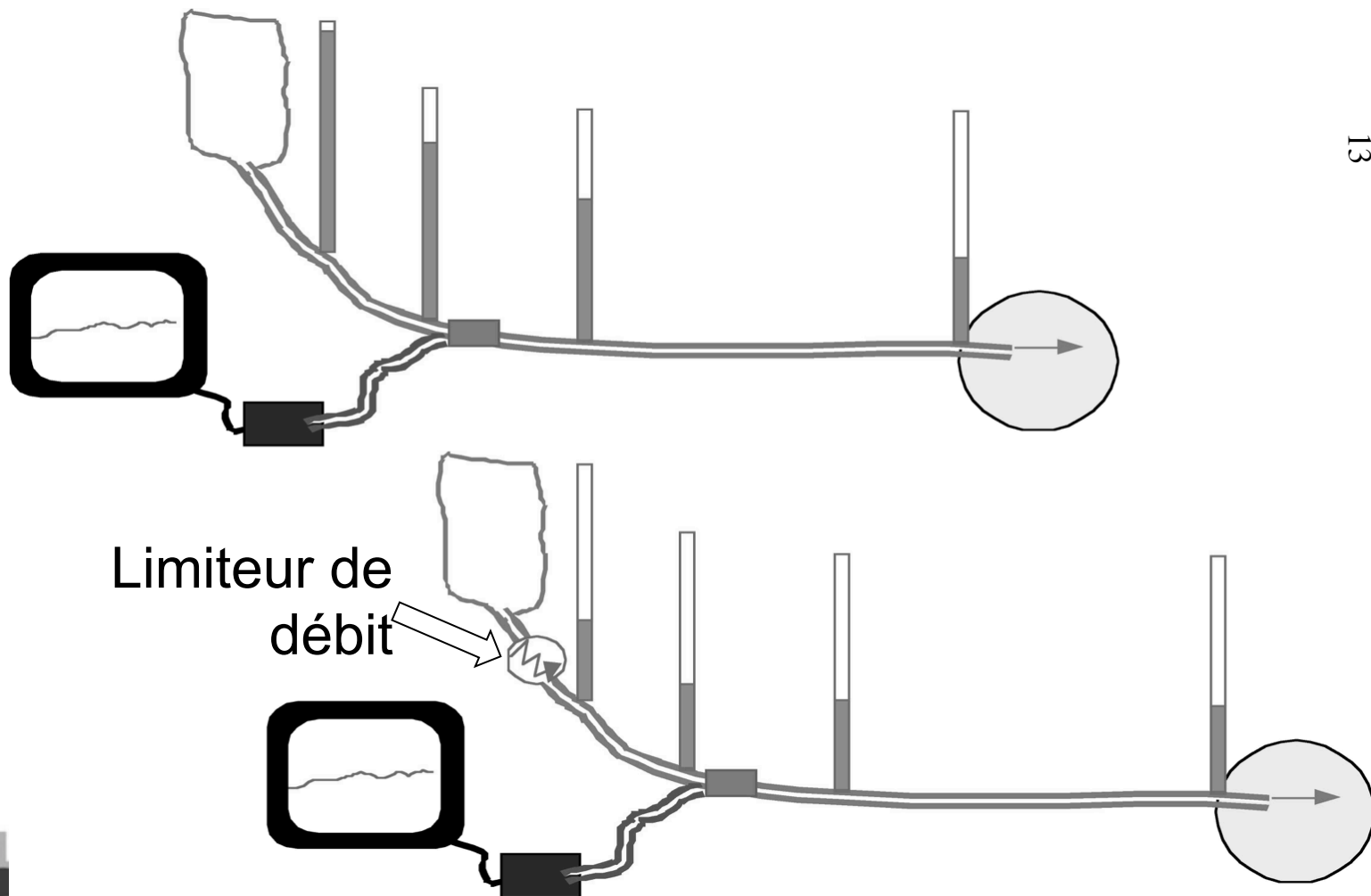
- ✓ est dépendante de la section du tube, de sa longueur, de la viscosité du fluide et du débit.
- ✓ Pour limiter au maximum la perte de charge, il faut :
  - Raccourcir les tubulures
  - Augmenter le diamètre des lumières des tubulures et surtout de la sonde
  - Utiliser de faibles débits de perfusion.
  - Utiliser un fluide à faible viscosité:  
*gaz, faible viscosité, produit de contraste viscosité élevée*



# APPLICATIONS EN URODYNAMIQUE :

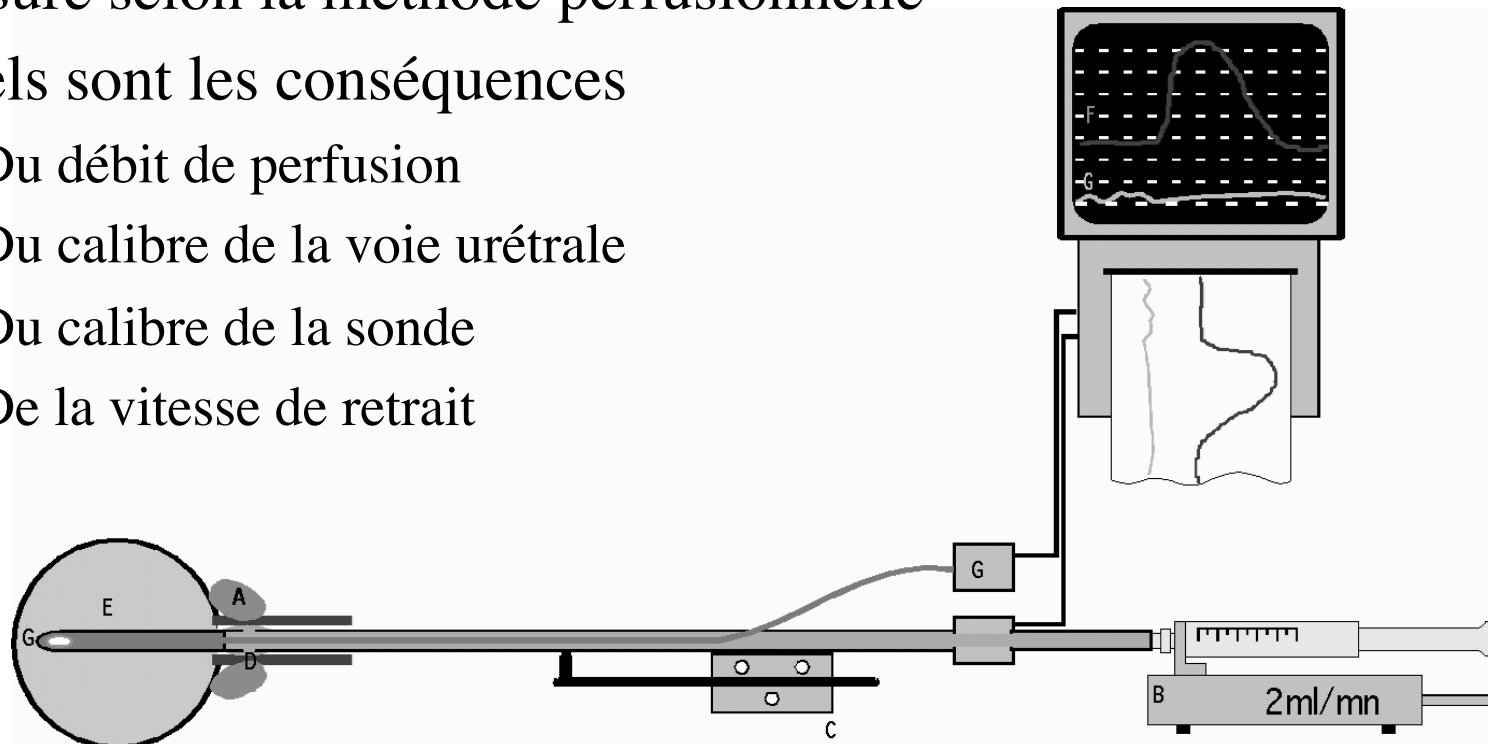
CYSTOMANOMÉTRIE 1 VOIE :

CONDITIONS : DÉBIT  $\leq 10$ ML/S



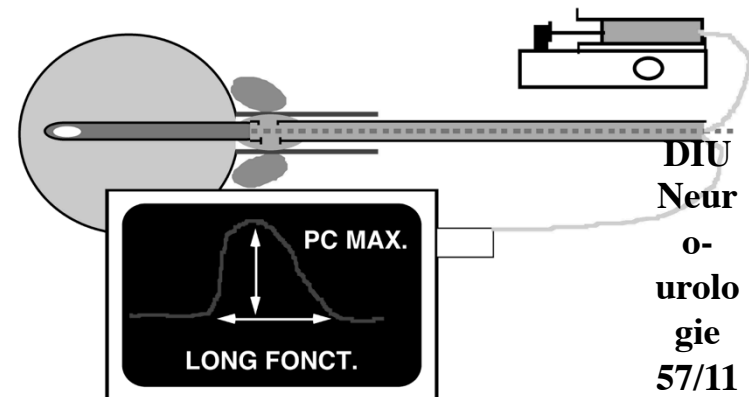
# APPLICATIONS PRATIQUES POUR LA RÉALISATION DES PROFILOMÉTRIES

- ✓ Mesure selon la méthode perfusionnelle
- ✓ Quels sont les conséquences
  - ✓ Du débit de perfusion
  - ✓ Du calibre de la voie urétrale
  - ✓ Du calibre de la sonde
  - ✓ De la vitesse de retrait



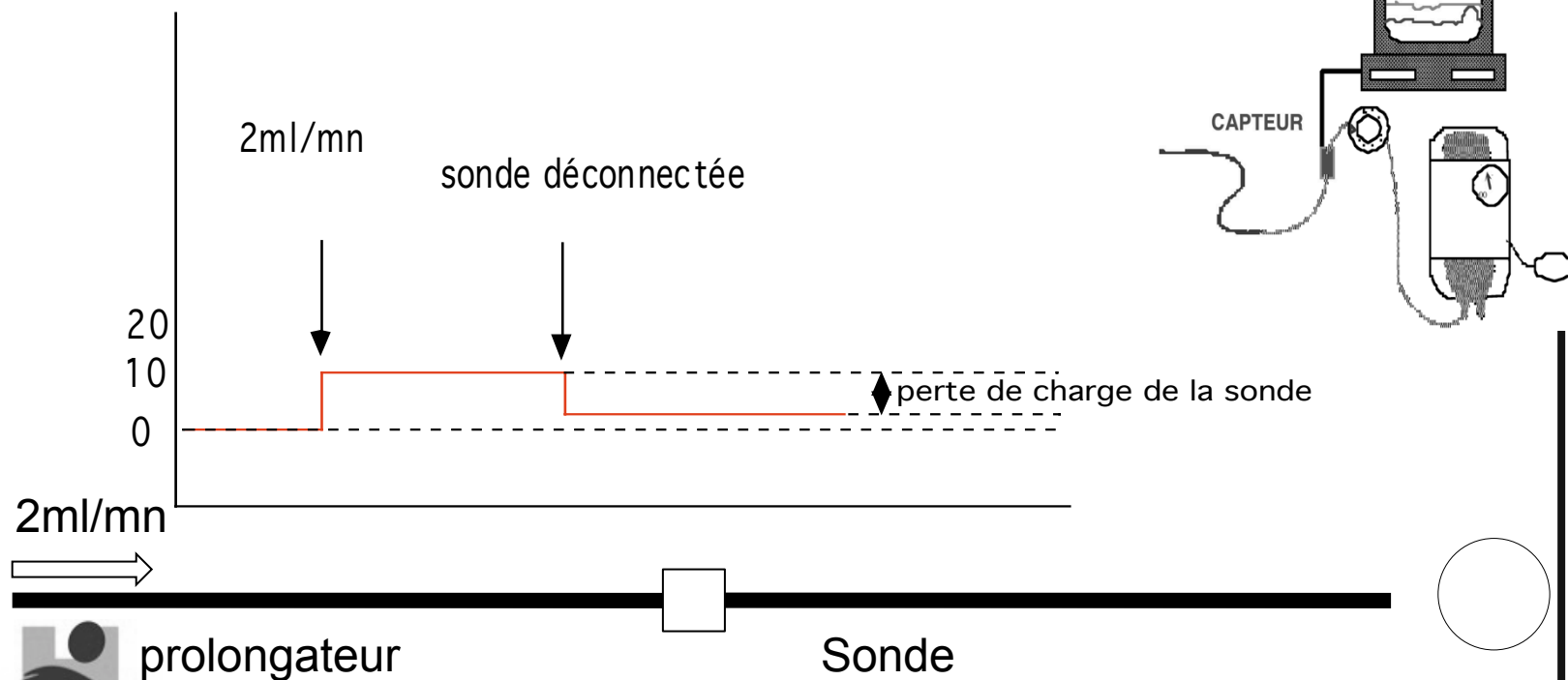
## INFLUENCE DU DÉBIT DE PERFUSION

- ✓ Un débit élevé augmente la perte de charge dans le circuit
- ✓ Mais diminue le temps de réponse : temps pour obtenir l'équilibre entre pression de perfusion / tension pariétale urétrale sur les orifices de la sonde
- ✓ **Brown & Whicham** {Brown and Wickham, 1969, Br J Urol, 41, 211-7} avaient déterminé ce débit à 2ml/mn



# INFLUENCE DU CALIBRE ET DE LA LONGUEUR DE LA VOIE URÉTRALE

- ✓ La perte de charge du circuit est dépendante
  - ✓ De son calibre (plus il est faible, plus elle augmente)
  - ✓ De sa longueur (plus elle est grande, plus elle augmente)
  - ✓ Des surfaces de frottement / de la rugosité / du fluide utilisé
- ✓ Comment mesurer la perte de charge du circuit?





# EXPÉRIMENTATION

{Le Normand et al., 1995, Prog. Urol., 980-984}

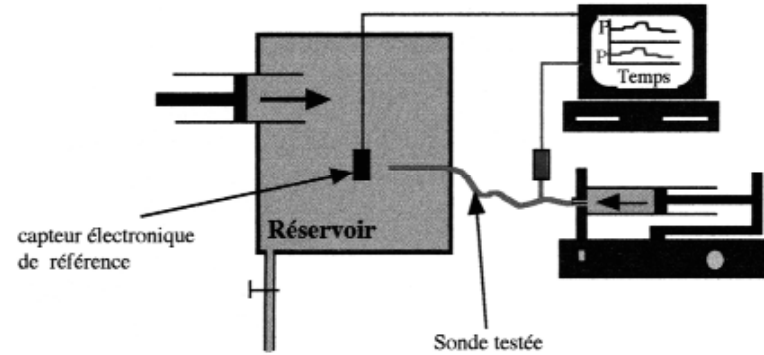
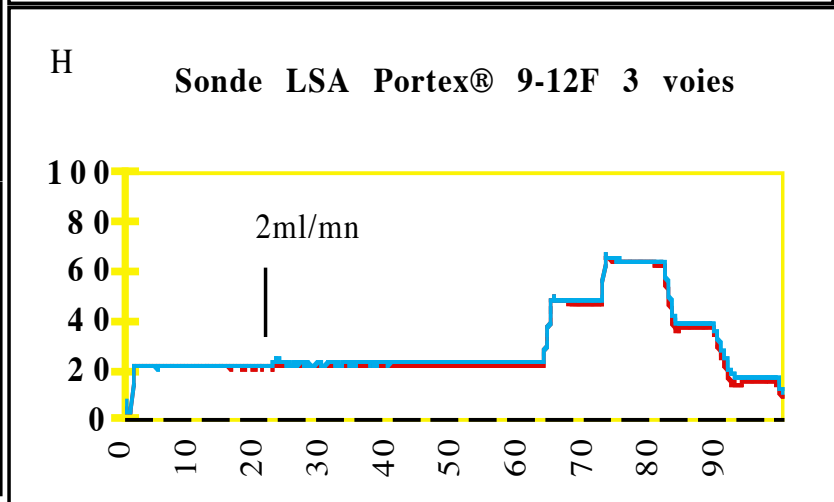
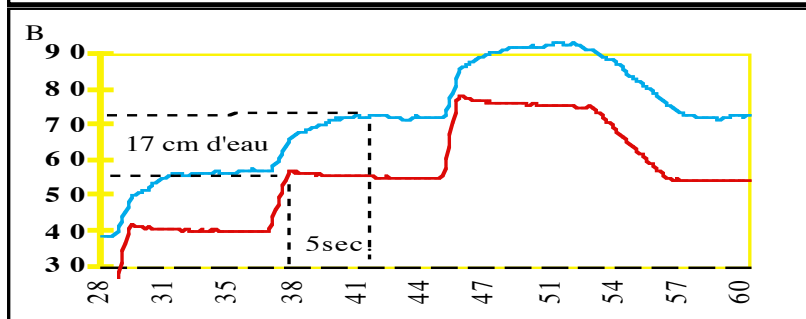
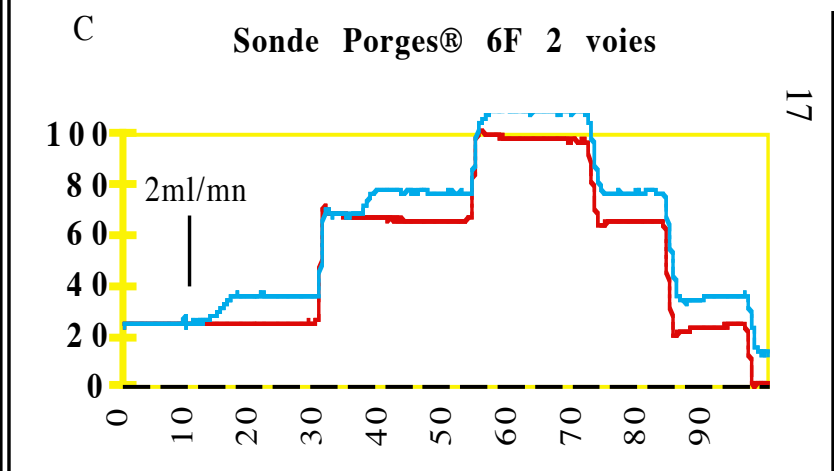
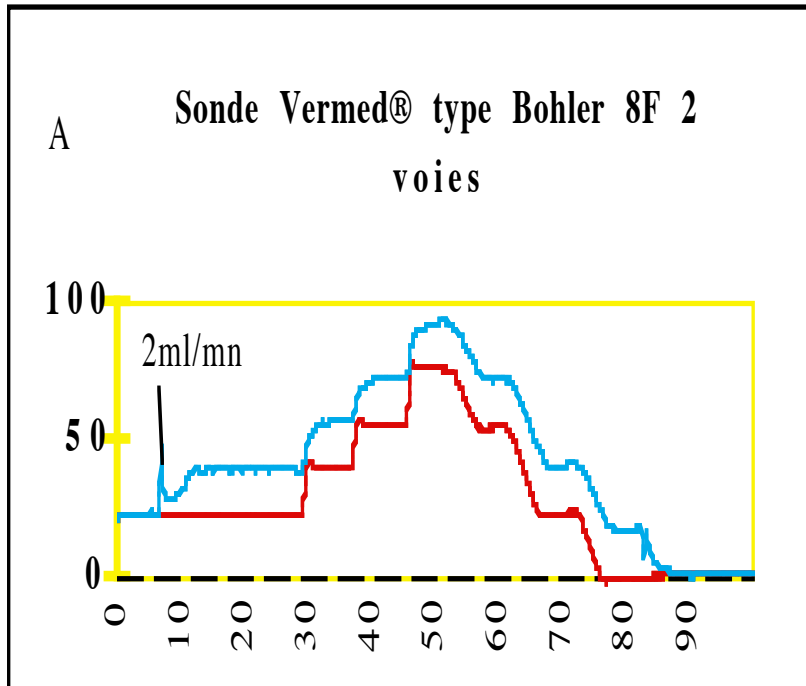


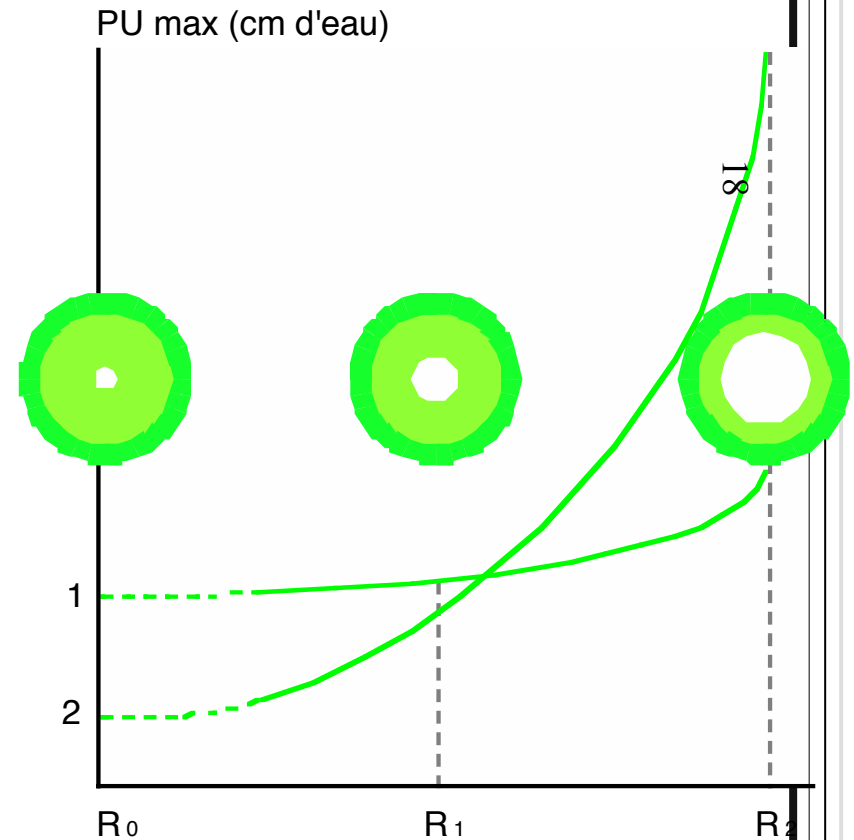
Figure 2. Schéma de principe du banc d'essai.



# INFLUENCE DU CALIBRE DE LA SONDE NOTION DE COMPLIANCE URÉTHRALE

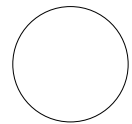
- Son calibre augmente la tension de l'urèthre sur la sonde
- Négligeable pour un urèthre normal si  $< 12F$
- Important si défaut de compliance uréthral

Il n'existe malheureusement pas de méthode validée pour mesurer la compliance uréthrale



Fibrose significative si augmentation  $> 25\%$  entre 12F et 20F

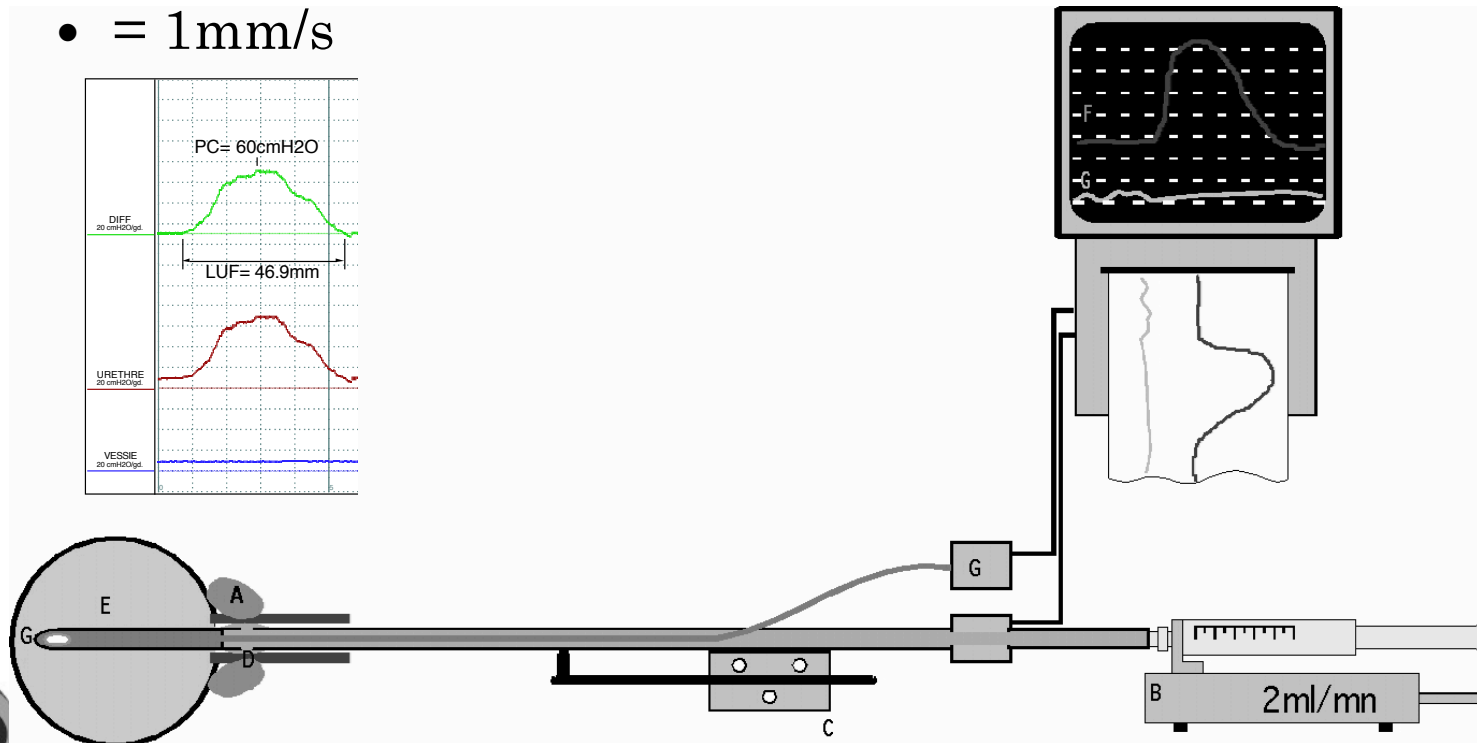
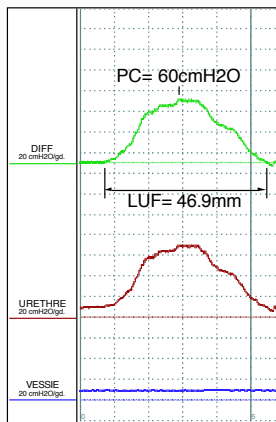
Susset, 1983



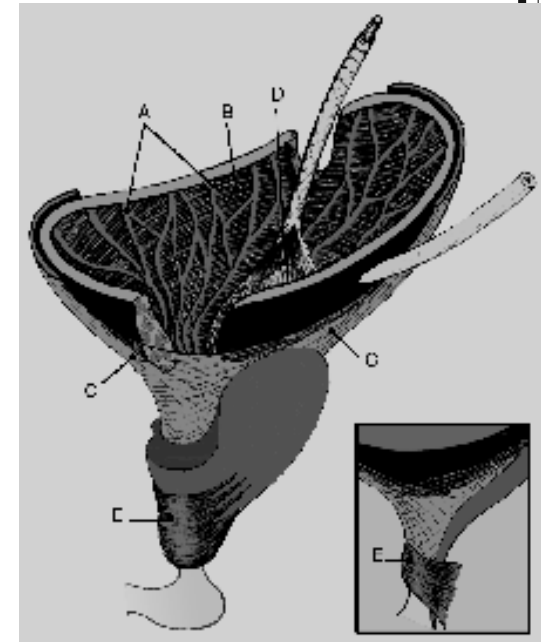
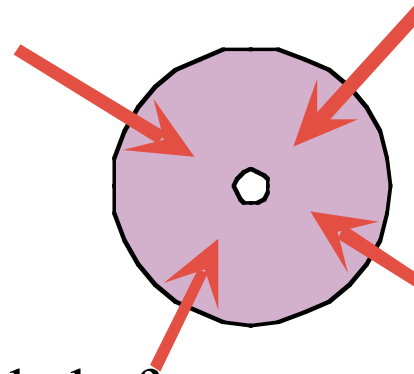
# INFLUENCE DE LA VITESSE DE RETRAIT

- Doit être étalonné pour la mesure des longueurs
- Permet de s'assurer de l'état d'équilibre en tout point de mesure

• = 1mm/s



# INFLUENCE DU NOMBRE D'ORIFICES DE SORTIE



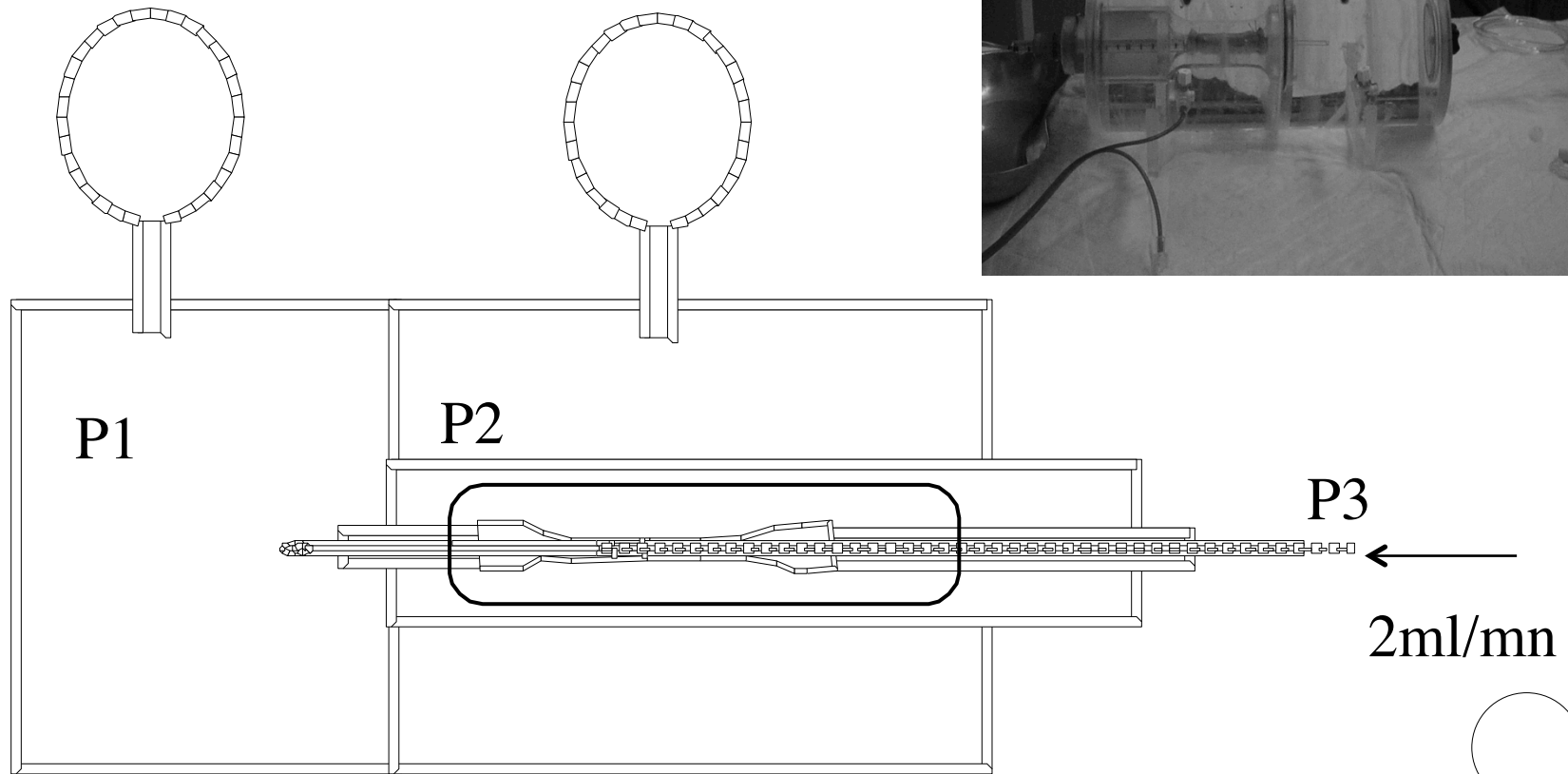
## Mesure circonférentielle de la force sphinctérienne

- La répartition des forces occlusives sphinctériennes n'est pas homogène
  - Preuves anatomiques
  - Preuves manométriques

La force occlusive efficace correspond à la partie la plus faible

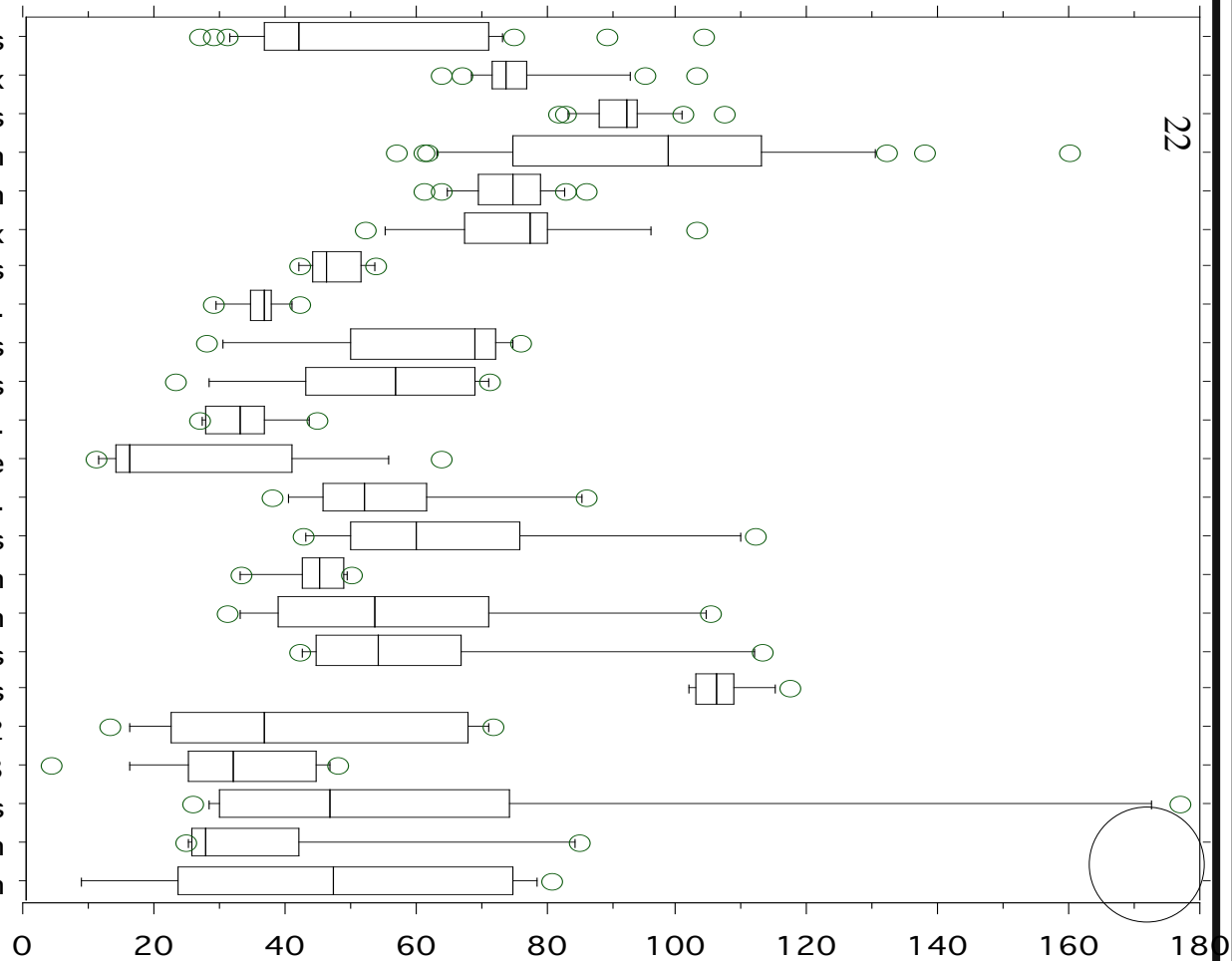
# ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Centre fédératif de pelvi-périnéologie

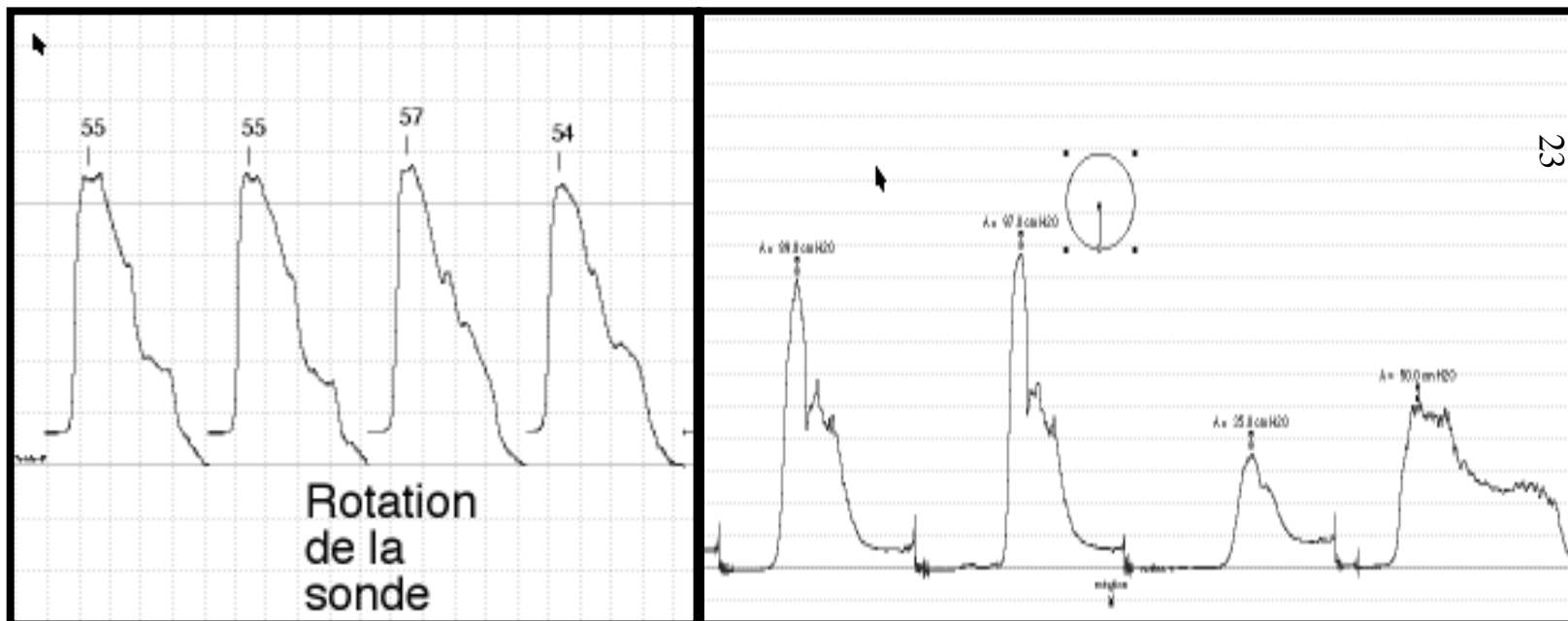


# RÉSULTATS SUR UN ÉCHANTILLON DE 11 SONDES DIFFÉRENTES (23 SÉRIES )

- Vermed 9ch 3 voies
- Porges 10Ch 2 voies Néoplex
- bohler 10 Ch 2 voies
- Sonde Porges 3 voies 10 ch
- Portex LSA 9-12 Ch
- Porges 2 voies 8 Ch Neoplex
- Bohler 10 Ch.2 voies
- LSA Portex 9-12 Ch.
- Porges 10 Ch 3 voies
- Vermed 12 ch 3 voies
- Bohler 8 Ch 2 voies.
- capteur électronique
- Porges 10 ch 3 voies.
- Porges 8 ch 2 voies
- LSA Portex 9-12 Ch
- Porges 2 voies Neoplex 10Ch
- Porges 10Ch 3 voies
- bohler 10 ch. 2 voies
- capteur électronique.2
- capteur électronique.3
- Vermed 7 Ch 3 voies
- Porges 2 voies neoplex 8 Ch
- Vermed 3 voies 9 ch



LA MESURE EFFECTUÉE AVEC UNE SONDE AYANT PLUSIEURS ORIFICES EST UNE MESURE REPRODUCTIBLE CONTRAIREMENT À CELLES N'AYANT QU'UN SEUL ORIFICE LATÉRAL



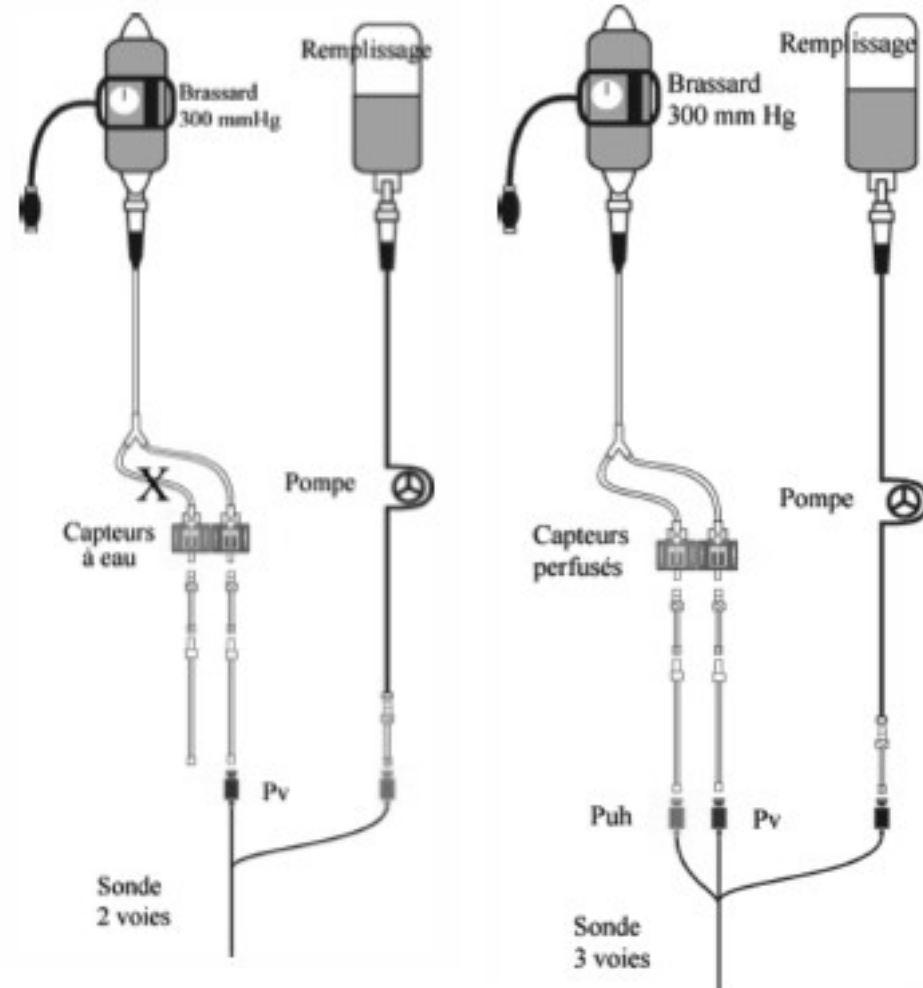
Ex : Bohler 10 Ch 2 voies  
4 orifices

Ex : 9ch 3 voies  
1 orifice



## SONDE 2 OU 3 VOIES?

- Une sonde 3 voies n'est utile que pour un enregistrement simultané des pistes vésicales et uréthrales au cours de la cystomanométrie



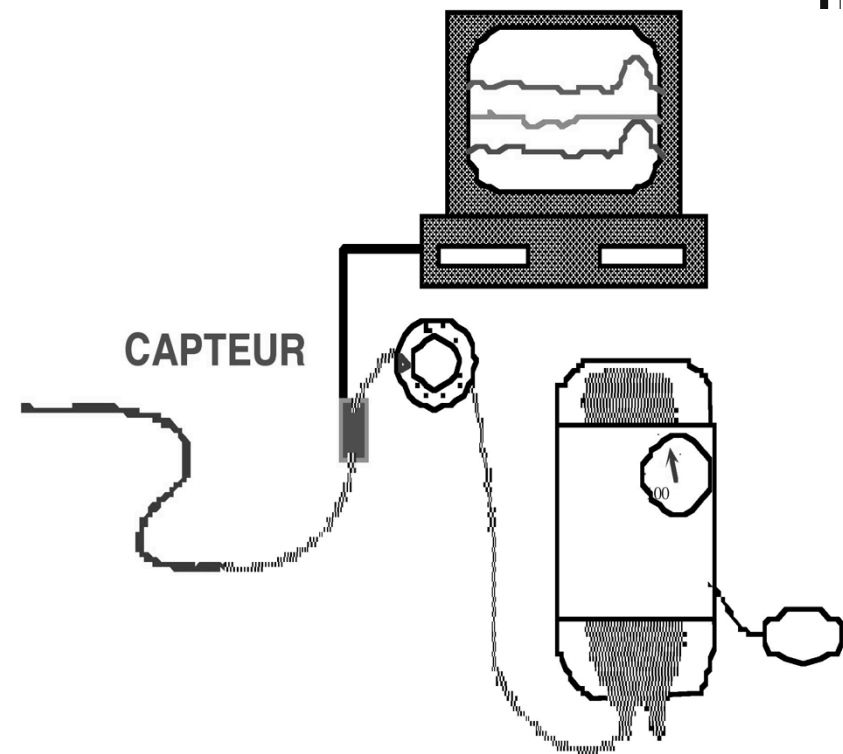


# LE PRINCIPE DU PERFUSEUR SOUS PRESSION

- ✓ La pression du brassard est largement supérieure à la pression mesurée

300 mmHg = 407 cm d'eau

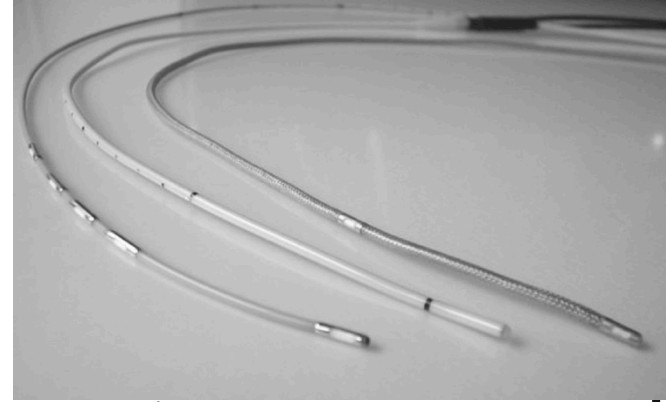
- ✓ La régulation du débit est assurée par une importante perte de charge
- ✓ Facteurs influençant la mesure:
  - Pression dans la poche :  $\pm$  hauteur
  - Autres pertes de charge : sonde, tubulures et pression urétrale



# AUTRES MÉTHODES DE MESURE : LES SONDES À CAPTEURS ÉLECTRONIQUES

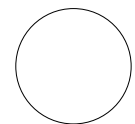
## ○ Avantages:

- Pas de problème de purge
- Pas de tubulures
- Pression directement mesurée dans la vessie



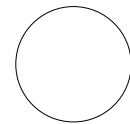
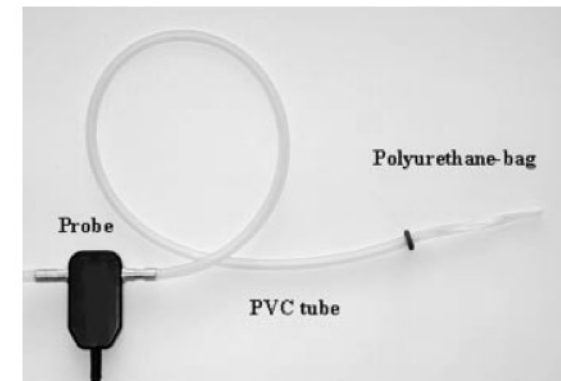
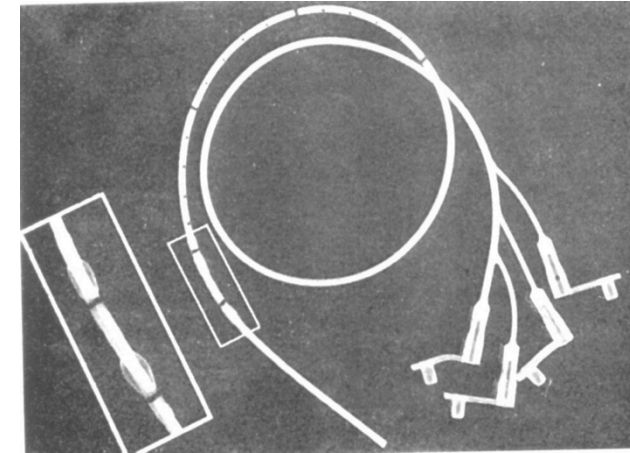
## ○ Inconvénients

- Pas de voie de remplissage (2e sonde)
- Capteur de profilométrie latéral
- Rigide
- Coûteux et fragile
- Décontamination : quasiment abandonnés

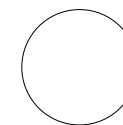
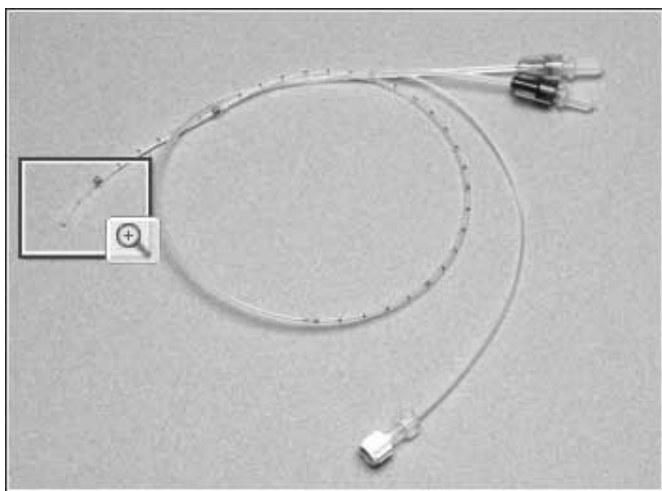
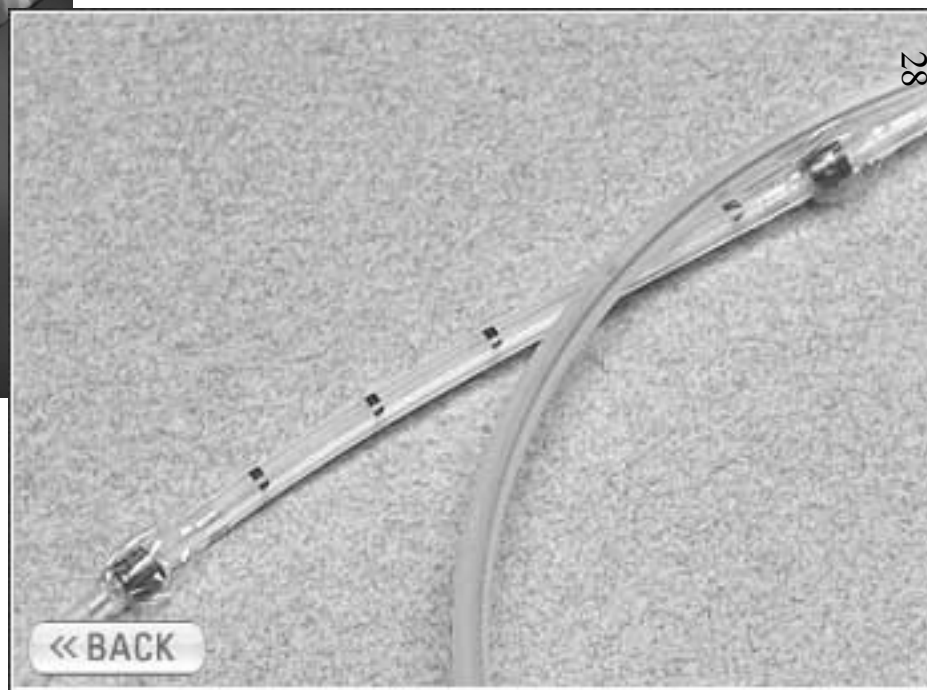


# AUTRES MÉTHODES DE MESURE DE LA PROFILOMÉTRIE

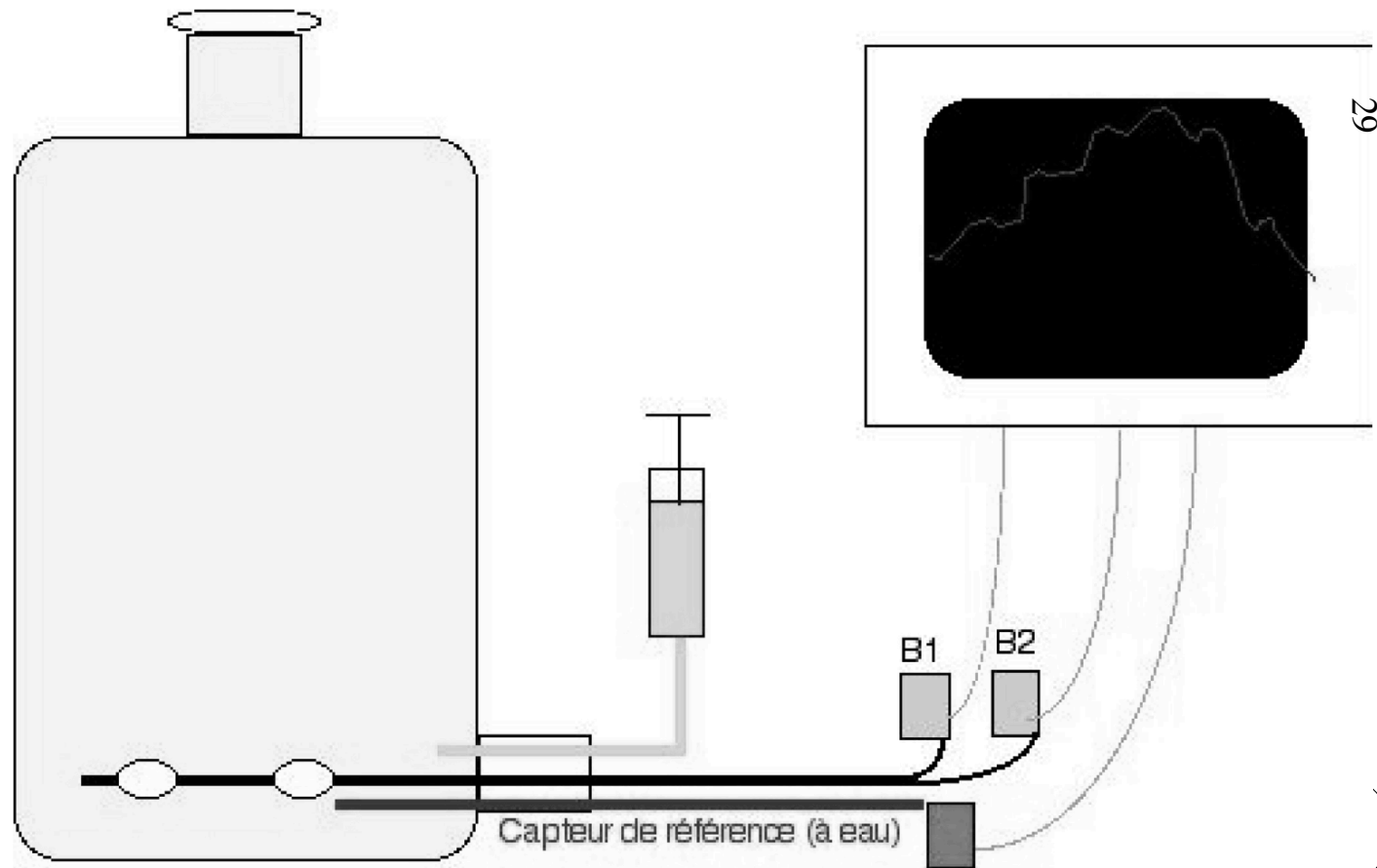
- Cathéters à ballonnets à eau
  - Ne sont plus fabriqués actuellement
  - Mesurent une tension circonférentielle
  - Inconvénients
    - Difficiles à étalonner
    - Difficiles à Purger
    - Mesurent une tension sur une grande surface
- Réflectométrie
  - Mesure la pression d'ouverture
  - L'aire de section urétrale et l'élastance
- Cathéters à ballonnets à air (Tdoc®)
  - Doutes quand à la fiabilité de la mesure



# SONDES TDOC® À BALLONNETS À AIR



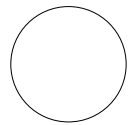
# ETUDE : PREMIER TEMPS MESURES HYDROSTATIQUES



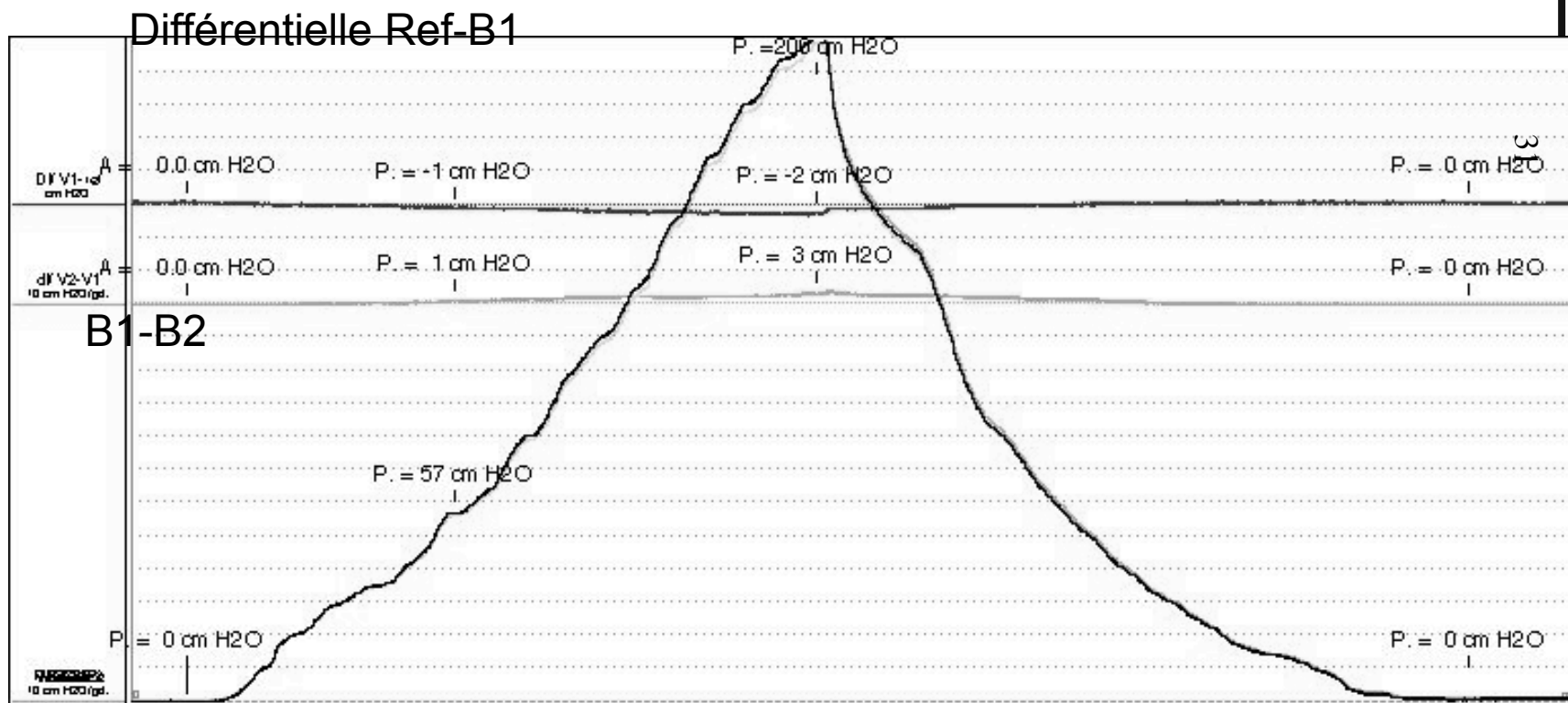
Centre fédératif de pelvi-périnéologie



CENTRE HOSPITALIER  
UNIVERSITAIRE DE NANTES



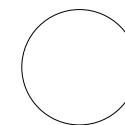
# RÉSULTATS : LA PRÉCISION EST BONNE EN MESURE HYDROSTATIQUE



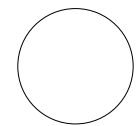
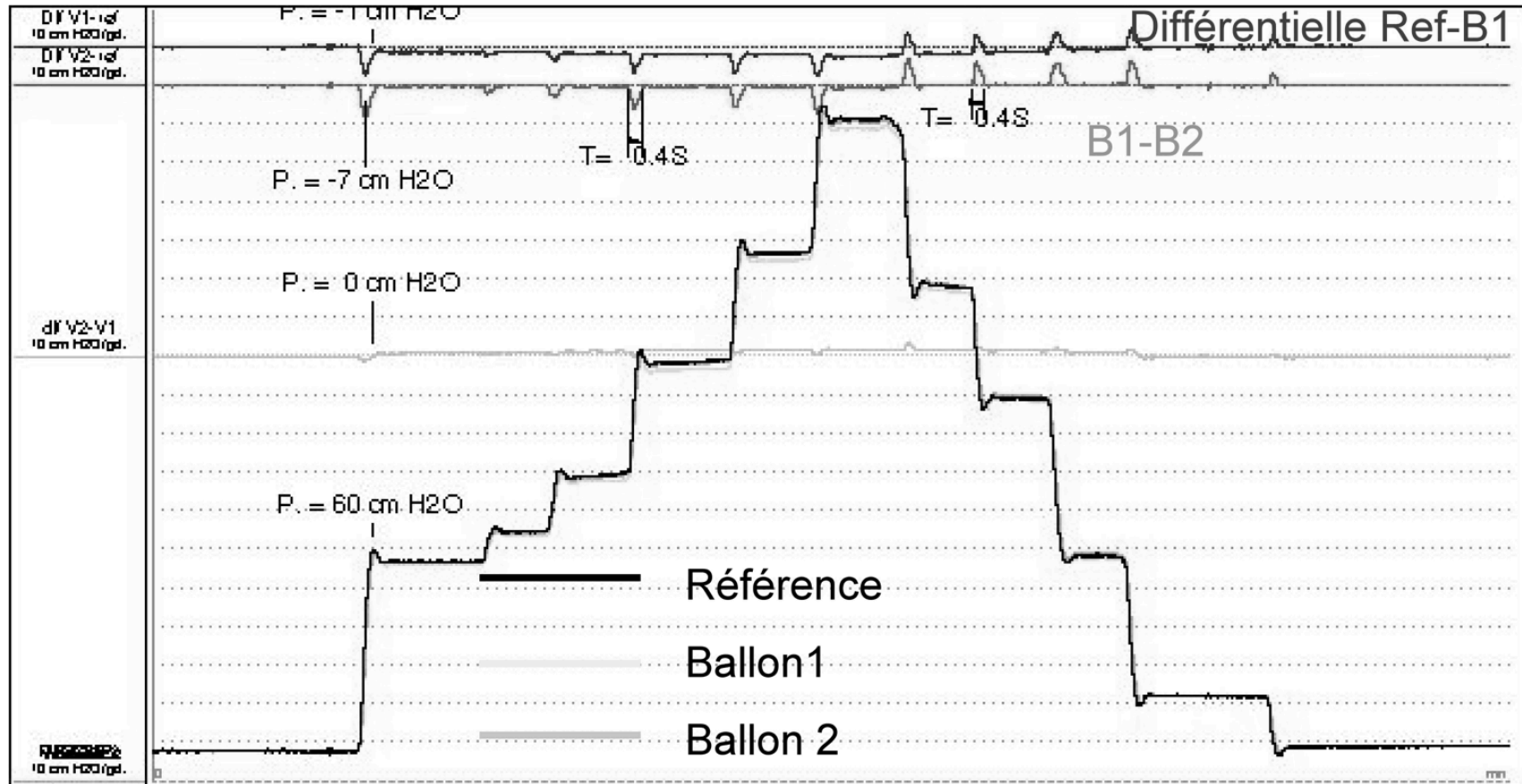
Centre fédératif de pelvi-périnéologie



- Référence
- Ballon 1
- Ballon 2

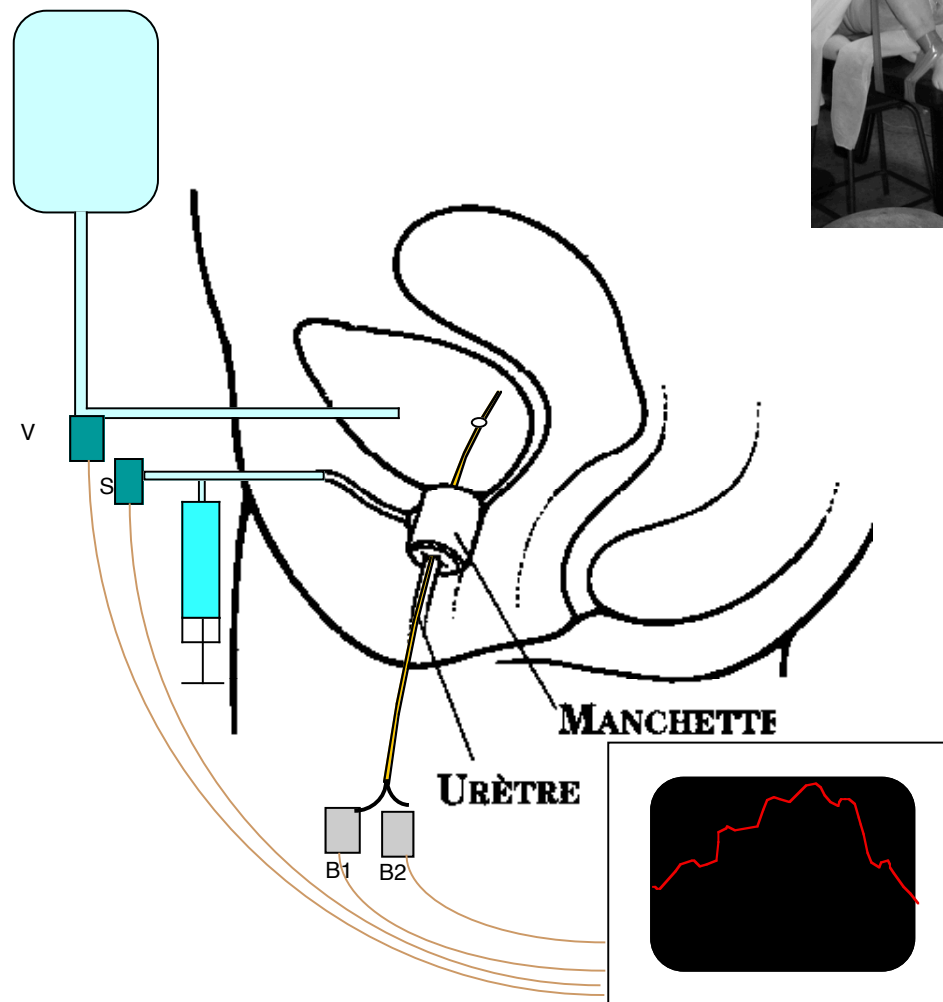
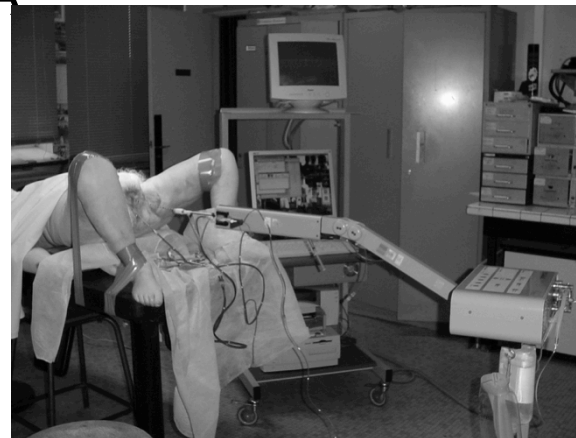


# CALCUL DU TEMPS DE RÉPONSE

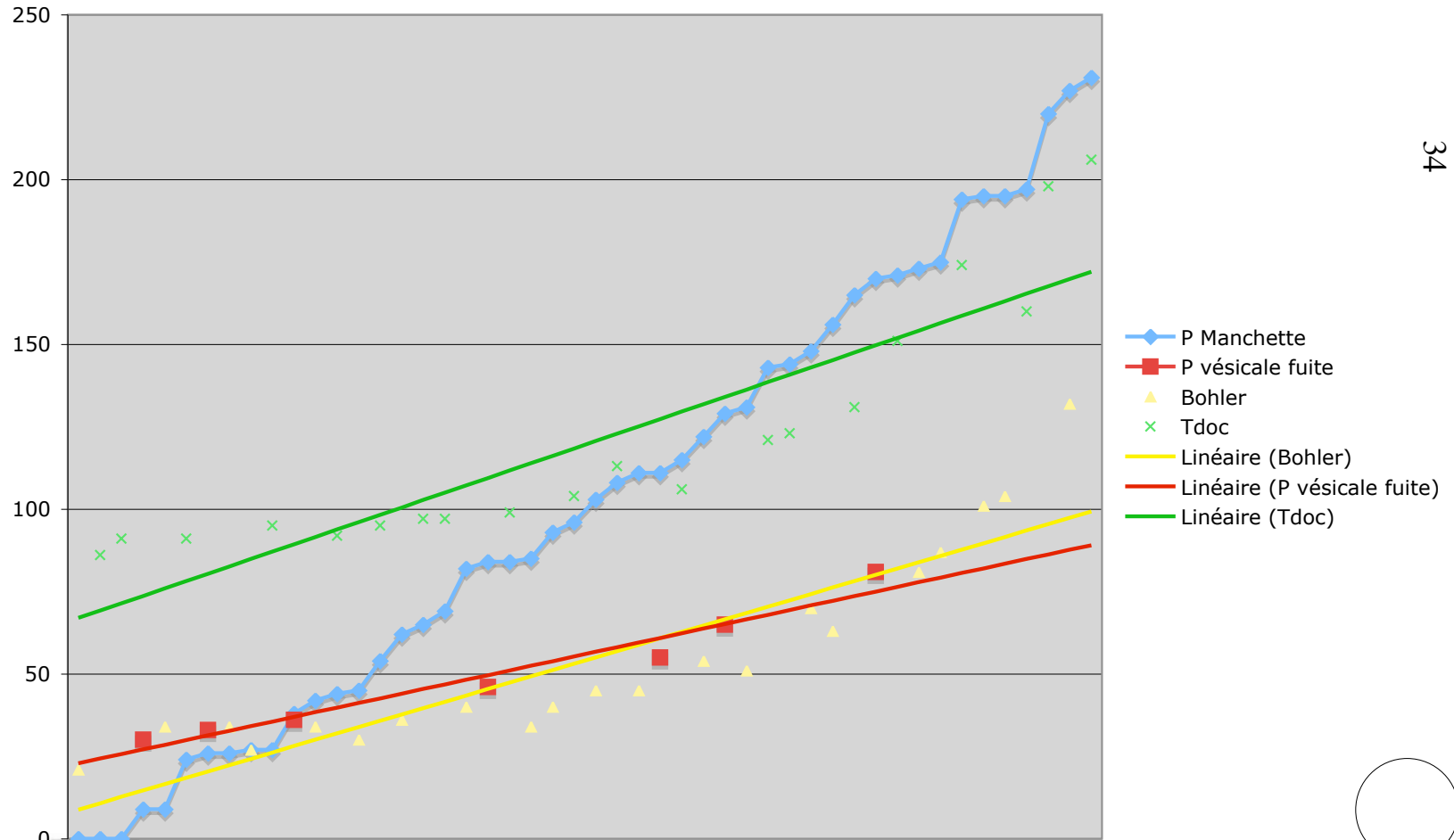




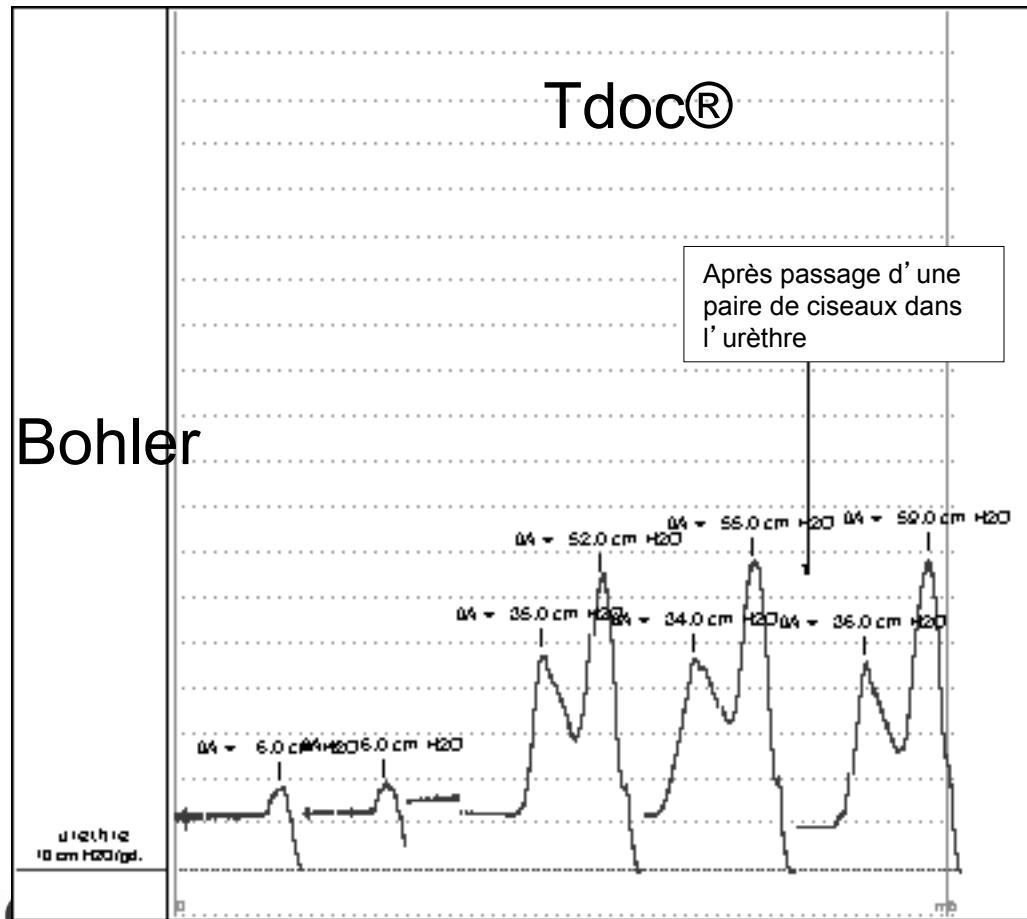
# DEUXIÈME TEMPS : ÉVALUATION DE LA PROFILOMÉTRIE : SUR CADAVRE



# SONDES TDOC® À BALLONNETS À AIR



# PRESSION SANS SPHINCTER



## LA MESURE DU DÉBIT MICTIONNEL

- Objectif : mesurer la variation au débit au cours de la miction : mesure débit/temps
- Les débitmètres actuels sont de 2 types
  - Pesée électronique
  - Disque rotatif
- Caractéristiques attendues du débitmètre

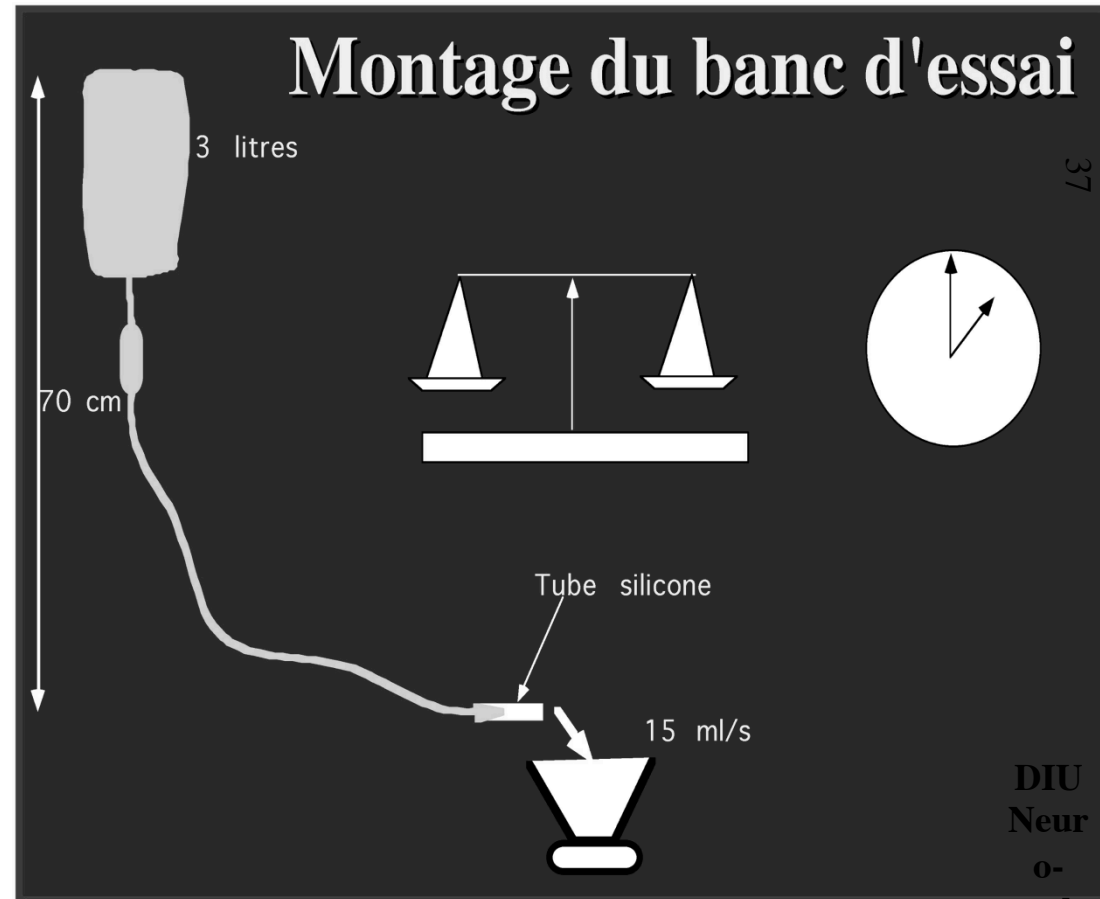
C'est un appareil de mesure qui doit être

  - Fiable
  - Précis
  - Informatif



# TESTER SON DÉBITMÈTRE

- Obtenir un débit constant dans la zone de mesure clinique
- Poche de sérum de 3 litres
- Système de perfusion de gros diamètre pour irrigation vésicale  
Poche situé à environ 70 cm au dessus du débitmètre



DIU  
Neur  
o-  
urol  
gie  
57/11  
/10



## LES TESTS

### ○ Débit constant

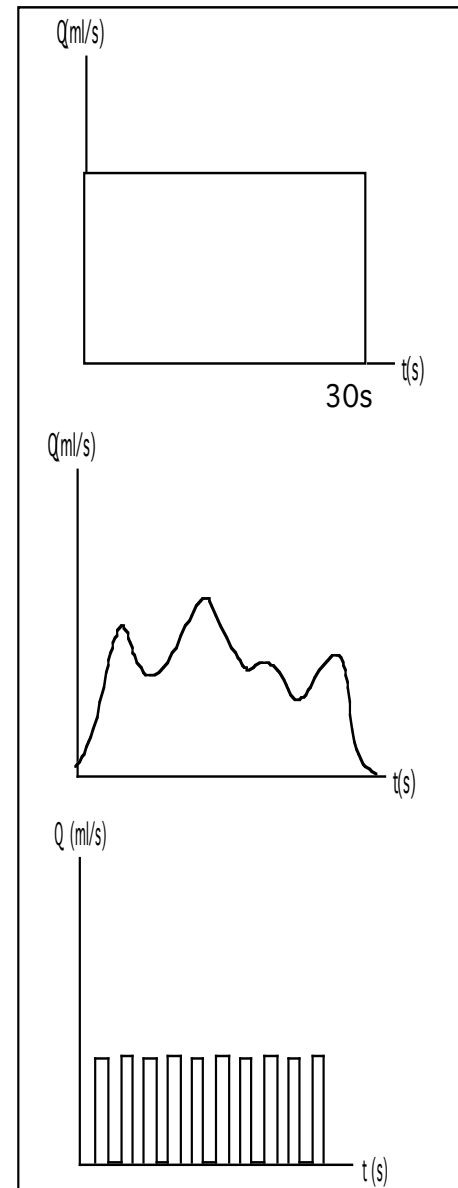
sur 30 secondes : vérifier le débit au niveau du plateau avec celui calculé :  $\text{volume}/30$

### ○ Débit variable

verser une quantité d'eau connue avec des débits variables: vérifier le volume mesuré

### ○ Signal carré

en interrompant le flux brutalement au niveau du tube de silicone et ce, avec une fréquence de plus en plus élevée.

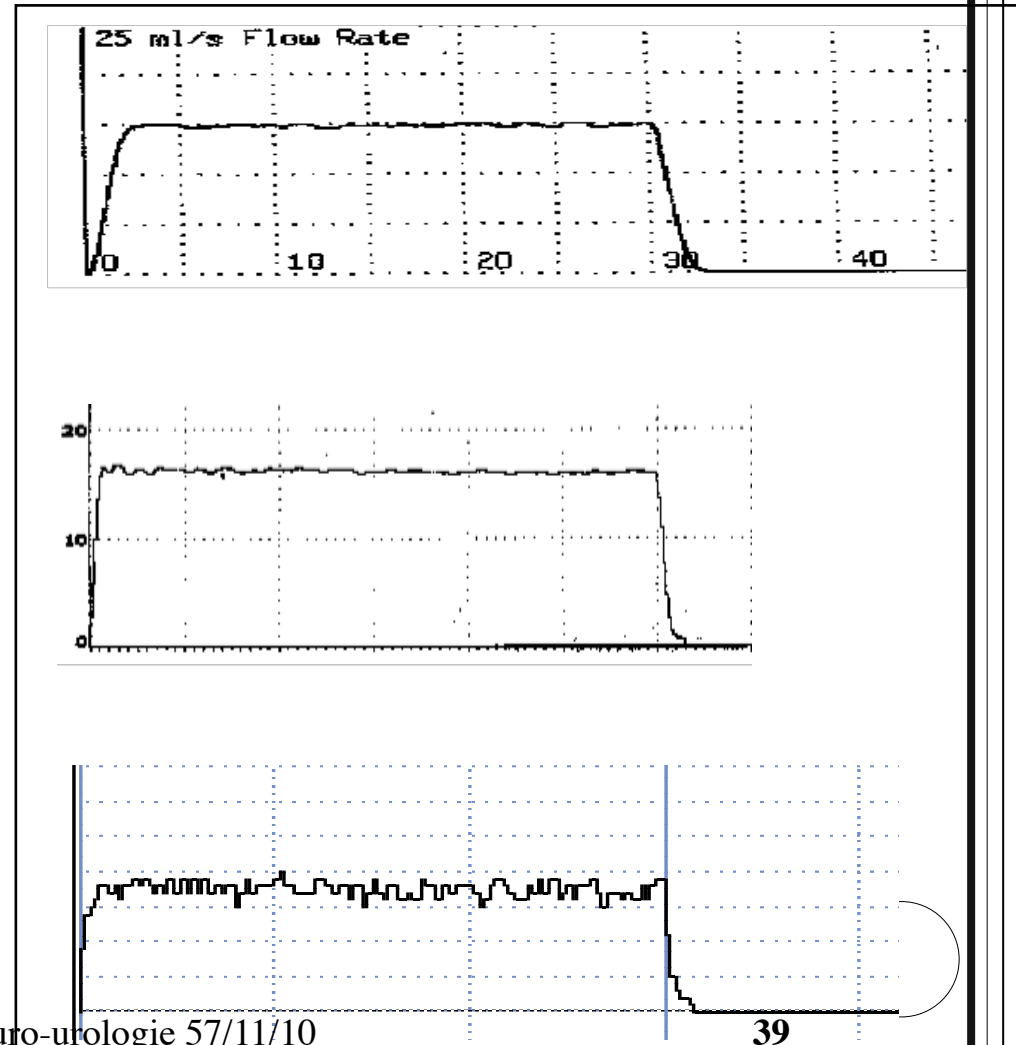


# QUELQUES EXEMPLES

Temps de miction : 32s (théorique 30s)  
Débit plateau 15 ml/s (théorique 14,5ml/s)  
Débit Moyen :  $13,8 \text{ ml/s} * 32\text{s} = 442$   
Volume calculé par le débitmètre : 448 ml  
(volume mesuré = 435ml)

Temps de miction : 31,5 (théorique 30s)  
Débit plateau 16ml/s (théorique: 14,8)  
Débit moyen  $15,5 * 31,5 = 488$   
Volume calculé par le débitmètre : 490ml (mesuré:  
445ml)

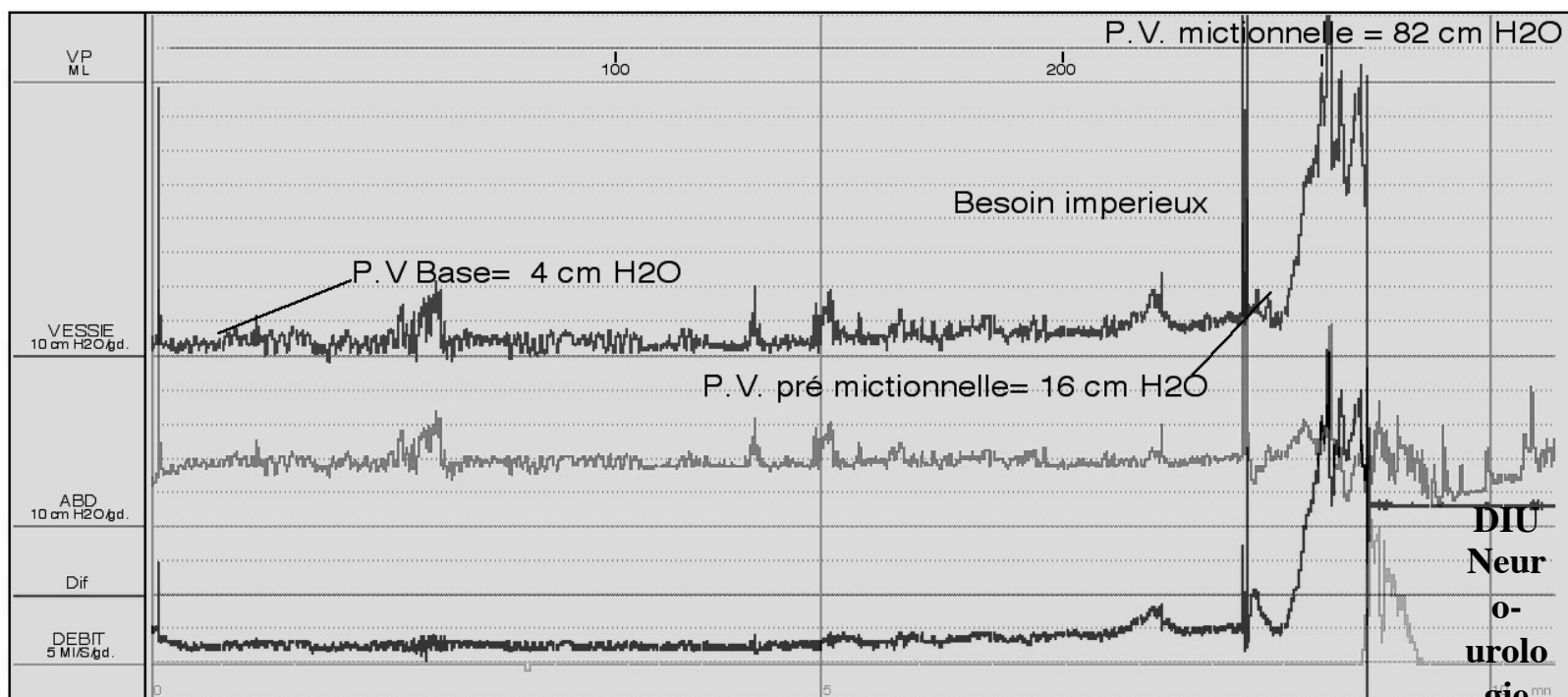
Temps de miction : 31,8 (théorique 30s)  
Débit plateau 18ml/s (théorique: 18) mais très  
irrégulier  
Débit moyen  $16,9 * 31,8 = 537$   
Volume calculé par le débitmètre : 535ml (mesuré:  
540ml)



# MESURE DE LA PRESSION ABDOMINALE

- Indispensable pour l'interprétation de la voie vésicale

40





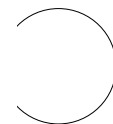
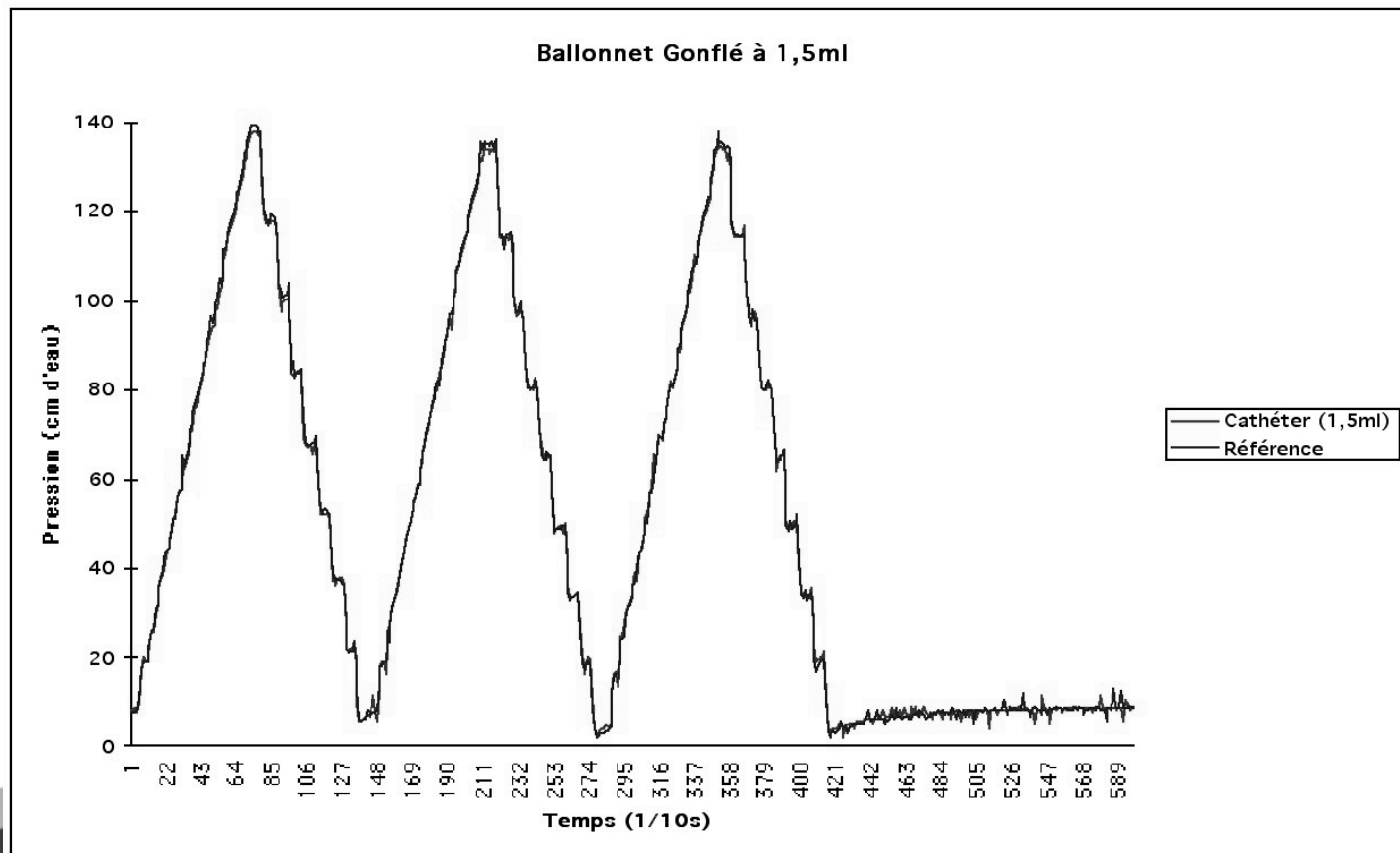
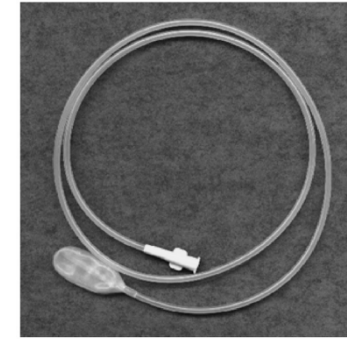
# MESURE DE LA PRESSION ABDOMINALE

- Indispensable pour l'interprétation de la voie vésicale
- En fait mesure de la pression rectale
  - Cathéter perfusé = même principe que la profilométrie
    - Fiable
    - Mais souvent mal toléré
    - Nécessite un système de perfusion séparé
  - Ballonnet à eau
    - Fiable si bien purgé (difficile en pratique)
  - Ballonnet à air
    - Vérifier sa fiabilité



# BALLONNET À AIR

- Facile d'emploi, pas de perfusion, fiable



# IDÉES DE RECHERCHE POUR LES EXPLORATIONS URODYNAMIQUES

- Mesure de la compliance urétrale
- Fiabiliser la mesure de la profilométrie
- Faire un modèle fiable de simulation d'un appareil sphinctérien pour tester les méthodes de mesure.
- Miniaturiser les capteurs : nanotechnologies
- Transmissions de données par RFID
- Techniques non invasives de mesures de pression et volumes

