



PCEM2

THÈME X L'APPAREIL EXCRÉTEUR

ANNÉE UNIVERSITAIRE **2016-2017**

www.fmt.rnu.tn

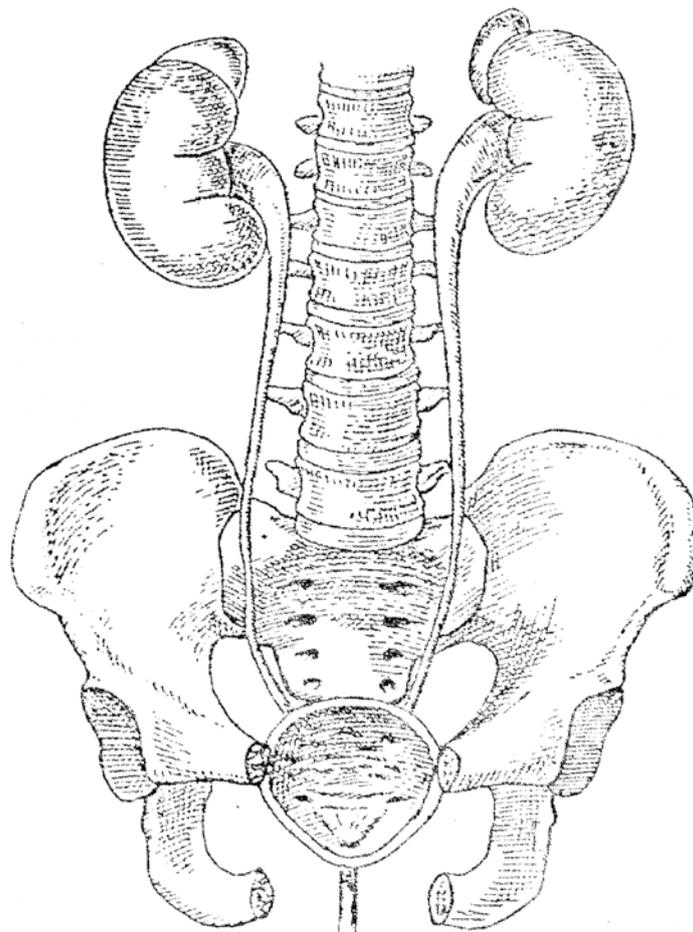
PLAN

ANATOMIE	3
La région rétro péritonéale médiane	4
La loge latéroviscérale	11
La loge rétrorectale	13
La région rétropéritonéale latérale	15
Les reins	16
Les glandes surrénales	20
L'uretère abdominal	23
La vessie	26
L'urèthre masculin	30
L'urèthre féminin	32
HISTOLO-EMBRYOLOGIE	33
Histologie de l'appareil urinaire	34
Embryologie de l'appareil urinaire	48
PHYSIOLOGIE	61
Relation structure fonction	64
La filtration glomérulaire	66
Les fonctions tubulaires	73
Concentration des urines	78
La miction	81
Régulation de l'équilibre acido-basique	82

PCEM2

ANATOMIE

L'APPAREIL EXCRÉTEUR URINAIRE



LA REGION RETRO PERITONEALE MEDIANE

A. INTRODUCTION :

Située devant le rachis lombaire, la région rétropéritonéale médiane constitue une importante voie de passage pour les gros vaisseaux qui descendent dans le pelvis ou qui remontent vers le thorax, accompagnés par l'axe lymphatique et par les chaînes nerveuses du système sympathique.

B. LIMITES :

1. EN HAUT :

La face inférieure du diaphragme et les orifices qui le traversent.

2. EN BAS :

De façon conventionnelle, l'articulation lombo-sacrée, que repère la saillie du promontoire.

3. LATÉRALEMENT :

Également de façon conventionnelle, un double plan sagittal passant par le sommet des processus transverses.

4. EN AVANT :

Le péritoine pariétal postérieur et la masse des viscères intrapéritonéaux.

5. EN ARRIÈRE :

Le plan osseux des deux dernières vertèbres dorsales, et celui des cinq vertèbres lombaires, séparées par le relief convexe des disques intervertébraux.

Deux sortes de formations fibreuses tapissent la face antérieure du rachis dorso-lombaire.

- Le ligament vertébral commun antérieur ou ligament longitudinal antérieur.
- Les piliers du diaphragme :
 - Les piliers principaux sont asymétriques, le droit, plus épais, descendant jusqu'à la 3^{ème} vertèbre lombaire, alors que le gauche ne dépasse pas la 2^{ème} lombaire.
 - Les piliers accessoires, plus grêles et plus variables, sont conditionnés par le passage des nerfs splanchniques, ils montent en dehors des piliers principaux, depuis la 2^{ème} lombaire jusqu'au bord postérieur du centre phrénique.

C. CONTENU :

Dans la région rétropéritonéale médiane circulent :

- Les gros vaisseaux : aorte et veine cave inférieure,
- Les formations lymphatiques,
- Les chaînes et les plexus nerveux sympathiques.

1. AORTE ABDOMINALE :

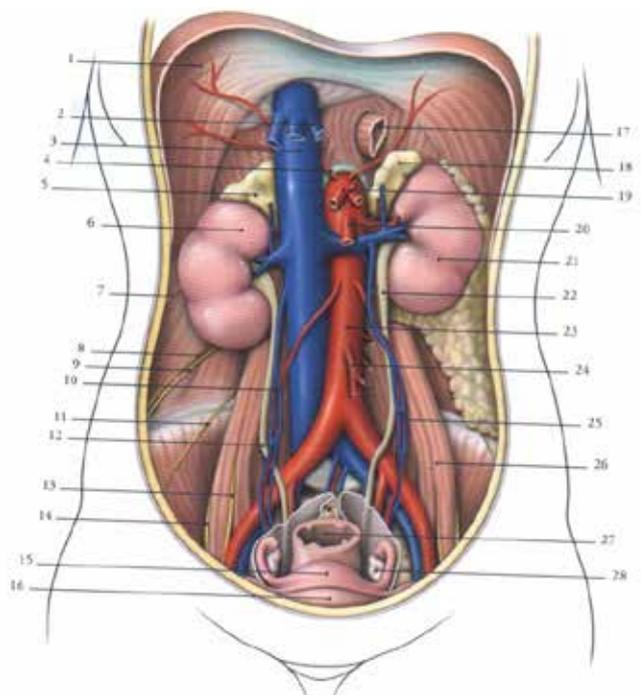
L'aorte abdominale est la partie terminale de l'aorte descendante (aorte thoracique).

Elle est fréquemment atteinte, chez le sujet âgé, par des phénomènes de surcharge athéromateux.

A. TRAJET :

Elle naît au niveau de l'hiatus aortique, en regard du bord inférieur du corps de D12. Elle descend verticalement, à gauche de la ligne médiane jusqu'à L4 ou elle se termine en trois branches : deux branches volumineuses, les artères iliaques communes droite et gauche, et une branche grêle, l'artère sacrée moyenne.

Elle peut être paramédiane droite ou paramédiane gauche.



B. DIMENSIONS :

Elle est cylindrique, avec un calibre de 20 à 30 mm. La longueur est de 15 à 18 cm et l'épaisseur de sa paroi est de 1,5 mm environ.

C. BRANCHES COLLATÉRALES :

L'aorte abdominale donne des branches pariétales, à disposition segmentaire, et des branches viscérales, impaires et médianes ou paires et latérales.

• Branches pariétales :

* *L'artère diaphragmatique ou phrénique inférieure* : paire et symétrique, elle naît de la face ventrale de l'aorte au niveau de son émergence de l'hiatus aortique :

–Trajet : elle se dirige obliquement en haut, en dehors et en avant, contre les piliers du diaphragme pour se terminer à la face inférieure du diaphragme en deux rameaux principaux, médial et latéral.

–Branche collatérale : l'artère surrénale supérieure.

* *Les artères lombaires* : au nombre de 5 artères paires, elles naissent de la face postérieure de l'aorte abdominale pour les quatre premières et de l'artère sacrée moyenne, pour la cinquième

–Trajet : elles se portent latéralement contre le corps des vertèbres lombaires, en arrière du tronc sympathique, puis dans l'intervalle des processus transverses pour se terminer dans la paroi abdominale.

–Branches collatérales : en regard des foramens intervertébraux, chaque artère donne un rameau dorsal pour les muscles et la peau du dos et un rameau spinal, qui pénètre dans le canal rachidien.

• Branches viscérales :

* *Le tronc coéliqua* : il naît de la face antérieure de l'aorte, immédiatement au-dessous des artères diaphragmatiques, à la hauteur de D12-L1.

Après un court trajet (10 à 30 mm) descendant, il se divise de façon très variable en 3 terminales :

–artère coronaire stomacique ou gastrique gauche

–artère splénique

–artère hépatique commune

* *artères capsulaires moyennes ou surrénales moyennes* : elles naissent à la hauteur de L1, abordant le bord interne de chaque glande surrénale.

* *Artère mésentérique supérieure* : de gros calibre à l'origine (8 à 9 mm), à la face antérieure de l'aorte, à la hauteur du disque L1-L2, à 10 au-dessous tronc coéliqua.

* *Artères rénales* : naissent des faces latérales de l'aorte, un peu au-dessous de la mésentérique supérieure, à la hauteur du disque L1-L2 ou de la moitié supérieure de L2.

* *Artères génitales au gonadique* : naissent de la face antérieure de l'aorte, un peu au-dessous des rénales, à la hauteur de L2

–Chez l'homme : L'artère spermatique

–Chez la femme : L'artère ovarique

* *Artère mésentérique inférieure* : naît de la face antérieure de l'aorte un peu à gauche de ligne médiane, à 5 cm au-dessus de la bifurcation aortique, à la hauteur du disque L2-L3 ou du corps de L3.

D. BIFURCATION DE L'AORTE :

Est formée par les deux terminales principales de l'aorte, les artères iliaques

primitives : elle est désignée en chirurgie sous le nom de « carrefour aortique ».

• **Situation** : Plaquée contre la partie basse du rachis lombaire, elle se projette le plus souvent sur le corps de L4 ou sur le disque L4-L5 ; elle est toujours plus haute chez les surjets jeunes (parfois L3). Sur la paroi abdominale, elle correspond approximativement à l'ombilic.

• **Angle d'ouverture** : L'angle sous aortique d'écartement des artères iliaques est de 60 ° à 70 °.

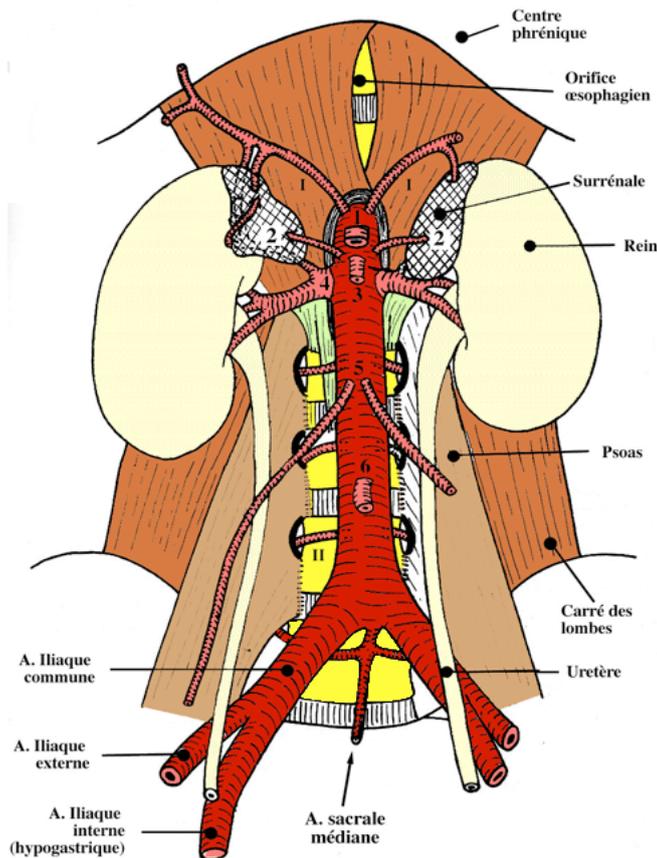
E. BRANCHES TERMINALES :

* **Artères iliaques primitives ou iliaques communes** formant avec l'aorte un Y à l'envers, elles se dirigent en bas, en avant et en dehors, et se divisent en :

–Artère iliaque externe

–Artère iliaque interne

BRANCHES DE L'AOORTE ABDOMINALE



I - Artères phréniques inférieures
II - Artères lombales

1 - Tronc cœliaque
2 - A. surrénale moyenne
3 - A. mésentérique supérieure
4 - A. rénale
5 - A. génitale
6 - A. mésentérique inférieure

Schéma 17 : Aorte abdominale

* **Artère sacrée moyenne ou sacrée médiane** : grêle et médiane, continuant la direction de l'aorte, elle naît au sommet de la bifurcation un peu en arrière, puis elle franchit le promontoire et descend sur la ligne médiane jusqu'au coccyx. Dans son trajet, elle donne de chaque côté la 5^{ème} artère lombaire, et quatre rameaux horizontaux qui s'anastomosent avec les artères sacrées latérales.

2. VEINE CAVE INFÉRIEURE :

Est un gros tronc veineux drainant la moitié, infradiaphragmatique du corps, dans l'atrium droit.

Située presque entièrement dans la cavité abdominale, elle traverse le diaphragme et présente un court trajet thoracique.

Satellite de l'aorte abdominale, elle forme le tronc de retour commun des veines sous-diaphragmatiques :

A. ORIGINE par jonction des deux veines iliaques primitives, sur le flanc droit de L5, à 2 cm au-dessous de la bifurcation aortique.

B. TRAJET : ELLE DÉCRIT DEUX PORTIONS :

- **Abdominale** : la plus longue, à droite de la colonne lombaire, d'abord verticale jusqu'à L1, puis légèrement oblique à droite, lorsqu'elle s'enfonce dans la gouttière de la face postérieure du foie,
- **Thoracique** : après la traversée du diaphragme par l'orifice quadrilatère, elle s'infléchit en avant et à gauche, et pénétrant dans le péricarde, se jette dans l'atrium droit, à la hauteur de D9.

C. DIMENSIONS :

- Longueur 22 cm en moyenne, dont 18 cm pour la portion abdominale.
- Calibre augmentant de bas en haut, il passe de 20 à 30 mm, et présente deux renflements : l'un rénal : au-dessus des veines rénales, l'autre sus-hépatique : au-dessus des veines sus-hépatiques

D. VEINES AFFLUENTES :

La veine cave inférieure draine au-dessous du foie, les veines rénales, surrénale droite, testiculaire ou ovarique droite et lombaires. En arrière du foie, les veines hépatiques accessoires.

Au-dessus du foie, les veines sus-hépatiques et diaphragmatiques inférieures.

• Veines pariétales :

- *Veines diaphragmatiques inférieures* : recevant les veines surrénales supérieures, elles se jettent dans la veine cave inférieure immédiatement au-dessus des veines sus-hépatiques.
- *Veines lombaires* : généralement au nombre de 5 de chaque côté. Les gauches sont plus longues.

• Veines viscérales : Nombreuses et importantes.

- *Veine génitale droite*. La gauche se jetant dans la veine rénale gauche
- *Veines rénales* : courte à droite, longue et préaortique à gauche.
- *Veine surrénale moyenne droite* : courte et volumineuse. La gauche se jetant dans la veine rénale gauche.
- *Veines hépatiques accessoires* : elles drainent le lobe caudé et le lobe droit, et parfois le lobe gauche.
- *Veines sus-hépatiques* : elles sont au nombre de 3 : droite, moyenne et gauche.

E. ANASTOMOSES :

• Avec le système cave supérieur :

- Dans la paroi abdominale antérieure (entre veines épigastrique et mammaire internes),
- Avec les azygos : par les racines internes de la grande azygos et de l'hémiazygos inférieure.
- Dans le canal rachidien par les plexus intra et extrarachidiens.

Ces anastomoses expliquent que la ligature ou la thrombose de la veine cave inférieure au-dessous des rénales soit compatible avec la vie :

• Avec le système porte :

- Anastomoses rectales : entre les veines hémorroïdales,
- Anastomoses œsophagiennes : entre la veine coronaire stomacique et la veine diaphragmatique inférieure gauche, et les veines œsophagiennes,
- Anastomoses ombilicales : entre les veines pariétales et les veines para-ombilicales (accompagnant le cordon fibreux de la veine ombilicale),
- Anastomoses péritonéo-pariétales : ou veines de Retzius**, développées dans les portions accolées du tube digestif (racine du mésentère et côlon).

Normalement peu fonctionnelles, ces anastomoses se dilatent notablement au cours des obstructions portales, et permettent le retour du sang du tube digestif vers le cœur droit.

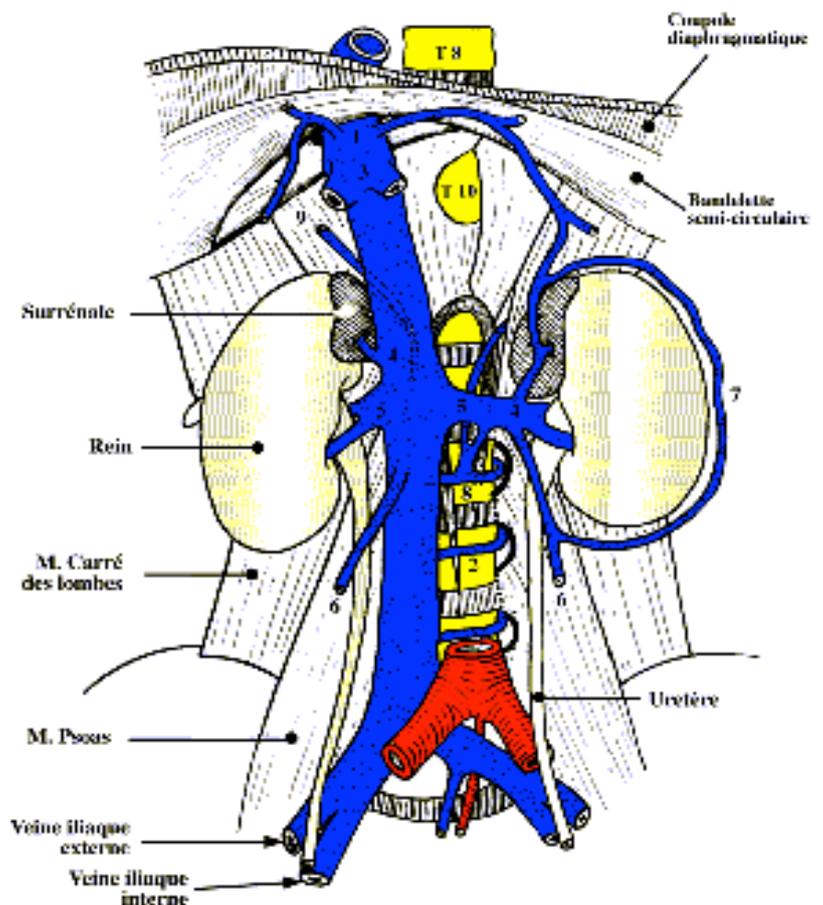


Schéma 18 :
Veine cave inférieure

- 1) V. Phréniques inf.
- 2) V. Lombales
- 3) V. Sus-hépatiques
- 4)

- 5) V. Rénales
- 6) V. Génitales
- 7) Arc exo-rénal
- 8) Arc réno-azygo-lombaire
- 9) Racine médiale de la V. Azygos

3. LYMPHOCENTRE DE L'ESPACE RETROPÉRITONÉAL:

Situé le long de l'aorte abdominale, il draine la lymphe des membres inférieurs, du pelvis, et des viscères abdominaux et se collecte dans le canal thoracique-

A. LES GANGLIONS PARA-AORTIQUES

Particulièrement nombreux, ils constituent une lame discontinue de 40 à 50 ganglions disposés le long de l'aorte suivant 4 groupes :

- **Latéroaortique gauche** : le plus simple, formé de 5 à 10 ganglions qui font suite aux ganglions iliaques primitifs, depuis la bifurcation aortique jusqu'à l'orifice diaphragmatique :
- **Latéroaortique droit** : plus complexe, en raison de la présence de la veine cave inférieure, qui permet d'individualiser 4 sous-groupes :

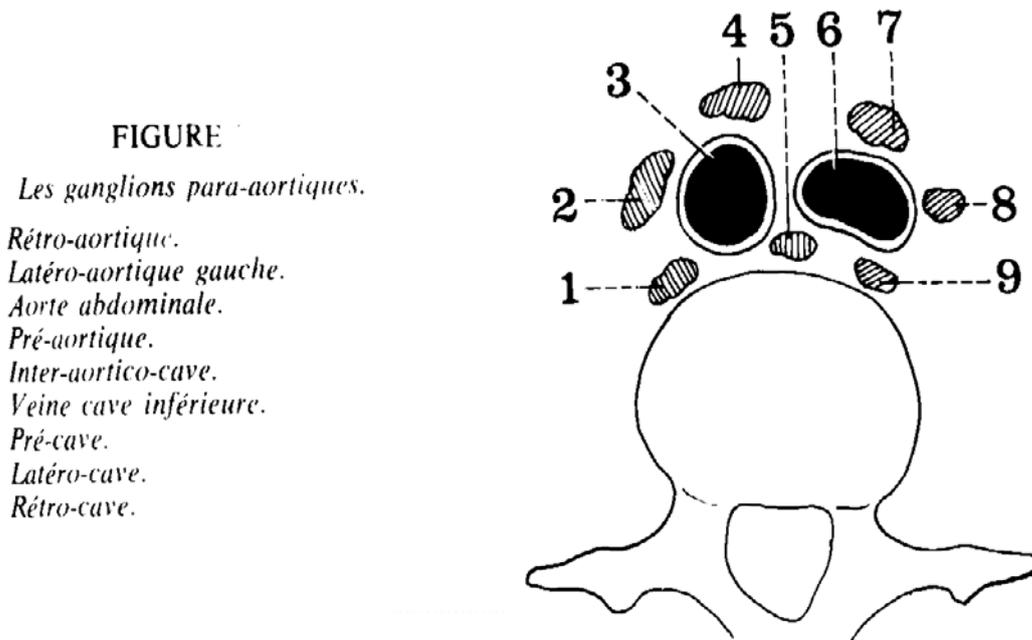


Schéma 19 : Ganglions lymphatiques

- **préaortique** : subdivisé en 3 sous-groupes
 - Mésentérique inférieur 3 ou 4 ganglions
 - Rénal 2 ou 3 ganglions
 - Mésentérique supérieur

Ces ganglions reçoivent la lymphe des ganglions du promontoire, et une partie de celle du territoire mésentérique inférieur (côlon gauche et rectum).

- **rétroaortique** : en liaison directe avec le groupe latéroaortique gauche, il reçoit des collecteurs issus des ganglions iliaques primitifs et du rectum.

Tous ces **ganglions para-aortiques** sont largement anastomosés entre eux, formant des plexus qui entourent les gros vaisseaux prévertébraux.

B. LES TRONCS LYMPHATIQUES LOMBAIRES :

Les chaînes ganglionnaires para-aortiques aboutissent dans deux troncs lombaires principaux :

- Droit qui draine les groupes latéroaortiques droit.
- Gauche, plus développé, qui draine les groupes latéroaortiques gauche et rétroaortique, et reçoit également le tronc intestinal, qui correspond au territoire mésentérique supérieur.

C. LE CANAL THORACIQUE :

Tronc collecteur de tous les lymphatiques, à l'exception de ceux du membre supérieur droit et de la moitié droite de la tête et du cou, il prend naissance dans la partie haute de l'abdomen, et se termine dans la veine sous-clavière gauche.

* **Origine** : La confluence des 2 troncs lombaires et du tronc intestinal

- En arrière de l'aorte à la hauteur de L1-L2, elle constitue une dilatation ampullaire : la citerne de chyle.
- Ou à la hauteur de D11-D12.

Ce poly a été téléchargé depuis med-tmss.blogspot.com/2016/08/cours.html | Page Fb : www.facebook.com/Faculte.de.Medecine.TMSS

* **Trajet** : D'abord rétroaortique, sa portion sous-diaphragmatique est plus ou moins longue suivant le niveau de son origine, d'un calibre de 5 mm, il s'incline très légèrement à droite pour franchir, avec l'aorte, l'orifice du diaphragme, et pénétrer dans le thorax (médiastin postérieur).

FIGURE
Variations d'origine
du canal thoracique
(d'après Couinand).

- A. Origine haute thoracique.
B. Origine basse abdominale.
1. Canal thoracique.
2. Citerne de Pecquet.
3. Tronc lombaire droit.
4. Tronc lombaire gauche.
5. Tronc intestinal.

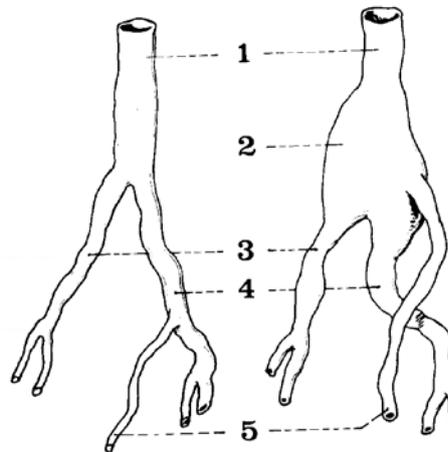


Schéma 20 : Troncs lymphatiques lombaires et canal thoracique

4. SYSTEME NERVEUX VEGETATIF :

Les nerfs végétatifs de l'abdomen assurent l'innervation des viscères de l'abdomen et participent à l'innervation des viscères pelviens. Ils contiennent des neurofibres parasympathiques et sympathiques.

A. SYSTÈME PARASYMPATHIQUE ABDOMINAL :

* **Les neurofibres parasympathiques** proviennent des nerfs vagues et du centre parasympathique spinal.

- Les neuro-fibres du parasympathique vagal empruntent les ganglions cœliaques, aortico-rénaux et mésentériques supérieurs pour se distribuer à l'estomac, au foie, à l'intestin grêle, au rein, au cæcum, aux côlons ascendant et transverse.
- Les neurofibres du parasympathique spinal empruntent les plexus hypogastriques inférieurs pour se distribuer aux viscères pelviens, aux côlons descendant et sigmoïde. Les neuro-fibres parasympathiques destinées aux côlons cheminent ensuite dans les plexus hypogastriques supérieur et mésentérique inférieur.

B. SYSTÈME SYMPATHIQUE ABDOMINAL :

Il est formé des 2 chaînes sympathiques lombaires et des nerfs splanchniques thoraciques.

α. Chaîne sympathique lombaire :

* **Constitution** :

Fait suite à la chaîne sympathique thoracique qui traverse le diaphragme entre pilier moyen et pilier externe. Elle est constituée par 4 ganglions lombaires réunis entre eux par des rameaux interganglionnaires. Elle se continue par la chaîne sympathique sacrale.

* **Rapport** :

Chaque chaîne lombaire est située sur la face latérale des corps vertébraux lombaires, en avant des arcades d'insertion du muscle grand psoas.

* **Rameaux efférents : Nerfs splanchniques lombaires** :

Les trois premiers nerfs splanchniques lombaires droits parviennent à la face antérieure de l'aorte en s'insinuant entre la veine cave inférieure et l'aorte.

- Le premier nerf splanchnique lombaire rejoint les plexus cœliaque, rénal et intermésentérique
- Le deuxième rejoint le plexus intermésentérique ou le ganglion mésentérique inférieur.
- Le troisième passe en avant des vaisseaux iliaques communs pour atteindre le plexus hypogastrique supérieur.
- Le quatrième nerf, passe en arrière des vaisseaux iliaques communs pour rejoindre le plexus hypogastrique supérieur ou le nerf hypogastrique.

* **Connexion** :

Chaque ganglion est relié aux nerfs spinaux lombaires par des rameaux communicants. Au-dessous du 3^{ème} nerf spinal lombaire, il n'existe plus de rameau communicant.

β. Nerfs splanchniques thoraciques :

* Nerf grand splanchnique thoracique :

- Ses racines d'origine proviennent des ganglions thoraciques 5 à 9 ou 10.
- Il descend le long du corps des vertèbres thoraciques pour traverser le diaphragme entre pilier interne et pilier moyen. Il présente souvent sur son trajet un ganglion splanchnique.
- Il se termine dans le ganglion coélique et parfois dans les ganglions aortico-rénal et diaphragmatique.

* Nerf petit splanchnique thoracique :

- Ses racines d'origine naissent des 9-10^{ème} ganglions thoraciques, parfois des 10^{ème} et 11^{ème} ganglions
- Il traverse le diaphragme entre pilier moyen et pilier externe et se distribue aux ganglions semi-lunaire, mésentérique supérieur et aortico-rénal.

* Nerf splanchnique imus (nerf splanchnique inférieur)

- Il naît du 11^{ème} - 12^{ème} ganglions thoraciques
- Il traverse le diaphragme entre pilier moyen et pilier externe
- Il se termine dans le ganglion aortico-rénal

C. PLEXUS DE L'AORTE ABDOMINALE :

Situé au contact de l'aorte abdominale, il assure l'innervation des viscères abdominaux et comprend : le plexus coélique, les ganglions mésentériques inférieurs et le plexus intermésentérique.

α. Plexus coélique : plexus solaire :

* Constitution : il est formé d'un ensemble des trois paires de ganglions unis entre eux par un réseau de nerfs :

- Les ganglions semi-lunaires situés de chaque côté de l'origine du tronc coélique. Ils sont fusiformes et de coloration gris rougeâtre. Ils mesurent environ chacun 20 mm de longueur, 10 mm de largeur et 3 mm d'épaisseur.
- Les ganglions mésentériques supérieurs situés contre l'origine de l'artère mésentérique supérieure
- Les ganglions aortico-rénaux situés contre l'origine de l'artère rénale.

* Rapport : situé dans l'espace rétropéritonéal : contre l'aorte, le plexus répond.

- En arrière, aux piliers du diaphragme, et à la citerne du chyle
- En avant, dans sa partie supérieure, au péritoine postérieur de l'arrière-cavité des épiploons, et dans sa partie inférieure, au corps du pancréas.

* Branches afférentes : elles comprennent.

- Le nerf vague droit, qui donne une branche à chaque ganglion coélique.
- Les nerfs grand splanchnique, petit splanchnique et splanchnique inférieur
- Le nerf phrénique droit qui peut donner des rameaux au ganglion coélique droit.

* Branches efférentes :

Elles contiennent des neurofibres parasympathiques et sympathiques. Elles constituent les plexus périartériels phréniques gastrique, hépatique, splénique, mésentérique supérieur, pancréatique, rénal, surrénal, testiculaire ou ovarique.

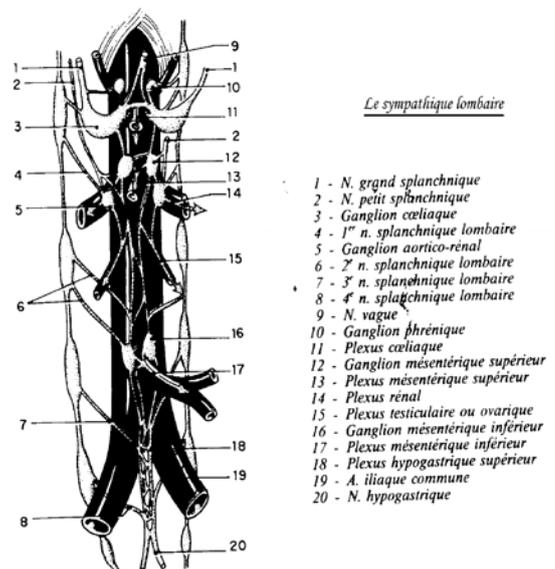
β. Ganglions mésentériques inférieurs :

Au nombre de 2, ils sont situés à l'origine de l'artère mésentérique inférieure. Leurs branches afférentes proviennent du plexus intermésentérique, et du deuxième nerf splanchnique lombaire.

- Leurs branches efférentes participent à la formation du plexus hypogastrique supérieur et du plexus mésentérique inférieur destiné au côlon descendant, au côlon sigmoïde et au rectum.
- Leurs neuro-fibres parasympathiques proviennent du centre parasympathique sacral.

γ. Plexus intermésentérique :

Il unit le plexus coélique et les ganglions mésentériques inférieurs. Il donne des rameaux au plexus testiculaire ou ovarique.



Le

LA LOGE LATERO-VISCERALE

Entre la paroi pelvienne latérale et les viscères descend, dans la partie la plus large ou espace latérorectal, l'artère iliaque interne, accompagnée de sa veine et de ses lymphatiques, et longée :

- En avant : par l'uretère pelvien,
- En arrière : par l'éventail nerveux des plexus sacré et honteux.

A. LES VAISSEAUX ILIAQUES INTERNES :

1. ARTERE ILIAQUE INTERNE OU HYPOGASTRIQUE :

Branche de bifurcation interne de l'iliaque primitive, elle possède de nombreuses branches pariétales et viscérales qui assurent l'irrigation des parois et des viscères du petit bassin.

A. ORIGINE un peu au-dessus de l'aïleron sacré, en dedans de la sacro-iliaque, un peu plus haute chez la femme que chez l'homme.

B. TRAJET dessinant une large courbe à convexité antéro-interne, elle présente deux portions :

- **Haute ou supra-pelvienne** : oblique en bas, en avant et en dehors, où l'artère est accolée à l'iliaque externe, de son origine au détroit supérieur ;
- **Basse ou pelvienne** : très courte, en bas et en arrière dans le pelvis.

C. TERMINAISON : au niveau du bord supérieur de la grande échancrure sciatique, en donnant :

- Soit un bouquet de terminales,
- Soit le plus souvent deux troncs, postérieur et antérieur, donnant chacun un certain nombre de branches pariétales et viscérales.

D. DIMENSIONS : **Longueur** = variable selon le niveau d'origine et le mode de terminaison ; en moyenne = 4 à 5 cm, mais peut atteindre 7 cm.

Calibre = 8 à 9 mm à l'origine.

E. BRANCHES : de façon schématique, l'artère iliaque interne se divise en deux troncs :

LE TRONC POSTÉRIEUR : ne donnant que des branches pariétales :

- **Artère ilio-lombaire** se divisant sous le psoas en deux branches ascendante ou lombaire et transversale ou iliaque.
- **artères sacrées latérales**
 - L'une supérieure : pénétrant dans le 1^{er} trou sacre antérieur,
 - L'autre inférieure : plus volumineuse, pénétrant dans les 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} trous sacrés antérieurs.
- **Artère fessière ou fessière supérieure** sortant du bassin par le canal sus-pyramidal, et donnant deux branches :

LE TRONC ANTÉRIEUR : donnant des branches pariétales et viscérales :

- **Artère obturatrice** : sortant du petit bassin par le canal sous-pubien, et donnant deux branches : antérieure ou interne postérieure ou externe
- **Artère ombilicale**
- **Artère génito-vésicale**
- **Artère hémorroïdale moyenne ou rectale moyenne**
- **Artère ischiatique ou fessière inférieure** quittant le bassin par le canal sous-pyramidal,
- **Artère pudendale interne** destinée au périnée et aux organes génitaux externes.

2. LA VEINE ILIAQUE INTERNE :

Homologue de son artère, elle a le même territoire, mais sa disposition est très variable ; trois types peuvent être décrits :

A. TYPE UNIQUE : le plus classique, sous forme d'un gros tronc veineux long de 5 cm, d'un calibre de 12 mm.

Franchement postérieure à son artère, à droite, et postéro-interne à gauche elle rejoint la veine iliaque externe en avant de la sacro-iliaque, mais le confluent veineux est plus bas situé que le confluent artériel, et apparaît au-dessous de la fourche des artères iliaques.

B. TYPE DOUBLE : dans 50 % des cas, avec deux veines :

- L'une postérieure : volumineuse,
- L'autre antérieure : plus grêle recevant les veines ombilicale et obturatrice.

C. TYPE PLEXIFORME : Plus rare, avec deux ou trois anastomoses qui unissent les deux troncs veineux.

D. COLLATÉRALES :

Les branches afférentes collectent le sang des parois du pelvis, de la région fessière, des viscères pelviens et du périnée ; elles peuvent être classées en deux groupes ; le plus souvent deux veines accompagnent chaque artère :

1. Veines pariétales :

Veines fessières, veines ischiatiques, veines obturatrices, veine ilio-lombaire, veines sacrées latérales.

2. Veines viscérales :

Veine honteuse interne, veines vésicales inférieures, veines hémorroïdales moyennes, veines utérines, veines vaginales.

B. GANGLIONS ILIAQUES INTERNES :

Huit à dix ganglions lymphatiques s'étagent le long de l'artère iliaque interne, siégeant dans les angles formés par les diverses branches artérielles.

A. GROUPE ANTÉRIEUR : entre l'ombilicale et l'obturatrice.

B. GROUPE MOYEN

- Ganglion de l'utérine (ou de Cunnéo),
- Ganglion de l'ischiatique et de la honteuse interne,
- Ganglion de l'hémorroïdale moyenne.

C. GROUPE POSTÉRIEUR :

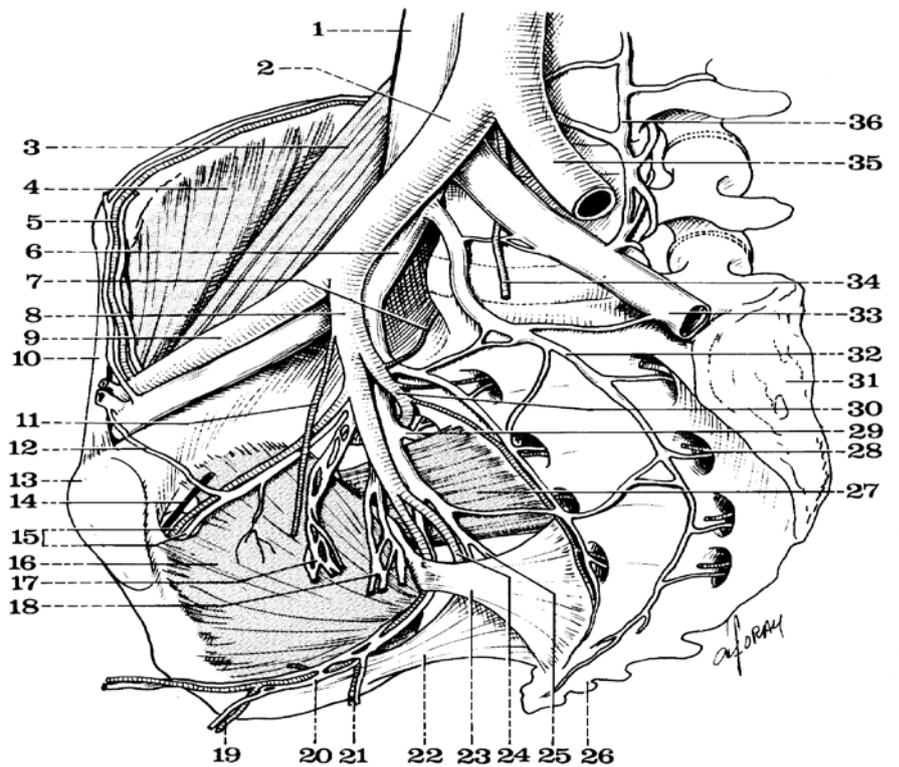
- Ganglion de la fessière,
- Ganglions de la sacrée latérale inférieure.

D. VOIES AFFÉRENTES :

- des viscères pelviens,
- De la face postérieure de la cuisse, de la région fessière

E. VOIES EFFÉRENTES

- En partie vers les ganglions iliaques externes,
- Surtout vers les ganglions iliaques primitifs.



Vue endo-pelvienne droite des vaisseaux iliaques (chez la femme).

- | | | |
|--|-------------------------------------|--|
| 1. Veine cave inférieure. | 13. Symphyse pubienne. | 25. Veine ischiatique. |
| 2. Artère iliaque primitive droite. | 14. Nerf obturateur. | 26. Coccyx. |
| 3. Muscle psoas droit. | 15. Vaisseaux obturateurs. | 27. Muscle pyramidal du bassin. |
| 4. Muscle iliaque droit. | 16. Muscle obturateur interne. | 28. Deuxième trou sacré antérieur gauche. |
| 5. Artère circonflexe iliaque profonde. | 17. Veines utérines. | 29. Veine fessière. |
| 6. Veine iliaque primitive droite. | 18. Veines vésicales inférieures. | 30. Tronc postérieur (de l'iliaque interne). |
| 7. Artère ilio-lombaire. | 19. Artère urétrale. | 31. Articulation sacro-iliaque gauche. |
| 8. Artère iliaque interne. | 20. Vaisseaux honteux internes. | 32. Veine sacrée moyenne. |
| 9. Artère iliaque externe. | 21. Vaisseaux bulbaires. | 33. Veine iliaque primitive gauche. |
| 10. Arcade crurale. | 22. Grand ligament sacro-sciatique. | 34. Artère sacrée moyenne. |
| 11. Artère ombilicale. | 23. Petit ligament sacro-sciatique. | 35. Artère iliaque primitive gauche. |
| 12. Anastomose veineuse entre l'épigastrique et l'obturatrice. | 24. Artère ischiatique. | 36. Veine lombaire ascendante. |

Schéma 27 : Artère et veine iliaque interne

LA LOGE RETRO-RECTALE

La loge rétrorectale est limitée par :

- **En arrière** : la face antérieure du sacro-coccyx, dans l'espace compris entre les deux rangées droite et gauche des trous sacrés antérieurs ;
- **En avant** : la face postérieure de l'ampoule rectale ;
- **Latéralement** : la partie postérieure de l'aponévrose sacro-recto-génito-vésico-pubienne ;
- **En bas** : les adhérences du rectum aux deux muscles releveurs de l'anus.
- **En haut**, la loge rétrorectale n'est pas fermée, communiquant largement avec la région rétropéritonéale médiane de l'abdomen, par laquelle arrivent les pédicules vasculaires et le système nerveux sympathique.

A. LES PÉDICULES VASCULAIRES

1. L'ARTÈRE SACRÉE MOYENNE OU MÉDIANE

Branche de trifurcation médiane de l'aorte abdominale, elle représente un véritable reliquat embryonnaire, prolongeant l'aorte vers l'extrémité caudale de l'organisme.

- **ORIGINE** : de la face postérieure de l'aorte, devant L4.
- **TRAJET** : derrière la veine iliaque primitive gauche, puis devant le promontoire, et, sur la ligne médiane, dans l'excavation sacrée,
- **TERMINAISON** : au-dessous de la pointe du coccyx, dans la glande coccygienne (de Luschka) ou glomus coccygien.
- **COLLATÉRALES** de chaque côté
 - La 5^{ème} artère lombaire, qui passe derrière les vaisseaux iliaques primifs
 - Quatre rameaux transversaux : anastomosés avec les artères sacrées latérales.

2. LA VEINE SACRÉE MOYENNE :

Satellite de l'artère, elle est double devant le sacrum, de chaque côté de l'artère, puis unique au niveau du promontoire, se jetant le plus souvent dans la veine iliaque primitive gauche.

3. LES ARTERES SACREES LATERALES nées de l'artère iliaque interne

- supérieure : pénétrant dans le 1^{er} foramen sacral antérieur.
- inférieure plus volumineuse, croisant le plexus sacré, et pénétrant dans les 2^{ème}, 3^{ème}, et 4^{ème}, trous sacrés antérieurs.

4. LES VEINES SACREES LATERALES homologues des artères, mais souvent plexiformes, elles montent en dehors des trous sacres antérieurs, et se jettent dans la veine iliaque interne.

B. LE SYSTÈME NERVEUX SYMPATHIQUE :

Sur la face antérieure du sacrum descendent deux formations sympathiques destinées à l'innervation des viscères pelviens :

- Latéralement : les deux chaînes sympathiques sacrées, qui continuent les chaînes sympathiques lombaires,
- Au milieu : le réseau plus complexe du plexus présacré.

1. LA CHAÎNE SYMPATHIQUE SACRÉE :

A. CONSTITUTION :

Plaquée sur la face antérieure du sacrum, un peu en dedans des trous sacrés antérieurs, elle comprend de chaque côté :

- Un cordon connecteur, souvent divisé en petits filets,
- Trois à quatre ganglions allongés, d'autant plus petits que l'on se rapproche du coccyx, en haut : le 1^{er} ganglion sacré est fréquemment fusionné avec le 5^{ème} ganglion lombaire, en bas : Les deux chaînes se réunissent soient au niveau d'un ganglion commun, qui équivaut à la fusion des 5^{ème} ganglions sacrés, le ganglion de Walter d'où partent des filets pour le glomus coccygien qui lui est sous-jacent ;

Ce poly a été téléchargé depuis med-tmss.blogspot.com/2016/08/cours.html | Page Fb : www.facebook.com/Faculte.de.Medecine.TMSS

B. BRANCHES EFFÉRENTES :

Rameaux communicants : 2 à 3 par nerf sacré, formés uniquement de fibres post-ganglionnaires, amyéliniques, et divisés en deux sortes de rameaux :

- Extraorificiels : abordant le nerf sacré en dehors du foramen sacral antérieur.
- Intraorificiels : pénétrant dans le foramen sacral pour atteindre le nerf correspondant,
- Rameaux viscéraux : nés des 2^{ème} et 3^{ème} ganglions sacrés, et destinés au plexus présacré,
- Rameaux osseux : pour le sacrum et le coccyx,
- Rameaux musculaires : pour le pyramidal du bassin et le releveur de l'anوس,
- Rameaux vasculaires : pour l'artère sacrée moyenne.

2. LE PLEXUS PRE-SACRE OU NERF PRE-SACRE :

Correspondant au « plexus hypogastrique supérieur » d'Hovelacque, il concentre les fibres afférentes du « splanchnique pelvien » :

A. ORIGINE :

- Deux racines latérales : formées par des rameaux préaortiques venus des ganglions sympathiques lombaires,
- Une racine médiane : issue des nerfs intermésentériques, qui descendent au-delà de la bifurcation aortique.

B. TRAJET : Ces fibres nerveuses se réunissent sur la ligne médiane, franchissent la veine iliaque primitive gauche, et chevauchent la saillie du promontoire ; elles se présentent de deux façons :

- Soit sous forme d'un véritable « plexus présacré », formé de faisceaux unis par des anastomoses courtes = 80 % des cas,
- Soit sous forme d'un cordon plat et irrégulier, le « nerf présacré » = 20 % des cas.

C. TERMINAISON : Après 4 à 6 cm de trajet, le plexus présacré se divise en deux branches, droite et gauche, comme un Y renversé ;

Chacune de ces branches forme le nerf hypogastrique qui glisse entre le sacrum et la lame présacrée, puis se porte obliquement en bas et en avant sous le péritoine latéral du rectum, dans la portion interne de l'aponévrose sacro-recto-géni-to-pubienne de Delbet.

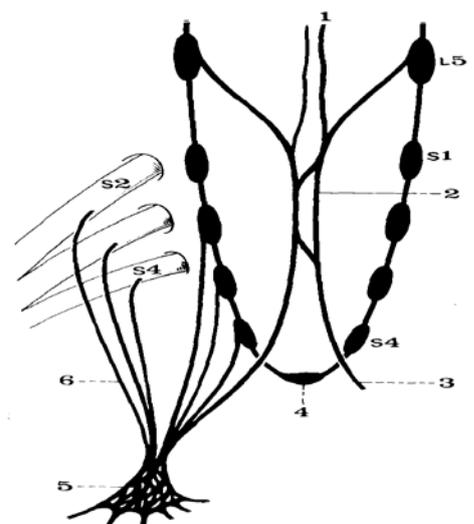
Long en moyenne de 8 à 10 cm, le nerf hypogastrique se dissocie en plusieurs branches anastomosées, et vient se jeter dans la corne postéro-supérieure du **ganglion hypogastrique ou pelvien** : celui-ci plaqué sur les faces latérales du rectum, assure l'innervation viscérale des organes du pelvis.

D. BRANCHES EFFÉRENTES :

- **du plexus présacré :**
 - Rameaux pour le côlon sigmoïde,
 - Rameaux vasculaires : pour les iliaques primitives et l'artère sacrée moyenne,
- **du nerf hypogastrique**
 - Rameau urétéral : pour la portion pariétale de l'uretère pelvien,
- **du ganglion hypogastrique**
 - nerfs du rectum,
 - nerfs de la vessie et de la portion terminale de l'uretère
 - nerfs de la prostate,
 - nerfs des vésicules séminales
 - nerfs des canaux déférents
 - nerfs de l'utérus
 - nerfs du vagin

E. ANASTOMOSES : de chaque côté

- **Avec le sympathique lombaire :** par un rameau qui part du 5^{ème} ganglion, chevauche le promontoire, et rejoint la partie postérieure du plexus présacré
- **Avec le sympathique sacré :** par 3 sortes de rameaux
 - supérieurs : du 2^{ème} ganglion à la partie haute du nerf,
 - moyen : du 3^{ème} ganglion à la partie basse du nerf.
 - inférieur : du 4^{ème} ganglion sacré au ganglion hypogastrique.
- **Avec le plexus honteux = nerfs érecteurs d'Eckhard*** relativement volumineux, ils naissent des racines S2, S3 et S4, à proximité de l'émergence des trous sacrés antérieurs, se dirigent sagittalement, fauflés par les branches des vaisseaux hémorroïdaux moyens, et abordent la corne postéro-inférieure du ganglion hypogastrique ; ils appartiennent au système parasymphatique.



FIGURE

Le système nerveux sympathique de la loge rétro-rectale
1. Plexus hypogastrique supérieur.
2. Nerf pré-sacré.
3. Nerf hypogastrique.
4. Ganglion de Walter.
5. Ganglion hypogastrique.
6. Nerfs érecteurs d'Eckhard (système para-symphatique).

LA REGION RETRO-PERITONEALE LATERALE

Située immédiatement en dehors de la région prévertébrale des gros vaisseaux, entre le péritoine pariétal postérieur en avant et les muscles de la paroi lombo-iliaque en arrière, la région rétropéritonéale latérale contient essentiellement les reins et leurs pédicules, les uretères, les glandes surrénales et les vaisseaux gonadiques.

1. LIMITES :

* **EN ARRIÈRE :** par la face antérieure verticale du diaphragme et celle des plans musculo-aponévrotiques de la paroi dorsale représentés par :

- tous en dedans le muscle psoas revêtu du fascia iliaca et qui descend des processus transverses de la colonne lombaire vers le petit trochanter
- plus en dehors le muscle carré des lombes tapissé par son aponévrose qui s'épaissit en haut pour former l'arcade du carré des lombes (arcade arquée latérale)
- en dehors et en arrière l'aponévrose postérieure du muscle transverse qui s'attache sur le sommet des processus transverses
- En bas et en dehors le muscle iliaque tapissant la fosse iliaque interne et revêtu du fascia iliaca.

* **EN AVANT :**

Le péritoine pariétal postérieur avec :

* **EN DEDANS :**

La limite est arbitraire, représentée par le bord interne du muscle psoas.

* **EN DEHORS :** La limite correspond schématiquement à une verticale passant par l'extrémité de la douzième côte. Celle-ci est variable. La limite externe correspond en fait sensiblement au bord interne du muscle oblique interne.

* **EN HAUT :**

La ligne horizontale passant par D11.

* **EN BAS :**

- En dedans : le détroit supérieur : formé par la margelle du bassin longée par les vaisseaux iliaques.
- En dehors : l'angle dièdre formé par le muscle psoas-iliaque, la paroi abdominale antérieure et le ligament inguinal, angle dièdre qui constitue l'espace de Bogros.

2. SITUATION :

La région rétropéritonéale latérale est située en avant de la région lombaire musculaire latérale, en arrière de la cavité péritonéale, en dehors de la région prévertébrale des gros vaisseaux avec laquelle elle communique, au-dessus de la région pelvi-sous-péritonéale qu'elle surplombe et avec laquelle elle se continue, au-dessous du diaphragme et la paroi postérieure du thorax.

3. CONTENU :

La région rétropéritonéale latérale est constituée de deux parois l'une postérieure, musculaire, l'autre antérieure, péritonéale, et d'un contenu représenté par :

- Les reins et leurs pédicules.
- Les uretères.
- Les glandes surrénales.
- Le pédicule spermatique ou utéro-ovarien.

LES REINS

Les reins sont les organes **sécréteurs** de l'urine. A l'état normal, il existe 2 reins, droit et gauche, situés dans la fosse lombaire, dépression de la paroi dorsale de l'abdomen.

Chacun d'eux est muni d'un canal **excréteur**, l'uretère, qui descend verticalement dans la région rétro-péritonéale latérale, puis dans le pelvis pour aller s'aboucher dans la vessie.

1. ANATOMIE DESCRIPTIVE

1.1 - MORPHOLOGIE DU REIN

1.1.1 - FORME DU REIN

Rouge brun, ferme, entouré d'une capsule lisse et résistante, classiquement en forme de **haricot** avec :

° 2 faces convexes :

- ventro-latérale
- dorso-médiale

° 1 bord latéral convexe

° 1 bord médial présentant une échancrure, le hile rénal.

° 2 pôles, cranial et caudal

1.1.2 - DIMENSIONS

- * Longueur : 12 cm.
- * Largeur : 6 cm
- * Épaisseur : 3 cm
- * Poids : 150 gr chez l'homme, 130 gr chez la Femme.

1.1.3 - DIRECTION ET ORIENTATION

* **Grand axe longitudinal**, oblique en caudal et en latéral.

* **Axe transversal**, oblique en ventral et médial, donc le hile du rein regarde vers l'avant.

1.1.4 - SITUATION ET PROJECTION

Le rein droit est **plus bas** situé que le gauche :

- **Rein droit** : Bord supérieur de T12 - Bord inf. du processus transverse de L3
- **Rein gauche** : Bord inférieur de T11 - Bord sup. du processus transverse de L3.

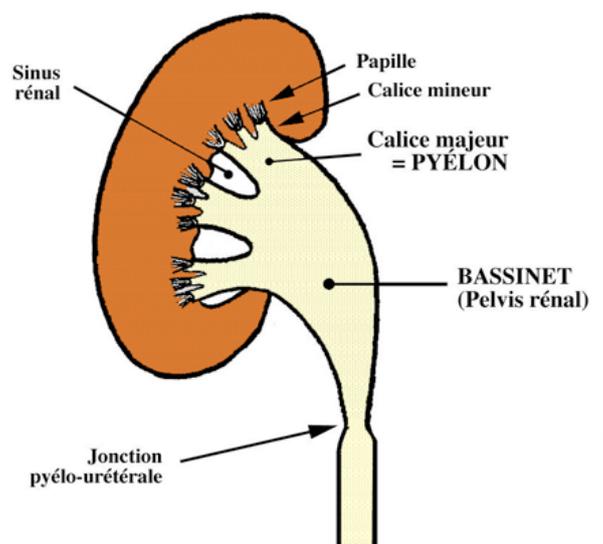
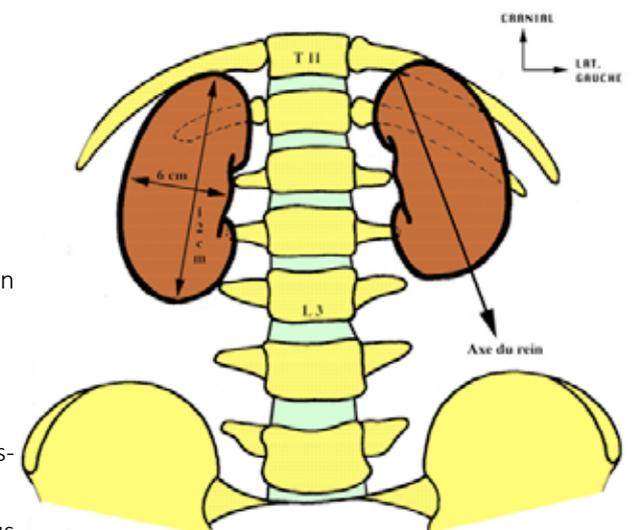
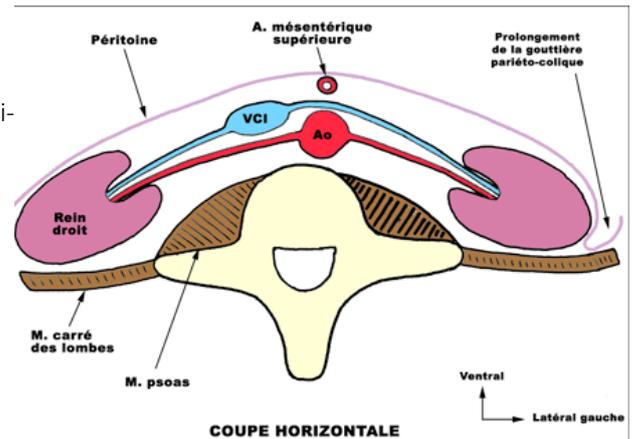
1.2 - VOIES EXCRÉTRICES

Le rein possède une capsule qui se laisse cliver et se réfléchit au niveau du hile.

Le hile se présente comme une cavité, profonde de 3 cm (mais variations +++): le sinus du rein qui contient les vaisseaux et les cavités excrétrices, c'est-à-dire les calices et une plus ou moins grande partie du bassinnet :

* **Calices mineurs**, au nombre de 8 à 10 tubes qui coiffent les papilles

* **Calices majeurs** formés par la réunion des calices mineurs. Le plus souvent au nombre de 3 : les Calices supérieur, inférieur et moyen qui se réunissent pour former le **bassinnet** (ou Pyélon) qui peut être plus ou moins large et plus ou moins extra-sinusal.



* L'aspect des calices majeurs peut être modifié par des processus pathologiques : hydronéphrose, pyélonéphrite, tumeur rénale

1.3 - ANOMALIES

* **Anomalie de situation** : ectopie (ptôse rénale), rein pelvien, rein iliaque, 2 reins du même côté

* **Anomalie de nombre** : absence d'1 rein, fusion des 2 reins par leur pôle inférieur (rein en fer en cheval).

2. RAPPORTS DES REINS

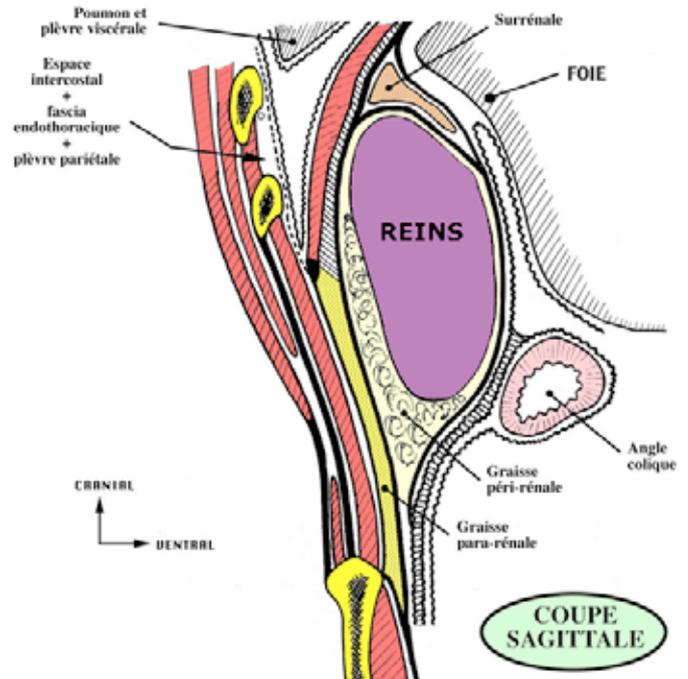
2.1 - LA LOGE RÉNALE

Le rein est situé dans une loge cellulo-adipeuse : la loge rénale située dans la fosse lombale, dépression de la paroi lombale latérale :

- * en avant de la paroi abdominale dorsale
- * en dehors de la saillie du rachis lombaire et du psoas.
- * En hauteur, elle s'étend depuis la 11^{ème} côte jusqu'à la crête iliaque et occupe donc toute la partie supérieure de l'espace rétro-péritonéal latéral.

Elle est limitée par le fascia périrénal qui comprend 2 feuillets :

- * un feuillet ventral ou prérénal qui est entièrement tapissé par le péritoine
- * un feuillet dorsal ou rétrorénal
- * renfermant la graisse périrénale
- * entourée par la graisse pararénale, essentiellement sur son versant dorsal.
- * Les 2 feuillets sont ouverts vers le bas, d'où possibilité de ptose rénale.



2.2 - RAPPORT PAR LA LOGE RÉNALE

Ce sont les rapports avec les organes situés de part et d'autre de la loge rénale.

2.2.1 - RAPPORTS DE LA FACE DORSO-MÉDIALE

Ils se font sur 2 étages :

- Étage supérieur thoracique :

- * Paroi thoracique : 11^{ème} côte, 12^{ème} côte et l'espace intercostal intermédiaire.
- * Le ligament arqué latéral
- * Le diaphragme et par son intermédiaire le cul-de-sac pleural costo-diaphragmatique. Le diaphragme possède au niveau du ligament arqué latéral, une déhiscence : le **hiatus costo-lombaire** qui fait communiquer la graisse pararénale et la graisse endothoracique.
- * Ces rapports expliquent la possibilité de lésion rénale en cas de fracture de côte et la possibilité d'épanchement pleural en cas d'infection rénale.

- **Étage inférieur ou lombaire** : formée en dedans par le psoas et en dehors par le carré des lombes, séparés de la loge rénale par la graisse pararénale

2.2.2 - RAPPORTS DE LA FACE VENTRO-LATÉRALE

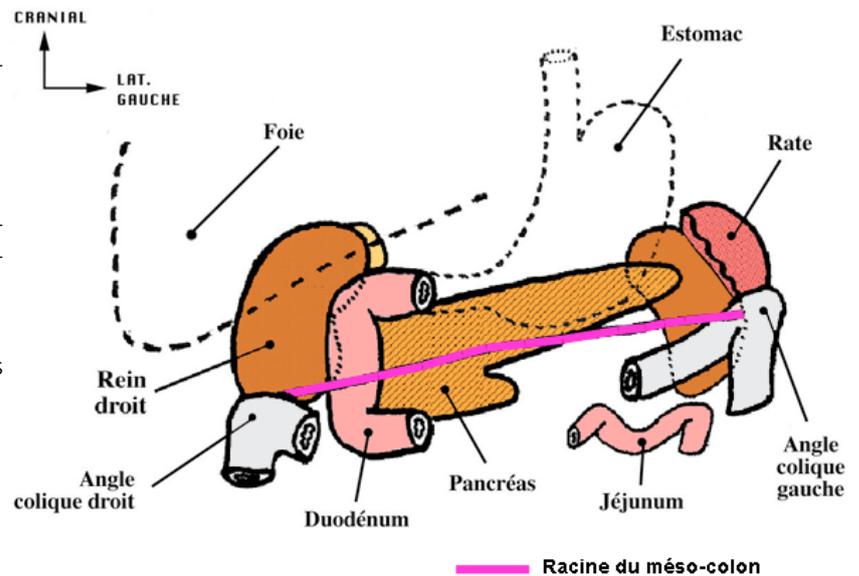
Ils sont différents à droite et à gauche :

- **Rapports du rein droit** : presque entièrement sus-mésocolique

- * en cranial, face caudale du foie
- * en caudal, la racine du mésocolon transverse et l'angle colique droit
- * en médial, le 2^{ème} duodénum

- Rapports du rein gauche :

- * la partie moyenne est barrée par le mésocôlon transverse
- * au-dessus du mésocôlon :
 - la queue du pancréas
 - la rate et le pédicule splénique
 - plus en avant, l'estomac, par l'intermédiaire de la bourse épiploïque (poche rétrogastrique)
- * au-dessous du mésocôlon
 - angle colique gauche se situe en dehors du rein
 - vaisseaux coliques supérieurs gauches
 - les anses grêles jéjunales



2.2.3 - BORD LATÉRAL

Il est revêtu par le péritoine pariétal dorsal qui forme la gouttière pariéto-colique, plus ou moins profonde.

2.2.4 - BORD MÉDIAL

Il répond :

- * en partie, au muscle psoas
- * à droite, la VCI et à gauche, l'aorte

2.2.5 - PÔLE CRANIAL

À la surrénale, séparée d'elle par le feuillet inter-surréno-rénal, expansion du fascia périrénal qui cloisonne la loge rénale

2.2.6 - PÔLE CAUDAL

- * le segment initial de l'uretère, au niveau de la jonction pyélo-urétérale
- * Les vaisseaux génitaux

3. VAISSEAUX ET NERFS

Ils vont contribuer à la formation du pédicule rénal.

3.1 - ARTÈRE RÉNALE

Elle vascularise le rein, mais aussi le segment initial de l'uretère et une partie de la glande surrénale.

3.1.1 - ORIGINE

Bord latéral de l'aorte, à la partie inférieure de L1 ou disque intervertébral L1-L2.

3.1.2 - TRAJET

- * **À droite** : longue de 7 cm et d'un diamètre de 7 mm, elle est oblique en latéral et en caudal, décrivant une courbe à concavité dorsale en se moulant sur la saillie du corps vertébral et du psoas et croise la face dorsale de la VCI.
- * **À gauche** : même diamètre (7 mm), mais plus courte : 5 cm environ. Elle est masquée en avant par la veine rénale gauche.

3.1.3 - TERMINAISON

Des 2 côtés, un peu avant d'atteindre le bord médial du bassin par 2 branches terminales :

- * **prépyélique, ventrale**, volumineuse, qui se divise en 3 ou 4 branches qui vascularisent la partie ventrale du rein et qui donne une artère polaire inférieure (qui peut naître directement de l'aorte)
- * **rétropyélique** qui donne 3 à 5 branches qui vascularisent la partie dorsale du rein. Elle donne aussi une artère polaire supérieure.
- * **Distribution intraparenchymateuse** : les artères rénales sont de type terminal. A l'intérieur du parenchyme rénal, les artères pré et rétropyéliques donnent des artères interpapillaires (puis, des artères interpyramidales, des artères radiées et des artères glomérulaires).

3.1.4 - COLLATÉRALES

- * A. surrénalienne inférieure
- * A. urétérique supérieure pour le bassin et la portion initiale de l'uretère.

3.2 - VEINES RÉNALES

Veines volumineuses et avalvulées d'un diamètre de 8 à 10 mm

3.2.1 - ORIGINE

Par la réunion d'un tronc prépyélique et rétro-pyélique (qui sont formées par la conjonction des veines interpapillaires) au niveau du bord médial du sinus rénal et **en avant** des artères..

3.2.2 - TRAJET

- * **À droite** : très courte, environ 3 cm de long, sensiblement horizontale.
- * **À gauche** : long trajet de 7 cm de long, elle rejoint la VCI en passant entre la face ventrale de l'aorte, en arrière, et l'artère mésentérique supérieure, en avant donc, à l'intérieur de la pince aortico-mésentérique.

3.2.3 - TERMINAISON

Des 2 côtés, à hauteur des bords latéraux de L1, un peu plus haut à gauche qu'à droite.

3.2.4 - COLLATÉRALES

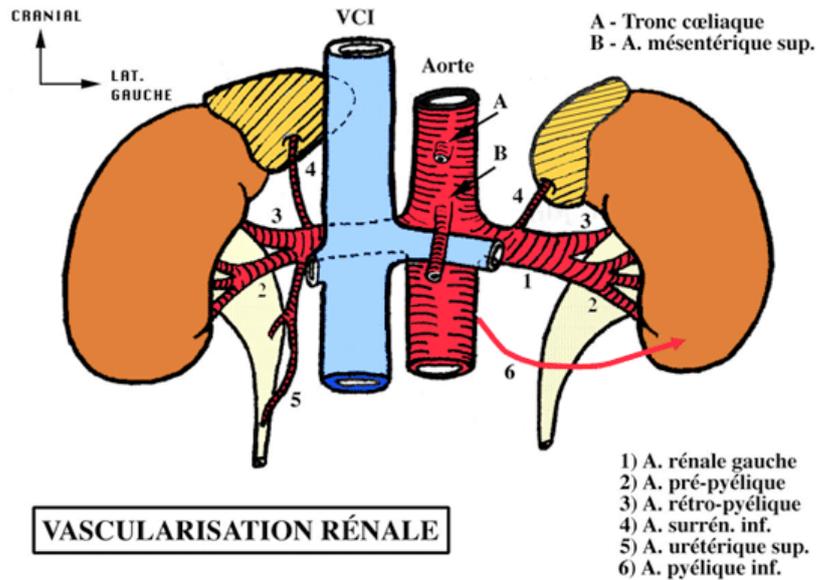
- * veines urétériques supérieures
- * veines surrénaliennes inférieures
- * À gauche :
 - veine surrénalienne moyenne
 - veine gonadique : varicocèle

3.3 - LYMPHATIQUES

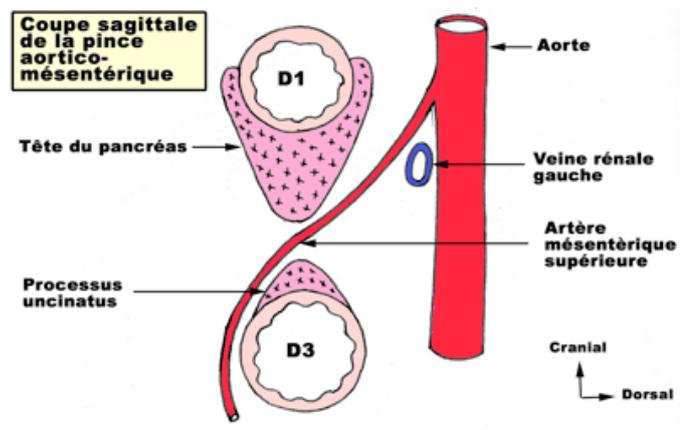
Situés autour de la veine rénale, ils se drainent dans les nœuds latéroaortiques droit ou gauche.

3.4 - NERFS

Ils proviennent du plexus cœliaque après relais dans les ganglions aortico-rénaux.



VASCULARISATION RÉNALE



4. MOYENS D'EXPLORATIONS DU REIN

- * Examen clinique (inspection à la recherche d'une voussure pariétale, palpation des 2 hypocondres et recherche du contact lombaire, percussion)
- * Examens complémentaires : ASP, échographie, UIV, scintigraphie, TDM, IRM.

LES GLANDES SURRÉNALES

Ce sont 2 glandes endocrines indispensables à la vie

1. ANATOMIE DESCRIPTIVE

1.1 - SITUATION

Il existe 2 glandes surrénales, droite et gauche, situées au pôle cranial des reins, à hauteur de T11. Elles sont situées dans l'espace rétro-péritonéal.

1.2 - FORME

Forme : grosse virgule, inversée, aplatie, la droite étant plus trapue (en « chapeau de gendarme »).

Elles présentent :

- Une extrémité caudale, large (tête de la virgule)
- Une extrémité craniale effilée (queue de la virgule)
- Deux faces, dorso-médiale et ventro-latérale
- Deux bords, latéral et médial

1.3 - DIMENSIONS

- Longueur = 4,5 cm
- Largeur = 3 cm
- Poids = 8 à 10 g.

1.4 - CONFIGURATION INTERNE

Entourées d'une capsule fibreuse propre, elles présentent :

- une **partie périphérique**, jaunâtre : la corticosurrénale qui sécrète les minéralo et glucocorticoïdes, ainsi que les androgènes
- une **partie centrale**, rosée, d'origine sympathique : la médullosurrénale qui sécrète les catécholamines

1.5 - ANOMALIES

- * Hétérotopie : inclusion de la glande dans le rein, le foie, la gonade.
- * Absence d'une surrénale.

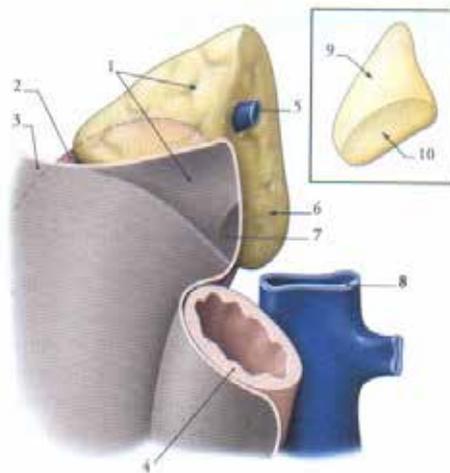


FIG. 1.4. Rapports antérieurs principaux de la glande surrénale droite

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| - en cartouche : vue postérieure | 5. v. surrénale |
| 1. surface hépatique | 6. surface de la v. cave inf. |
| 2. rein droit | 7. surface duodénale |
| 3. péritoine pariétal | 8. v. cave inf. |
| 4. duodénum | 9. surface diaphragmatique |
| | 10. surface rénale |

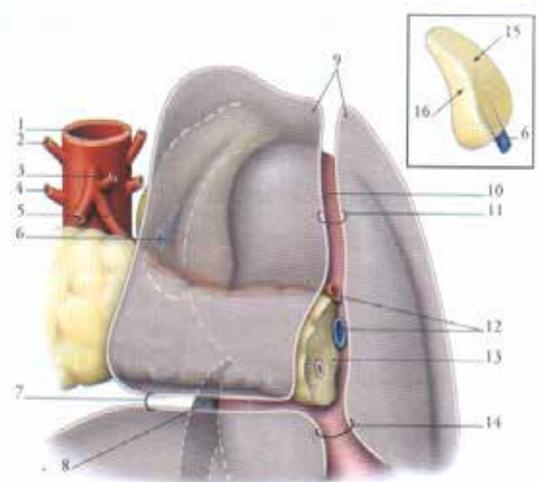
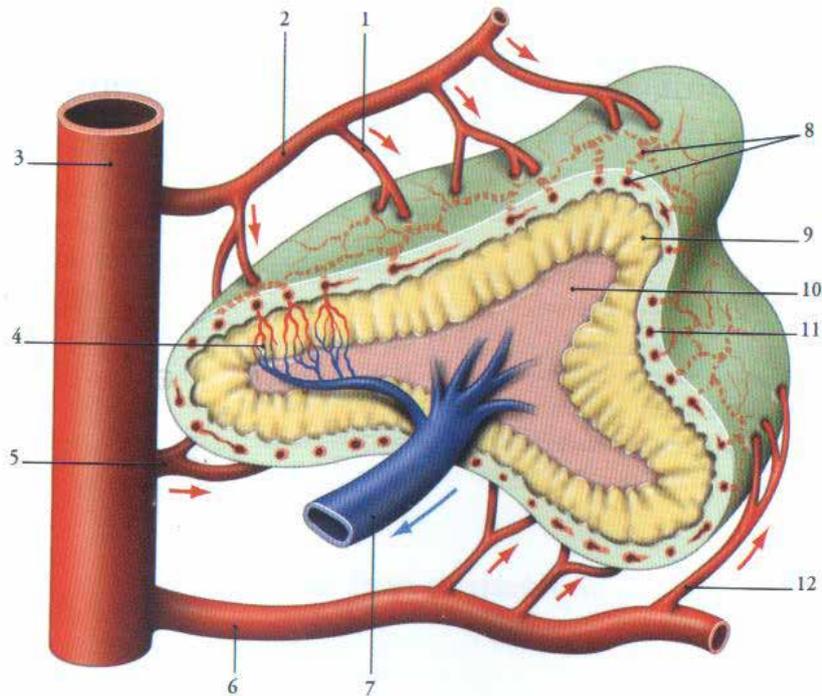


FIG. 1.5. Rapports antérieurs principaux de la glande surrénale gauche

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| - en cartouche : face postérieure | 8. pelvis rénal gauche |
| 1. aorte | 9. péritoine pariétal |
| 2. a. phrénique inf. | 10. rein gauche |
| 3. tronc cardiaque | 11. lig. spléno-rénal |
| 4. a. surrénale moyenne | 12. a. v. spléniques |
| 5. a. splénique | 13. pancréas |
| 6. v. surrénale | 14. mésocolon descendant |
| 7. mésocolon transverse | 15. surface diaphragmatique |
| | 16. surface rénale |

FIG. 1.6. Structure et vascularisation de la surrénale (schématique)

1. a. surrénale sup.
2. a. phrénique inf.
3. aorte
4. réseau capillaire
5. a. surrénale moyenne
6. a. rénale
7. v. surrénale
8. plexus artériel sous-capsulaire
9. cortex
10. médulla
11. capsule fibreuse
12. a. surrénale inf.



2. RAPPORTS

2.1 - LA LOGE SURRÉNALE

La glande surrénale est contenue dans une loge fibreuse qui dérive de la loge rénale, séparée d'elle par le fascia inter-surrénalo-rénal. La glande adhère aux parois de cette loge. Elle ne suit pas le rein lorsqu'il est ptôsé ou lorsqu'il est extériorisé lors d'une intervention chirurgicale.

2.2 - RAPPORT PAR L'INTERMÉDIAIRE DE LA LOGE

Ce sont les rapports avec les organes situés de part et d'autre de la loge rénale.

2.2.1 - RAPPORTS DE LA FACE DORSO-MÉDIALE

Identique à ceux de la face dorso-médiale du pôle cranial du rein

2.2.2 - RAPPORTS DE LA FACE VENTRO-LATÉRALE

- Rapports à droite : la VCI qui recouvre presque entièrement la glande.
- Rapports à gauche : les rapports sont identiques à ceux de la partie sus-mésocolique de la face ventro-latérale du rein gauche, c'est à dire : queue du pancréas, rate, estomac par l'intermédiaire de la poche rétrogastrique.

2.2.3 - BORD LATÉRAL

Il répond au pôle supérieur du rein.

2.2.4 - BORD MÉDIAL

Il répond :

- * La VCI à droite, l'aorte à gauche
- * les lymphatiques latéroaortiques
- * le plexus coéliqua

2.2.5 - EXTRÉMITÉ CAUDALE

Elle répond au pédicule rénal, à son contact à gauche, plus distant à droite.

3. VAISSEAUX ET NERFS

3.1 - ARTÈRES

3.1.1 - ARTÈRE SURRÉNALE SUPÉRIEURE

Provient de l'artère phrénique inférieure.

Ce poly a été téléchargé depuis med-tmss.blogspot.com/2016/08/cours.html | Page Fb : www.facebook.com/Faculte.de.Medecine.TMSS

3.1.2 - ARTÈRE SURRÉNALE MOYENNE

Provient directement de l'aorte.

3.1.3 - ARTÈRE SURRÉNALE INFÉRIEURE

Provient directement de l'artère rénale homolatérale.

3.2 - VEINES

3.2.1 - VEINE SURRÉNALE MOYENNE

C'est la veine principale. Elle se draine dans la VCI à droite, dans la veine rénale à gauche.

3.2.2 - VEINES SURRÉNALES ACCESSOIRES

Veines surrénales accessoires, supérieure et inférieure, inconstantes.

3.3 - LYMPHATIQUES :

Ils se drainent dans les nœuds latéroaortiques droit ou gauche.

3.4 - NERFS :

Extrêmement denses, ils constituent le plexus surrénal qui provient du plexus coélicaque.

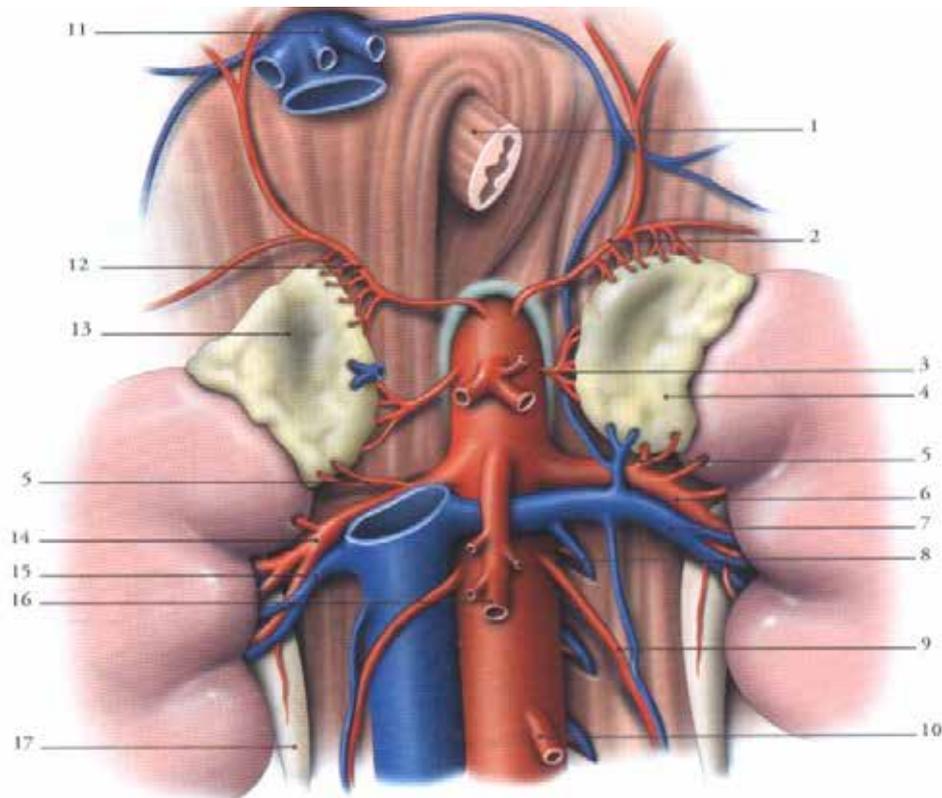


FIG. 1.1 Glandes surrénales : situation et vaisseaux

- | | | |
|----------------------------|---|--------------------------------|
| 1. œsophage abdominal | 7. v. rénale gauche | 12. aa. surrénales supérieures |
| 2. a. phrénique gauche | 8. anastomose avec la veine héli-azygos | 13. glande surrénale droite |
| 3. a. surrénale moyenne | 9. vaisseaux testiculaires ou ovariens | 14. a. rénale droite |
| 4. glande surrénale gauche | 10. a. mésentérique inférieure | 15. v. rénale droite |
| 5. a. surrénale inférieure | 11. v. cave inférieure | 16. a. mésentérique supérieure |
| 6. a. rénale gauche | | 17. urètre droit |

L'URETÈRE ABDOMINAL

Conduit excréteur de l'urine, faisant suite au bassinot, il s'étend depuis le pôle inférieur de celui-ci jusqu'à la vessie. Ce conduit contractile présente deux parties, abdominale et pelvienne, dont la séparation est située au niveau du détroit supérieur.

Dans son segment supérieur lombo-iliaque, il a un trajet vertical descendant légèrement oblique en bas et en dedans depuis le pôle inférieur du bassinot, à hauteur du processus transverse de la deuxième lombaire, jusqu'au détroit supérieur qu'il croise pour pénétrer dans le pelvis.

A. GÉNÉRALITÉS :

1. TRAJET :

L'uretère est situé dans l'espace rétro et sous-péritonéal. Il présente à décrire 3 segments.

- **Lombaire pré-psyque** : à peu près vertical.
- **Iliaque** : il croise le détroit supérieur à 3 cm environ de la ligne médiane.
- **Pelvien** : il décrit une courbe concave en avant et en dedans. Il est divisé en trois parties :
 - une partie pariétale
 - une partie viscérale
 - une partie vésicale.

2 - DIMENSIONS :

La longueur fait approximativement 25 à 30 cm. Le calibre est de 3 à 5 mm. A l'état de vacuité, l'uretère est aplati.

3 - ASPECT :

L'uretère est blanc rosé, animé de mouvements péristaltiques réguliers caractéristiques.

B. RAPPORTS :

1. LE SEGMENT LOMBO-ILIAQUE :

Il est situé dans l'espace rétro-péritonéal et présente deux segments : l'uretère lombaire et l'uretère iliaque.

A/ ANATOMIE DE SURFACE :

- **En arrière**, il se projette sur le sommet des processus (apophyses) transverses des vertèbres lombaires L3, L4 et L5.
- **En avant**, l'origine de la partie abdominale ou point urétérique supérieur est située à 4 cm de la ligne médiane.

L'extrémité inférieure de cette partie ou point urétérique inférieur, répond au tiers externe de la ligne unissant les deux épines iliaques antérosupérieures.

B/ L'URETÈRE LOMBAIRE :

- **En arrière** : Il repose sur le muscle grand psoas, sur lequel chemine le nerf génito-fémoral qui se dirige en bas et latéralement.
- **En avant** :
 - L'uretère droit : répond d'abord au fascia de Treitz qui le sépare du deuxième duodénum et du gène inférieurs. Plus bas, à la hauteur de la troisième vertèbre lombaire, le pédicule vasculaire de la gonade croise obliquement de haut en bas et de dedans en dehors la face antérieure de l'uretère. Plus en avant le fascia de Toldt accole le mésocôlon ascendant où cheminant les vaisseaux coliques droits qui croisent donc l'uretère : le côlon droit est situé un peu en dehors.

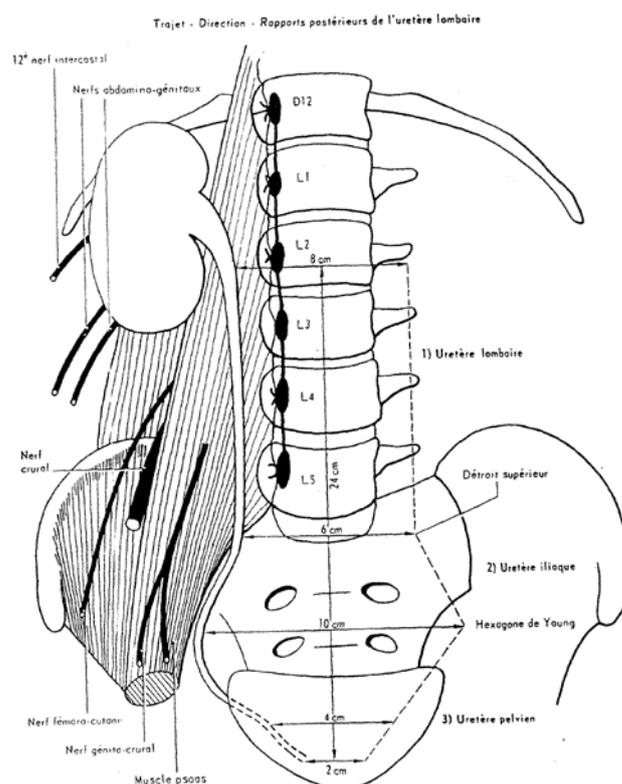
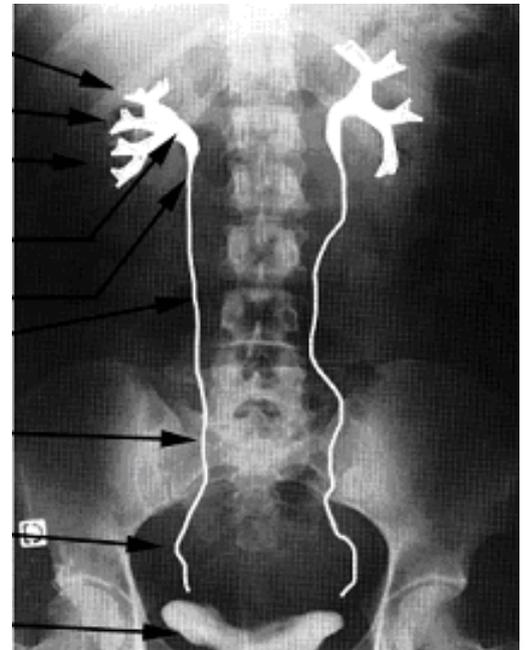


Schéma 14 : Uretère

-l'uretère gauche : répond dans toute son étendue au fascia de Toldt accolant le mésocolon gauche où cheminent les vaisseaux coliques gauches qui croisent l'uretère. Le colon descendant est situé plus en dehors. Il est également croisé, comme à droite, par les vaisseaux de la gonade, mais la veine, qui de ce côté se jette dans la veine rénale gauche, croise l'uretère plus haut qu'à droite.



• **Latéralement :**

Chaque uretère est adhérent à la partie infra-hilaire des reins, puis répond à droite au colon ascendant et à gauche au colon descendant.

• **Médialement :**

L'uretère droit répond à la veine cave inférieure et à ses nœuds lymphatiques. L'uretère gauche, à l'aorte abdominale et ses nœuds lymphatiques

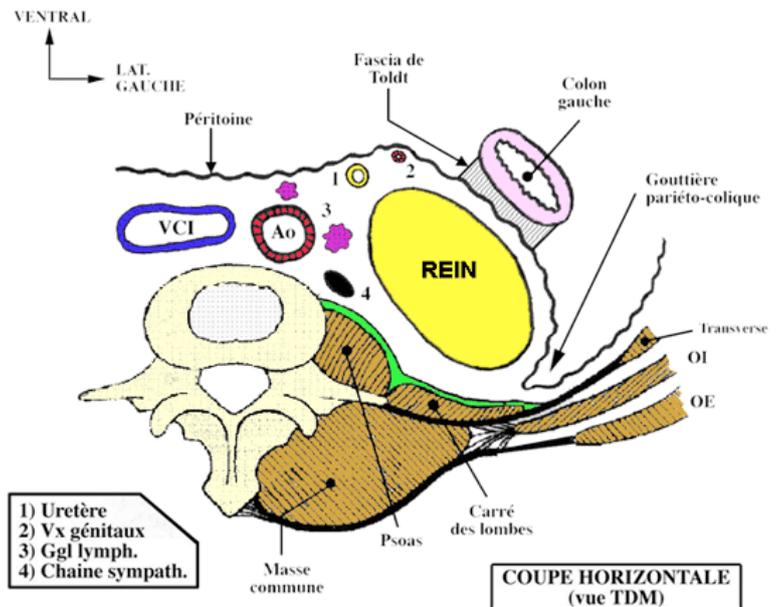
C. L'URETÈRE ILIAQUE :

• **En arrière :**

- Chez l'homme, l'uretère droit répond à l'origine des vaisseaux iliaques externes, et l'uretère gauche à la terminaison des vaisseaux iliaques communs.
- Chez la femme, chaque uretère répond à la terminaison des vaisseaux iliaques communs.

• **En avant :**

- L'uretère droit est croisé par la racine du mésentère et les vaisseaux iléo-coliques.
- L'uretère gauche est croisé par le mésocolon sigmoïde et les vaisseaux sigmoïdiens



2. L'URETÈRE PELVIEN :

Chemine dans l'espace sous-péritonéal et présente trois segments, pariétal, viscéral et vésical.

A. TRAJET :

- **Le segment pariétal :** descend contre la paroi pelvienne latérale en suivant le bord antérieur de la grande incisure ischiatique jusqu'au niveau de l'épine ischiatique où il s'incurve.
- **Le segment viscéral :** se dirige en avant et médialement, à distance du diaphragme pelvien.

B. CHEZ L'HOMME :

• **Le segment pariétal :**

Il descend en avant de l'artère iliaque interne. En dehors, il répond à la veine iliaque interne, au nerf obturateur, l'origine des vaisseaux ombilicaux, obturateurs et vésicaux inférieurs.

En dedans, il adhère à la face profonde du péritoine pelvien et répond au rectum dont le sépare la fosse para rectale.

• **Le segment viscéral :**

Il est surcroisé par le conduit déférent et traverse le ligament latéral de la vessie (lames recto-géni-to-vésico-pubiennes), entouré d'un plexus veineux et des rameaux du plexus hypogastrique inférieur. Puis

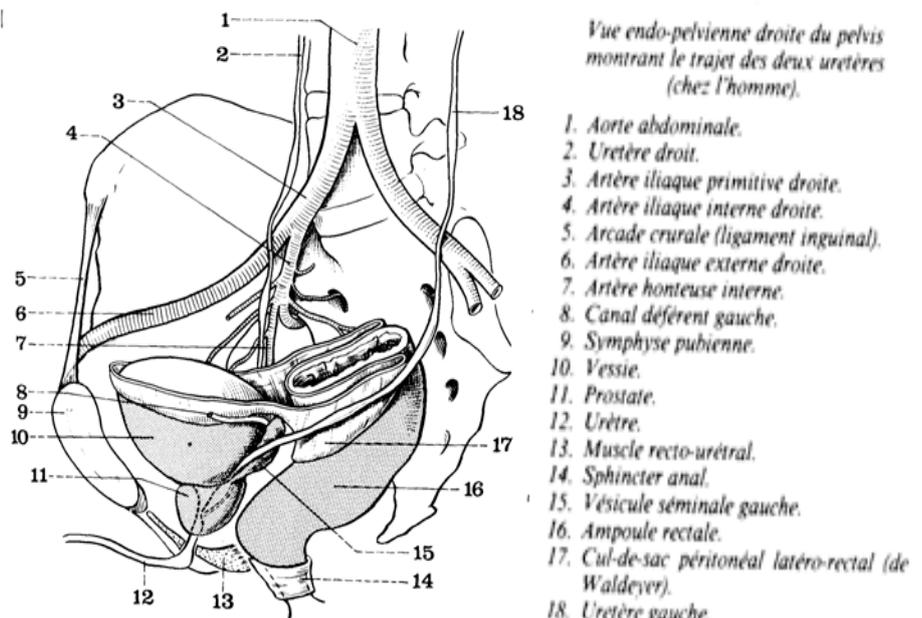


Schéma 2 : Uretère pelvien chez l'homme

il passe légèrement au-dessus de la vésicule séminale pour atteindre la base de la vessie.

- **Le segment vésical :**

Chaque uretère traverse obliquement la paroi vésicale sur 1 cm environ. Leurs pénétrations sont distantes de 4 cm environ. Leurs aboutements au niveau des angles latéraux

du trigone vésical sont distants de 2,5. Cet ostium vésical est elliptique.

C. CHEZ LA FEMME :

- **Le segment pariétal :**

Il descend en avant de l'artère iliaque interne.

En dehors, il est en rapport avec la veine iliaque interne, le nerf obturateur, les vaisseaux obturateurs, ombilicaux, utérins et vaginaux.

En dedans, il adhère à la face profonde du péritoine et répond au rectum dont le sépare la fosse pararectale

Par l'intermédiaire du péritoine pelvien, la présence de l'ovaire

Chez la nullipare : l'uretère croise en profondeur la fossette ovarienne.

Chez la multipare : la fossette ovarienne est plus postérieure entre l'uretère en avant, la paroi pelvienne postérieure, en arrière, et le ligament utéro-sacré, en dedans.

- **Le segment viscéral :**

Il se dirige en avant et médialement dans le paramètre le long du bord postéro médial de l'artère utérine. Ensuite l'artère utérine le croise en avant à 15 mm de l'isthme. A ce niveau il croise sur 1 à 2 cm le cul-de-sac latéral puis le cul-de-sac antérieur du vagin. Ensuite il parcourt brièvement le septum vésico-vaginal avant de pénétrer dans la vessie.

- **Le segment vésical :**

Il est identique à celui de l'homme.

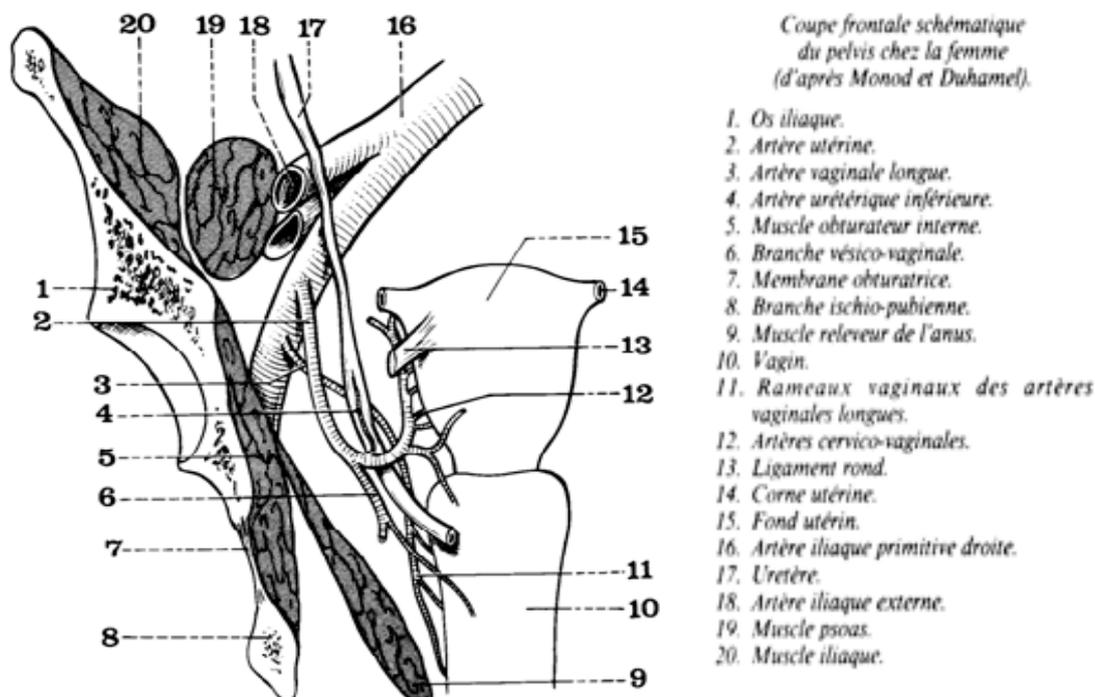


Schéma 3 : Uretère pelvien chez la femme

LA VESSIE

La vessie est un réservoir musculo-membraneux où s'accumule dans l'intervalle des mictions l'urine sécrétée de façon continue par les reins. Elle reçoit à sa partie postéro-inférieure les deux uretères et donne naissance à sa partie antéro-inférieure à son canal évacuateur : le canal de l'urètre. La vessie est caractérisée par son extensibilité. Aplatie lorsqu'elle est vide, elle peut se distendre considérablement en se remplissant ; sa morphologie, sa situation et ses rapports sont donc différents selon son état de réplétion ou de vacuité.

ANATOMIE DESCRIPTIVE :

1) LA FORME de la vessie dépend de son état de réplétion.

° **VIDE** : on peut lui reconnaître :

- * une face craniale, triangulaire et concave
- * une face ventro-caudale, convexe
- * une face dorso-caudale ou bas-fond,

Ces 2 dernières se rejoignent au niveau du col vésical

* 3 angles, 2 postérieurs et 1 antérieur, répondant à l'ouraqué, résidu allantoïdien.

° **PLEINE** : elle devient globuleuse, essentiellement au dépend de sa face supérieure que l'on appelle fréquemment calotte ou dôme vésical.

2) DIMENSIONS :

- ° vide, elle mesure 6 cm de longueur et 5 cm de largeur.
- ° Pleine, elle double ses dimensions.
- ° En moyenne, elle contient 300 cm³, chez l'adulte, mais peut contenir jusqu'à 2 ou 3 litres.

3) SA CONFIGURATION INTERNE : Cystoscopie

- * Le col, marqué par la présence des sphincters, lisse et strié.
- * Le bas-fond vésical
- * Le trigone vésical, situé entre les 2 orifices urétéraux réunis par le bourrelet interurétéral et le col vésical
- * Le dôme ou calotte vésicale

4) SA STRUCTURE :

- * une **muqueuse**, appelée urothélium
- * une **muscleuse** ou **détrusor** qui selon les niveaux affecte une disposition circulaire, longitudinale ou oblique
- * un **adventice** cellulo nerveux et vasculaire
- * le péritoine recouvre partiellement la vessie au niveau du dôme. La vessie peut donc être abordée chirurgicalement par voie extrapéritonéale.

Les uretères traversent obliquement cette paroi vésicale pour s'ouvrir aux angles craniaux et latéraux du trigone. L'implantation très oblique de l'uretère dans la paroi vésicale et son amarrage aux plans musculaires du trigone crée un dispositif **anti-reflux** qui fait qu'à l'état normal, l'urine ne peut en aucun cas remonter à contre-courant vers le rein.

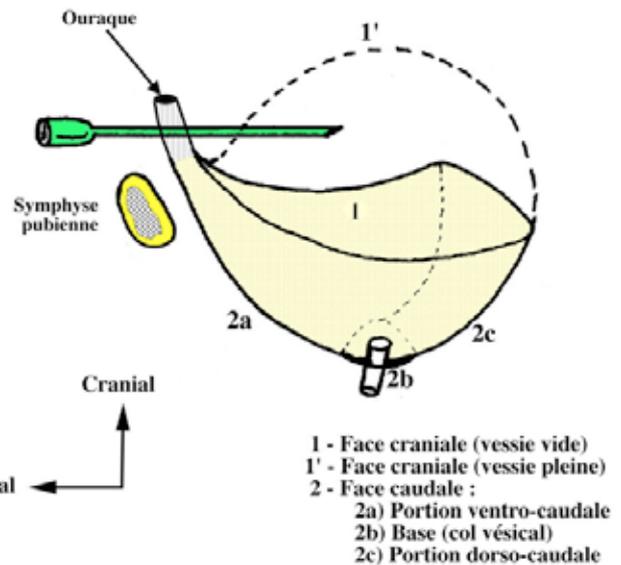


Figure 4 : Morphologie de la vessie

COUPE FRONTALE DE LA VESSIE

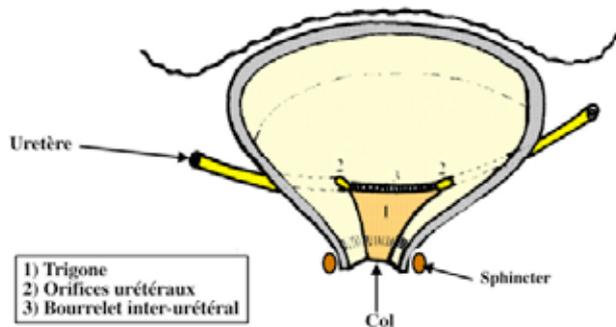


Figure 5 : Coupe frontale de la vessie

Trajet intra-mural de l'uretère

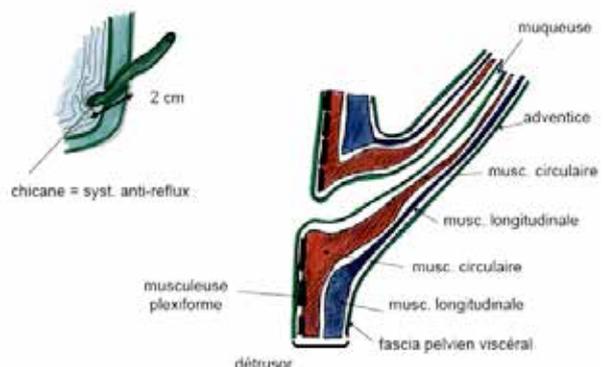


Figure 6 : Trajet de l'uretère

* **L'étude de la fonction vésicale** montre que l'organe est constitué de 2 parties :

- Le trigone, pièce musculaire maîtresse contrôlant les orifices urétéraux et le col vésical caractérisée par sa profondeur et sa fixité.
- La calotte ou dôme vésical, véritable chambre d'expansion, s'adaptant à chaque instant à son contenu et se contractant en force pour expulser l'urine au moment de la miction.

RAPPORTS DE LA VESSIE

1) RAPPORTS EN VENTRAL :

La vessie répond à la symphyse pubienne et à la paroi abdominale

- * Lorsque la vessie est vide, elle demeure enfouie en arrière de la symphyse pubienne : c'est un **organe purement pelvien**, ni palpable, ni percutable
- * Lorsque la vessie est pleine, elle se met en rapport avec la paroi abdominale antérieure : c'est un **organe abdomino-pelvien**. Elle devient alors palpable et percutable.
- * Elle reste séparée des parois abdomino-pelviennes par le plan cellulaire de glissement du fascia ombilico-prévésical.

2) RAPPORTS LATÉRAUX :

La vessie répond aux parois latérales ostéomusculaires du pelvis et aux vaisseaux iliaques.

3) RAPPORTS EN CAUDAL :

La vessie répond au plancher pelvien et surtout à la partie élévatrice du muscle élévateur du rectum

4) RAPPORTS EN DORSAL :

Ils sont différents chez l'homme et chez la femme :

- * **Chez l'homme**, la vessie répond à la prostate et aux vésicules séminales, puis au rectum par l'intermédiaire du septum rectoprostatique. Entre vessie et rectum se trouve le cul-de-sac rectogénital (de Douglas).
- * **Chez la Femme** : elle répond au vagin séparée de lui par le septum vésico-vaginal et à l'utérus. Le cul-de-sac rectogénital (de Douglas) n'est pas un rapport vésical.

5) RAPPORTS EN CRANIAL :

Le dôme vésical est qu'en partie tapissé de péritoine. On peut donc aborder la vessie chirurgicalement par voie extrapéritonéale. Par son intermédiaire, elle répond à la grande cavité péritonéale.

Chez la femme se crée entre utérus et vessie un cul-de-sac inter vésico-utérin dont la profondeur varie en fonction de l'état de remplissage de la vessie.

VASCULARISATION DE LA VESSIE :

1. LA VASCULARISATION ARTÉRIELLE :

Elle est répartie, chez l'homme comme chez la femme en trois pédicules :

- **LE PÉDICULE SUPÉRIEUR**, court et ramassé est formé par trois ou quatre branches qui naissent de la partie perméable de l'artère ombilico-vésicale au moment où elle longe le bord latéral de l'aponévrose ombilico-prévésicale. Il s'y ajoute parfois quelques rameaux nés de l'artère obturatrice.
- **LE PÉDICULE INFÉRIEUR**, le plus important est généralement étalé dans le sens antéro-postérieur. Il a un aspect et une constitution différents chez l'homme et chez la femme.

a. **Chez l'homme** : Le pédicule inférieur de la vessie est formé aux dépens de l'artère génito-vésicale, branche du tronc antérieur de l'hypogastrique qui après un court trajet sur la paroi pelvienne se dirige obliquement en bas, en avant et en dedans, croisant l'uretère par en avant pour venir se terminer au niveau de la vésicule séminale. Elle se divise à distance du bord latéral de la vessie en ses deux branches terminales.

- La vésiculo-déférentielle qui, comme son nom l'indique, se ramifie à la face postérieure de la vésicule séminale et de la partie terminale du déférent en donnant quelques collatérales à la base vésicale.

- L'artère prostatique qui se dirige en avant et se divise au contact de la base vésicale en une artère prostatique qui descend sur la base des faces latérales de la prostate et une branche vésicale inférieure qui s'applique sur la face postéro-latérale de la vessie ; c'est essentiellement l'artère du trigone vésical.

Ce poly a été téléchargé depuis med-tmss.blogspot.com/2016/08/cours.html | Page Fb : www.facebook.com/Faculte.de.Medecine.TMSS

b. Chez la femme : La vascularisation est assurée par les branches vésico-vaginales nées de l'artère utérine un peu en dehors de son point de croisement avec l'uretère dans le paramètre. Cheminant dans la cloison vésico-vaginale elles se ramifient à la base vésicale. Ce pédicule est complété par quelques rameaux issus de l'artère vaginale longue et des artères cervico-vaginales.

– **Le pédicule antérieur**, moins important est formé par l'artère vésicale antérieure qui, née de la honteuse interne dans le périnée antérieur, gagne la face antéro-inférieure de la vessie où elle se ramifie

2. LA VASCULARISATION VEINEUSE :

Les veines vésicales ont une disposition différente de celles des artères puisqu'il n'existe pas de veines ombilicales. Elles tirent leur origine d'un important réseau superficiel qui chemine dans l'épaisseur de la gaine allantoïdienne, particulièrement à la face antérieure de la vessie. Les veines efférentes de ce réseau superficiel se regroupent en **trois pédicules** :

- **Un pédicule antérieur** formé par deux volumineuses veines paramédianes qui descendent sur la face antérieure de la vessie et se déversent en bas dans le plexus veineux préprostatique de Santorini, chez l'homme et de là gagnent les veines honteuses internes.
- **Un pédicule latéral**, le plus important qui se jette dans les plexus veineux vésico-prostatiques et de là gagne les veines vésicales.
- **Un pédicule postérieur**, rejoignant les veines séminales et déférentielles chez l'homme, les veines vésico-utérines chez la femme pour rejoindre plus loin les veines hypogastriques

3. LES LYMPHATIQUES:

Les lymphatiques vésicaux prennent leur origine à partir de la musculuse et de la muqueuse. Ceux de la face antérieure présentent quelques ganglions paravésicaux et vont se jeter dans les **ganglions iliaques externes**. Les lymphatiques de la partie postérieure de la vessie se rendent aux ganglions de la **bifurcation de l'hypogastrique**.

Les lymphatiques du col vésical longent les lames sacro-recto-génito-vésico-pubiennes pour gagner les **ganglions du promontoire**.

4. LES NERFS vésicaux proviennent d'une part des troisième et quatrième nerfs sacrés, d'autre part et surtout du plexus hypogastrique. Ils gagnent la vessie en cheminant le long des lames sacro-génito-pubiennes en passant en dehors des vésicules séminales chez l'homme, à l'intérieur du paramètre, au-dessus de l'uretère, chez la femme.

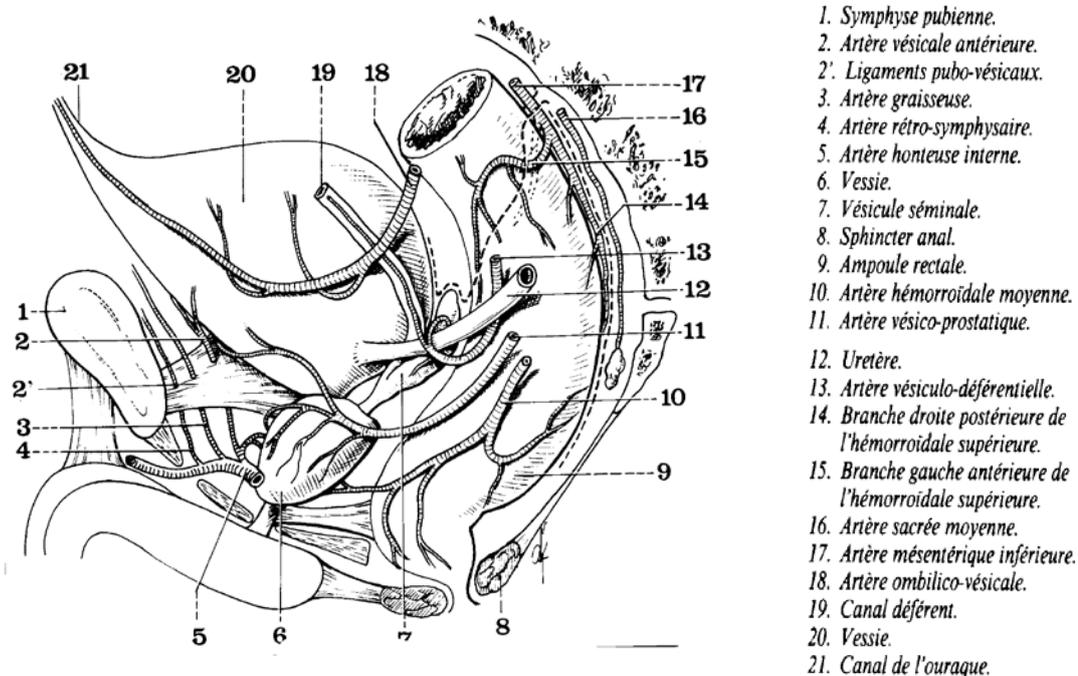


Schéma 7 : Vascularisation artérielle de la vessie chez l'homme

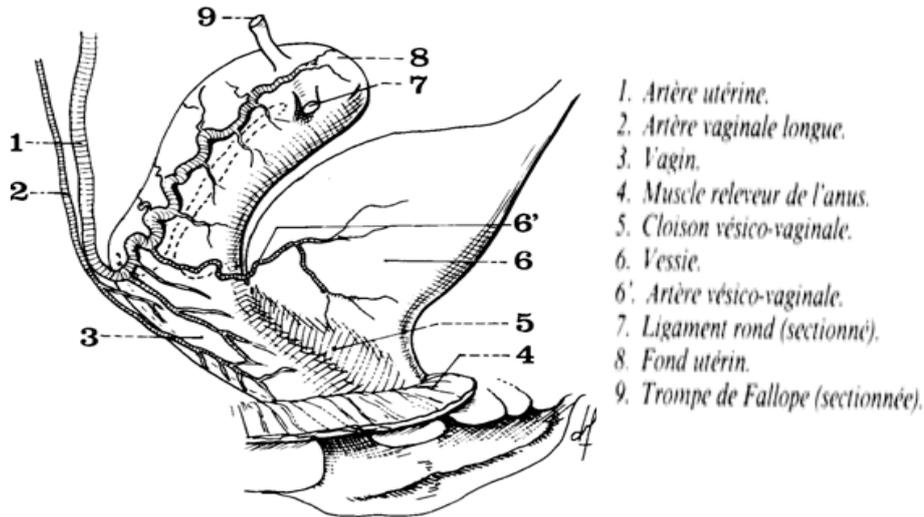


Schéma 8 : Vascularisation artérielle de la vessie chez la femme

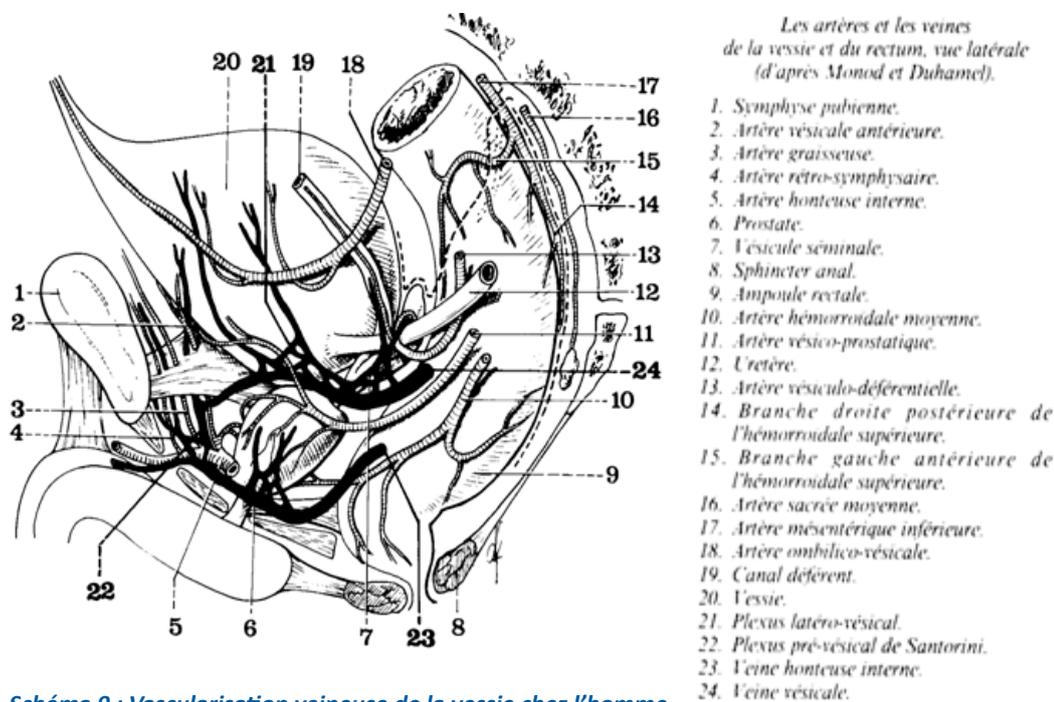


Schéma 9 : Vascularisation veineuse de la vessie chez l'homme

L'URETHRE MASCULIN

Il s'étend du col de la vessie et se termine à l'extrémité du pénis, au niveau du gland, par le méat urétral.

Il mesure, en moyenne, 16 cm de long.

On lui reconnaît **2 parties** : l'urètre postérieur et l'urètre antérieur.

1) URÈTRE POSTÉRIEUR :

L'urètre postérieur qui comprend l'urètre prostatique et l'urètre membraneux :

* URÈTRE PROSTATIQUE :

La prostate contient l'urètre prostatique qui est entouré du **sphincter lisse**, cependant que le **sphincter strié** refoulé par le développement de la prostate n'adopte une disposition véritablement en sphincter qu'au niveau du bec de la prostate.

A sa partie moyenne, l'urètre présente :

- * une saillie dorsale, le **veru montanum** (ou **colliculus séminal**). A sa partie supérieure, existe 2 replis, les **freins** du colliculus, dont l'hypertrophie peut entraver la miction, surtout chez le garçon (valves de l'urètre)
- ° au centre duquel s'ouvre l'**utricule prostatique**, résidu embryonnaire, d'environ 1 cm de long. Il est borgne.
- ° avec de chaque côté, les orifices des **canaux éjaculateurs** qui traversent obliquement la prostate.
- * Le **veru montanum** (colliculus séminal) est constitué de tissu érectile. Lors de l'érection, il se dilate, basculant vers la paroi ventrale de l'urètre, empêchant d'une part la miction lors de l'éjaculation et évitant que cette éjaculation ne soit rétrograde.

* **URÈTRE MEMBRANEUX** : c'est la courte portion qui traverse le plancher pelvien

2) URÈTRE ANTÉRIEUR

L'urètre antérieur est formé par l'**Urètre spongieux** :

Appelé ainsi, car il est englobé dans une formation érectile, le corps spongieux. Il reçoit les **glandes bulbo-urétrales** qui assurent une lubrification de l'urètre. Dans sa portion juxta méatique, au niveau du gland, il s'élargit en une **fossette naviculaire**.

Lorsque le pénis est flaccide, la direction de l'urètre est d'abord ventrale puis l'urètre se coude en caudal à l'intérieur de la verge. Ainsi, l'urètre présente un **trajet en « S » inversé** avec 2 courbures :

- * 1 dorsale et concave, en cranial et ventral, qui correspond à la jonction entre l'urètre membraneux et spongieux.
- * 1 ventrale et concave, en caudal et dorsal.

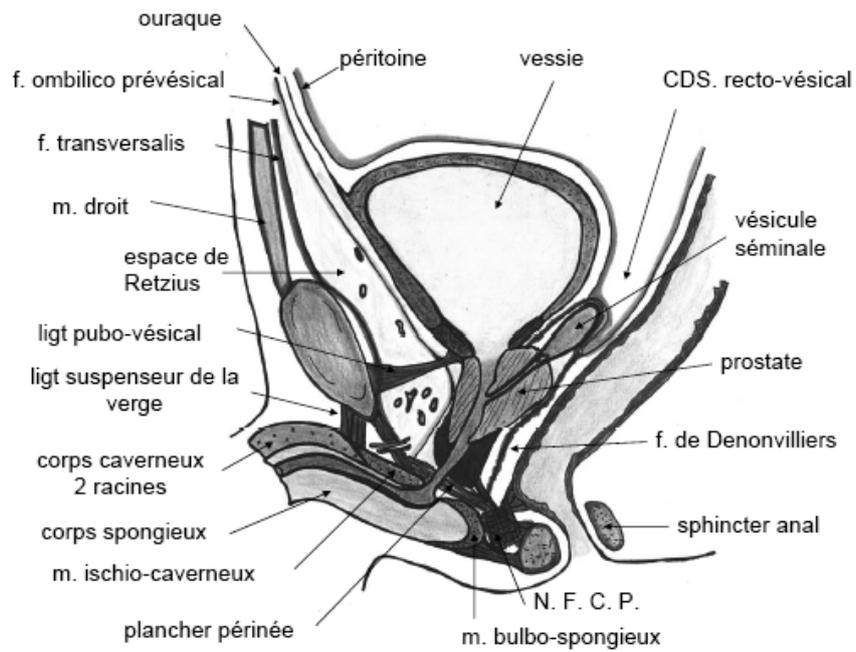


Schéma 1 : Coupe sagittale du pelvis et du périnée

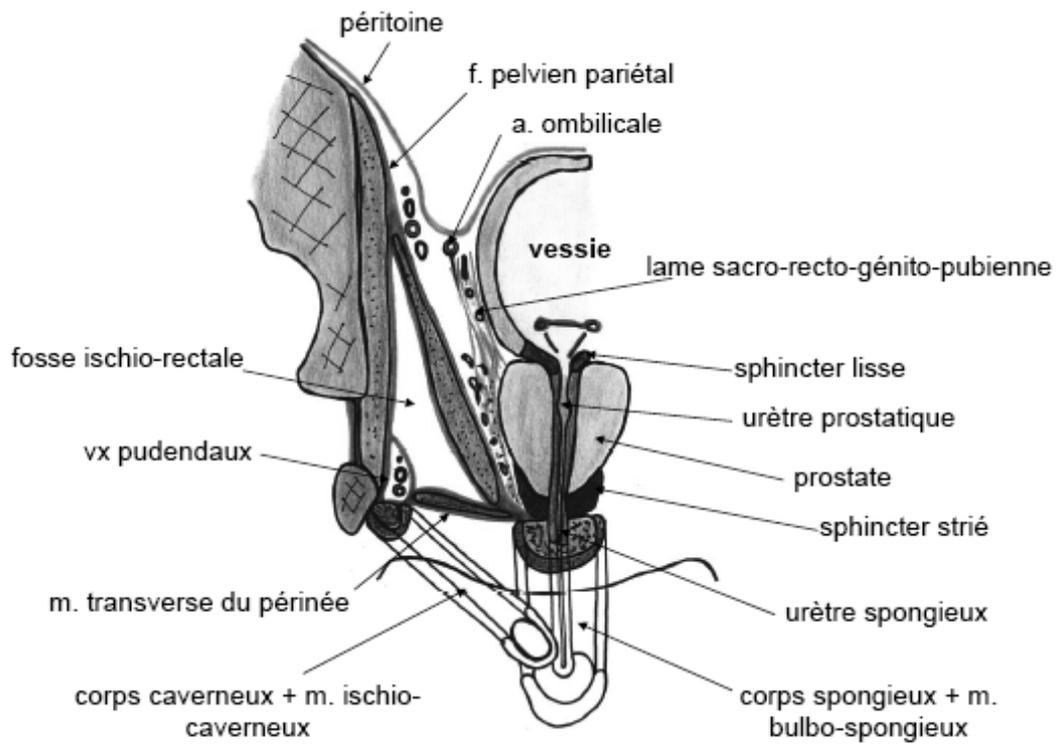


Schéma 2 : Coupe frontale du pelvis et du périnée

L'URETHRE FÉMININ

Il s'étend du col de la vessie jusqu'à la vulve où il s'ouvre par un orifice légèrement proéminent.

Il décrit dans son ensemble une courbe concave en ventral. Il mesure, en moyenne, 3 cm de long.

On lui décrit 2 parties :

1) UNE PARTIE PELVIENNE : entre le col et le muscle élévateur de l'anus. A sa partie supérieure se trouvent les sphincters, lisse et strié. Cette partie reste séparée du vagin par le septum vésico-vaginal.

2) UNE PARTIE PÉRINÉALE : entre muscle élévateur et vulve. Cette partie est étroitement unie au vagin par une lame cellulo-fibreuse -> danger de fistule urétrale dans la chirurgie vaginale.

PCEM2

HISTO-EMBRYOLOGIE

L'APPAREIL EXCRÉTEUR

URINAIRE

HISTOLOGIE DE L'APPAREIL URINAIRE

Les objectifs éducationnels

Au terme de ce cours, l'étudiant pourra :

1. Citer les différents éléments constitutifs du tube urinaire en indiquant la topographie de chaque élément dans le parenchyme urinaire
2. Décrire la structure et l'ultrastructure des différents éléments constitutifs du tube urinaire
3. Dresser le diagramme de la vascularisation du rein en précisant la destinée des différentes branches artérielles
4. Décrire la structure et l'ultrastructure des différents éléments constitutifs de l'appareil juxtaglomérulaire
5. Indiquer les éléments structuraux de l'interstitium rénal
6. Établir la relation entre les particularités morphologiques (architecture, structure, ultrastructure) du parenchyme rénal et les différentes étapes de la formation de l'urine
7. Expliquer le rôle assuré par l'appareil juxtaglomérulaire
8. Citer les autres fonctions du rein
9. Décrire la structure histologique et les particularités histophysiologiques des voies excrétrices du haut et du bas appareil
10. Reconnaître sur diapositives et sur lames les différents constituants du rein et des voies excrétrices

Prérequis

- Tissus épithéliaux
- Tissus conjonctifs
- Tissus musculaires
- Structure des vaisseaux

PLAN

1. Introduction

2. Les reins

2.1. Organisation générale du rein

2.2. Le tube urinaire

2.2.1 Les constituants du néphron

2.2.2 Les tubes collecteurs

2.2.3 La topographie du tube urinaire

2.3. L'appareil juxtaglomérulaire

2.4. L'interstitium rénal

2.5. La vascularisation rénale

2.5.1 sanguine

2.5.2 lymphatique

2.6. L'innervation

2.7. Histophysiologie

2.7.1 La filtration glomérulaire

2.7.2 La réabsorption et la sécrétion tubulaires

2.7.3 La concentration des urines

2.7.4 La fonction endocrine du rein

3. Les voies excrétrices de l'urine

3.1. Le haut appareil

3.2. Le bas appareil

3.2.1 La vessie

3.2.2 L'urètre

1. INTRODUCTION

L'appareil urinaire comporte :

- deux reins
- deux uretères
- la vessie
- l'urètre.

L'appareil urinaire assure l'homéostasie c'est-à-dire le maintien de l'équilibre hydroélectrolytique de l'organisme. D'autre part, il participe à l'élimination d'une grande partie des déchets métaboliques, essentiellement des produits azotés (urée et créatinine) et des toxines.

Le rein est constitué par la « juxtaposition » de formations élémentaires, les tubes urinaires. Chaque tube urinaire est constitué de structures hautement différenciées qui assurent trois processus fondamentaux, filtration, réabsorption et sécrétion. L'ensemble aboutit à la formation de l'urine définitive qui est rejetée à l'extérieur grâce à des voies excrétrices, les unes intrarénales, les autres extrarénales.

Ces fonctions impliquent une irrigation sanguine importante : le sang est apporté aux reins par les artères rénales issues de l'aorte abdominale et repart, après avoir été « filtré », par les veines rénales débouchant dans la veine cave inférieure.

L'urine produite par les reins circule dans les uretères, se déverse et est stockée dans la vessie. Lors de la miction ; elle est éliminée à l'extérieur par l'urètre au niveau du méat urinaire.

2. LES REINS

Les reins exercent deux fonctions essentielles :

- une fonction exocrine qui est la formation de l'urine
- une fonction endocrine par la sécrétion d'hormones (rénine, érythropoïétine, prostaglandines)

Les reins sont deux organes pairs encapsulés situés dans la partie supérieure du rétropéritoine, de part et d'autre de la colonne vertébrale lombaire ; ils ont une forme de haricot de 12 cm de long, 6 cm de large et 3 cm d'épaisseur ; leur bord concave interne constitue le hile par où pénètrent et sortent les vaisseaux et les nerfs ; au niveau du hile, l'uretère s'épanouit en un large cône constituant le bassinnet.

2.1 ORGANISATION GÉNÉRALE DU REIN (FIG 1)

Le rein renferme un grand nombre de néphrons (environ un million) « drainés » par les tubes collecteurs. L'ensemble néphron et tube collecteur forme un tube urinaire. Le parenchyme rénal est l'association des tubes urinaires et d'éléments vasculaires, dans une fine charpente conjonctive. La topographie rénale est complexe et fondée sur la répartition des différents segments des tubes urinaires.

L'examen d'une coupe frontale de rein montre, de la périphérie vers le centre, la capsule,

la zone corticale et la zone médullaire.

- **La capsule**, tissu conjonctif dense vascularisé et richement innervé, est doublée extérieurement par un coussinet adipeux.
- **La zone corticale**, à la coupe, est brunâtre, parsemée de petits points rouges, à la limite de la visibilité, qui sont les corpuscules de Malpighi. Elle comprend :
- **Le cortex corticis**, région sous-capsulaire peu épaisse dépourvue de corpuscules de Malpighi, qui n'existe pas chez le fœtus ni chez le nouveau-né.
- **Les pyramides de Ferrein***, très étroites et allongées ; leurs bases se confondent avec la base d'une pyramide de Malpighi et leurs sommets sont périphériques, mais n'atteignent pas la surface du rein.

* les pyramides de Ferrein sont appelées « irradiations médullaires » par certains auteurs

- **Le labyrinthe**, région la plus développée, est l'ensemble des territoires situés sous le cortex corticis et entre les pyramides de Ferrein.

- **La zone médullaire**, à la coupe, est rougeâtre avec une striation radiée, disposée en éventail à partir du hile. Elle comporte 10 à 18 formations coniques ou pyramidales, les **pyramides de Malpighi** ; le sommet de chaque pyramide de Malpighi fait saillie au niveau d'un petit calice en constituant une papille rénale qui est criblée de 10 à 20 pores urinaires (10 à 18 calices par rein) ; sur leurs bases se trouvent 400 à 500 pyramides de Ferrein. Latéralement, les pyramides de Malpighi sont séparées les unes des autres par les colonnes de Bertin.

Chaque rein comporte 10 à 18 lobes rénaux. Chaque lobe est constitué d'une pyramide de Malpighi, des pyramides de Ferrein qui s'en détachent et des moitiés de colonnes de Bertin voisines ; un lobule rénal correspond à une pyramide de Ferrein et aux moitiés du labyrinthe avoisinant.

La notion topographique de « zone corticale et de zone médullaire » doit être complétée par la notion de « substance corticale et de substance médullaire » :

- la substance corticale est constituée par le cortex corticis lorsqu'il existe, le labyrinthe et les colonnes de Bertin et renferme des corpuscules de Malpighi (sauf dans le cortex corticis) et les portions contournées du néphron
- la substance médullaire est constituée par les pyramides de Malpighi et de Ferrein et renferme les autres éléments du tube urinaire ; elle est dépourvue de corpuscule de Malpighi.

2.2 LE TUBE URINAIRE (FIG 2)

Le tube urinaire est l'**unité morpho-fonctionnelle** du rein ; il est formé de deux éléments d'origine embryologique différente :

- le **néphron** (corpuscule de Malpighi, segment proximal, segment moyen, segment distal)
- le tubule (ou tube) collecteur, le tube de Bellini et la papille

2.2.1 LES CONSTITUANTS DU NÉPHRON

Le néphron comprend une formation sphérique, le corpuscule de Malpighi (encore appelé glomérule de Malpighi ou corpuscule rénal), et un long canal constitué de trois segments successifs, le segment proximal, avec une portion contournée puis une portion droite, le segment moyen, le segment distal avec une portion droite puis une portion contournée. Le segment distal débouche par le canal d'union dans un tube collecteur ; plusieurs néphrons, donc plusieurs canaux d'union débouchent dans un tube collecteur commun ; le tube collecteur s'élargit de plus en plus, devient « tube de Bellini », et débouche dans un petit calice. L'anse de Henlé regroupe la partie droite du segment proximal, le segment moyen et la partie droite du segment distal.

a. Le corpuscule de Malpighi

Le corpuscule de Malpighi est une petite sphère de 200 micromètres de diamètre qui comporte deux pôles diamétralement opposés :

- le pôle vasculaire où arrive une artériole afférente, et d'où part une artériole efférente
- et le pôle urinaire où l'urine primitive quitte le glomérule vers la portion contournée du segment proximal du néphron.

Le corpuscule de Malpighi (**Fig 3**) est composé d'une capsule périphérique, la capsule de Bowman, et d'un peloton vasculaire (floculus vasculaire) formé d'anses capillaires interposées entre deux artérioles (**système porte artériel**).

o la capsule de Bowman

Elle est constituée de deux feuillets, un pariétal et un viscéral. L'espace libre entre les deux feuillets forme la chambre glomérulaire (ou chambre de filtration) et est en continuité avec la lumière du segment proximal.

- le **feuillet pariétal** : c'est le feuillet externe, constitué par un épithélium pavimenteux simple reposant sur une lame basale doublée de quelques fibres de collagène. Au pôle urinaire, ce feuillet est en continuité avec l'épithélium du segment proximal du néphron.
- le **feuillet viscéral** : c'est le feuillet interne, constitué par les **podocytes (Fig 4, 5 et 6)**. Ces cellules sont caractérisées par la présence de nombreux prolongements primaires autour des capillaires glomérulaires. Ces prolongements primaires donnent naissance à des prolongements secondaires et tertiaires ou pédicelles. Ces derniers s'interdigitent avec les **pédicelles** des podocytes voisins, ménageant des espaces intercellulaires ou « fentes de filtration » qui permettent à l'ultrafiltrat de passer des capillaires glomérulaires à la chambre glomérulaire. L'extrémité légèrement renflée des pédicelles est appliquée sur la lame basale du capillaire sous-jacent ; l'espace entre deux extrémités adjacentes est occupé par un diaphragme lui-même percé de petits pores. Le reste du cytoplasme d'un podocyte renferme le noyau, les organites habituels, de nombreuses vacuoles de pinocytose, des microfilaments et des microtubules ; la membrane plasmique possède un cell-coat développé. Au pôle vasculaire du corpuscule, ce feuillet se réfléchit et se continue par le feuillet pariétal.

o le peloton vasculaire (Fig 4, 5 et 6) :

L'artériole afférente aborde le pôle vasculaire et se divise en 4 à 6 branches qui se ramifient chacune en de nombreuses anses capillaires autour d'un axe conjonctif appelé le **mésangium** ; l'ensemble formé par un axe mésangial et les capillaires qui lui sont associés est appelé lobule glomérulaire (il y a donc 4 à 6 **lobules glomérulaires** par corpuscule de Malpighi) (Fig 7). Les capillaires se rassemblent pour former, au pôle vasculaire, l'artériole efférente dont le diamètre est plus faible que celui de l'artériole afférente.

- les capillaires : ils sont de type **fenestré**. La partie la plus épaisse des cellules endothéliales contenant le noyau et les organites est située du côté de l'axe mésangial, tandis que les parties présentant des pores sont plaquées sur la lame basale doublée par les pédicelles des podocytes.
- la lame basale : elle est plus épaisse que les autres lames basales de l'organisme ; trois couches y sont identifiées sur des clichés de microscopie électronique (lamina rara interna, lamina densa, lamina rara externa du côté des podocytes). Il n'y a pas de lame basale entre cellules endothéliales et mésangium. La membrane basale et les diaphragmes forment une barrière mécanique sélective retenant les molécules de l'ultrafiltrat dont le diamètre est supérieur à 10 nm. Les protéoglycanes de la lame basale, chargés négativement, forment une barrière électrostatique supplémentaire.
- le mésangium : il est formé de fibroblastes particuliers, les **cellules mésangiales**, et d'une **matrice mésangiale**, intercel-

lulaire, riche en fibronectine. Les cellules mésangiales correspondent aux péricytes des autres capillaires. Elles ont des contours irréguliers, phagocytent les résidus de la filtration (contiennent des lysosomes), sont contractiles (riches en myofilaments), portent des récepteurs à l'angiotensine et modulent le débit de la filtration glomérulaire. Elles participent aussi au renouvellement continu de la lame basale et de la matrice mésangiale.

b. Le segment proximal (fig 8)

C'est le segment le plus long du néphron (12 à 14 mm) (*ce qui explique la prépondérance des coupes de tube contourné proximal dans le parenchyme cortical*); il prend naissance au pôle urinaire du corpuscule de Malpighi. Il décrit d'abord de véritables boucles, apparaissant de ce fait sous des incidences de coupe variables (transversales, obliques et longitudinales), formant la portion contournée du segment proximal. Il se continue par une portion droite appelée pars recta par certains auteurs. C'est aussi le segment le plus large du néphron (mis à part le corpuscule) avec un diamètre de 50 à 60 micromètres. On observe schématiquement la même structure sur toute sa longueur.

* *en microscopie photonique*, sur une coupe transversale, le segment proximal apparaît constitué d'un épithélium cubique ou légèrement cylindrique, à noyau arrondi en position médiane et à cytoplasme très coloré (car riche en organites); il possède en outre des différenciations cytologiques spécifiques : une bordure en brosse au pôle apical (ou luminal) et des striations perpendiculaires à la lame basale du côté du pôle basal, appelées bâtonnets de Heidenhain.

* *en microscopie électronique*, la bordure en brosse est formée de microvillosités plus ou moins régulières, revêtues d'un cell-coat développé et renfermant des microfilaments. A la base des microvillosités, on observe des vacuoles d'endocytose. Les cellules sont liées entre elles par des systèmes de jonction comportant des jonctions étanches du côté de la lumière. La membrane plasmique du côté basal s'invagine profondément, entre de nombreuses mitochondries alignées les unes derrière les autres, correspondant aux « bâtonnets » de la microscopie optique. Le cytoplasme est riche en lysosomes et en peroxyosomes. Les parois latérales des cellules épithéliales sont très irrégulières. Les membranes plasmiques basales et latérales sont riches en ATPases Na⁺/K⁺ dépendantes. Tous ces dispositifs suggèrent l'existence d'échanges nombreux entre lumière, cellule épithéliale et tissu interstitiel (augmentations de la surface d'échange), avec passage actif du côté basal (mitochondries).

c. Le segment moyen (fig 8)

Sa longueur est variable d'un néphron à l'autre. Il est très court dans les néphrons courts (dits corticaux ou superficiels à segment grêle descendant), très long dans les néphrons longs (corticaux profonds ou juxtamédullaires à segment grêle en forme d'épingle à cheveux). La transition est brutale entre le tube proximal (portion droite) et le segment moyen. Celui-ci a un diamètre de 12 à 15 micromètres ; les cellules de sa paroi sont très aplaties avec un noyau ovalaire faisant saillie dans la lumière du tube (on parle de cellules endothéliiformes).

d. Le segment distal (fig 9)

Il est plus court que le segment proximal ; il comporte une portion droite puis une portion contournée qui se rapproche du corpuscule rénal d'origine au niveau de son pôle vasculaire (formant la macula densa) puis s'en éloigne pour s'ouvrir par un court canal d'union dans le tube collecteur ; son diamètre est de 35 à 40 micromètres ; sa paroi est formée de cellules cubiques claires sans différenciation apicale, mais avec un pôle basal comparable à celui du segment proximal ; l'étude ultrastructurale montre que le pôle apical possède quelques microvillosités petites et irrégulières, que le cytoplasme est moins riche en organites et que les mitochondries sont moins nombreuses et moins longues que dans le segment proximal.

2.2.2 LES TUBES COLLECTEURS (FIG 8)

Le calibre des tubes collecteurs augmente des pyramides de Ferrein jusqu'à la papille où ils s'ouvrent dans un petit calice ; la hauteur de l'épithélium augmente également, de cubique simple à prismatique simple. Deux types cellulaires au moins sont reconnaissables dans l'épithélium, des cellules claires et des cellules sombres. Ces dernières sont plus riches en mitochondries, en vésicules cytoplasmiques et présentent des microvillosités apicales et quelques invaginations basales. Elles participent à l'équilibre acido-basique par absorption de bicarbonate. Le pôle apical des cellules claires bombe souvent dans la lumière des tubes. Vers la papille, les tubes de Bellini sont tapissés par un épithélium cylindrique et leur diamètre atteint 100 à 150 microns ; ils s'ouvrent dans la papille rénale de la pyramide de Malpighi, formant un véritable tamis (l'area cribosa) au niveau du calice. Ils sont sous le contrôle de l'hormone antidiurétique et absorbent environ 4% de l'eau de l'urine.

2.2.3 LA TOPOGRAPHIE DU TUBE URINAIRE

L'étude des différents segments du tube urinaire permet de mieux comprendre la structure histologique du rein ; c'est en effet la position des tubes urinaires dans le parenchyme rénal, l'emplacement et la longueur des différents segments qui déterminent la substance corticale et la substance médullaire rénale et les différentes zones de chacune d'elles.

Les corpuscules de Malpighi sont tous situés dans la substance corticale

- soit au voisinage de la base des pyramides de Malpighi : ce sont les corpuscules juxtamédullaires des néphrons longs
- soit à distance, ce sont les corpuscules corticaux des néphrons courts
- soit dans les colonnes de Bertin

Chez l'adulte, ils n'existent pas dans le cortex corticis. Par contre, ils y sont présents chez le fœtus, le nouveau-né et le nourrisson.

Les parties contournées des tubes proximaux et distaux sont situées dans la substance corticale

Les parties droites des segments proximaux et distaux sont situées essentiellement dans la substance médullaire

Les parties descendantes et ascendantes des segments moyens sont situées dans les pyramides de Malpighi

Les tubes collecteurs sont situés dans les pyramides de Ferrein et les pyramides de Malpighi.

La longueur du segment moyen varie selon le type du néphron :

- néphron long : le segment moyen est long et forme une anse en U qui s'étend profondément dans la pyramide de Malpighi
- néphron court : le segment moyen est court et réduit à un segment descendant, pouvant être localisé dans les pyramides de Ferrein.

2.3 L'APPAREIL JUXTAGLOMÉRULAIRE (FIG 9)

L'appareil juxtaglomérulaire se situe au pôle vasculaire du corpuscule rénal et comporte trois éléments :

- **les cellules granuleuses de l'artériole afférente**, encore appelées cellules myoépithélioïdes de Ryuters, sont des cellules musculaires lisses modifiées qui remplacent les cellules musculaires de la média dans la partie terminale de l'artériole. Celle-ci perd sa limitante élastique interne. Les cellules myoépithélioïdes prennent une forme de cellules plus ou moins cubiques ; on en trouve quelques-unes dans l'artériole efférente. Elles contiennent quelques myofilaments et des granulations PAS+ et Bleu Alcian +. Ce sont des grains de zymogène à l'origine de la rénine, protéase qui clive l'angiotensinogène en angiotensine I. Une enzyme des cellules endothéliales pulmonaires transforme ultérieurement l'angiotensine I en angiotensine II. Ce dernier est un puissant vasoconstricteur qui élève la pression sanguine et influence indirectement le niveau du débit sanguin rénal.
- **les cellules de la macula densa** se situent dans la partie initiale de la portion contournée du segment distal qui vient s'accoler au glomérule rénal d'origine entre artériole afférente et artériole efférente ; la macula densa est une zone en regard de l'artériole afférente et des cellules du lacis. Elle est formée de cellules plus hautes, plus étroites et plus nombreuses que les cellules du reste du segment distal. Leur noyau arrondi ou ovalaire est situé du côté de la lumière du tube. Elles ne possèdent pas de bâtonnets de Heidenhain et l'appareil de Golgi est infranucléaire.
- **les cellules du lacis** remplissent l'espace pyramidal situé entre l'artériole afférente, l'artériole efférente et le segment distal ; elles forment une sorte de spirale conique de cellules allongées, à noyau ovalaire, à cytoplasme clair et pauvre en organites. Elles sont disposées en « pile d'assiettes ». Chaque cellule est entourée par une lame basale. Elles sont considérées comme la prolongation des cellules mésangiales et ont les mêmes propriétés contractiles et macrophagiques.

2.4 L'INTERSTITIUM RÉNAL

Les tubes urinaires sont entourés d'un tissu conjonctif lâche comportant des vaisseaux sanguins et lymphatiques et des nefes. Il renferme des faisceaux de collagène, des cellules fibroblastiques et des cellules de la lignée monocyttaire, et une substance fondamentale riche en protéoglycanes très hydratés. Il est plus abondant dans la substance médullaire où existe un type cellulaire supplémentaire qui pourrait avoir un rôle endocrine dans la régulation de la pression sanguine systémique.

2.5 LA VASCULARISATION RÉNALE (FIG 10 ET 11)

2.5.1 SANGUINE

Les deux reins reçoivent environ 1,2 litre de sang par minute, ce qui représente le quart ou le cinquième du débit cardiaque. On distingue la vascularisation fonctionnelle (artères afférentes, flocculus vasculaire et artères efférentes) et la vascularisation nourricière.

a. La circulation artérielle est de type terminal. Le sang arrive dans le rein au niveau du hile par l'**artère rénale** qui se divise aussitôt en deux branches ; de chaque branche naissent les artères **interlobaires** qui montent dans les colonnes de Bertin, entre les pyramides de Malpighi jusqu'à la base de celles-ci. A ce niveau elles se divisent en artères **arciformes** (ou arquées) qui ont un trajet parallèle à la capsule rénale. Des artères arquées se détachent de nombreuses artères :

- **interlobulaires** (ou radiées) qui parcourent la corticale entre les pyramides de Ferrein. Chaque artère interlobulaire émet, sur son trajet vers la capsule, des branches en direction des corpuscules de Malpighi (artérioles **afférentes**) ; elle se termine par une artère **perforante** qui pénètre la capsule et s'y arborise.
- artères **descendantes droites vraies** qui pénètrent dans les pyramides de Malpighi en direction de la papille, et se capillarisent dans la zone médullaire (vasa recta), avec un trajet parallèle à celui des tubes.

Les artérioles efférentes des glomérules juxtamédullaires donnent naissance à :

- des capillaires destinés aux segments proximaux et distaux et aux canaux collecteurs
- des artères descendantes droites fausses qui pénètrent dans la pyramide de Malpighi en direction de la papille et y donnent des capillaires (vasa recta), avec un trajet parallèle à celui des tubes.

Les artérioles efférentes des autres glomérules corticaux et des glomérules des colonnes de Bertin se capillarisent autour des segments proximaux et distaux.

Les artérioles afférentes et les capillaires des colonnes de Bertin proviennent des artères interlobaires.

b. La circulation veineuse

Le sang provenant des capillaires capsulaires et des artérioles efférentes issues des glomérules corticaux est drainé par les veines corticales superficielles qui débouchent dans un réseau veineux sous-capsulaire, les veines étoilées (étoiles de Verheyen). Celles-ci se continuent par les veines interlobulaires drainant les réseaux capillaires issus des artérioles efférentes des glomérules.

Le trajet veineux est calqué sur le trajet artériel ; les veines interlobulaires naissent des veines étoilées et ramènent le sang en direction centripète ; elles se jettent dans les veines arciformes qui reçoivent aussi le sang des veines droites de la zone médullaire ; les veines arciformes confluent dans les veines interlobaires qui rejoignent les deux branches de la veine rénale au niveau du hile.

2.5.2 LYMPHATIQUE

Les vaisseaux lymphatiques de la capsule rénale et de la substance corticale constituent un réseau sensiblement parallèle à celui des vaisseaux sanguins ; ce réseau est drainé par des vaisseaux disposés autour des artères interlobulaires et des artères arciformes. La présence de lymphatiques dans la substance médullaire est discutée.

2.6 L'INNERVATION

- Les fibres nerveuses qui abordent le parenchyme rénal sont essentiellement destinées aux vaisseaux et à l'appareil juxtaglomérulaire. Elles sont végétatives.
- Innervation sensitive

2.7 HISTOPHYSIOLOGIE

La formation de l'urine comporte des étapes mettant en cause les différents segments du tube urinaire ; elle consiste d'une part en une filtration glomérulaire et d'autre part en une réabsorption et une sécrétion tubulaires.

2.7.1 LA FILTRATION GLOMÉRULAIRE s'effectue à travers le **filtre** (ou barrière sang-urine) composé de trois éléments :

- l'endothélium capillaire fenêtré, percé de pores (ou fenestrations rondes) de 50 à 100 nanomètres de diamètre
- la lame basale glomérulaire particulièrement épaisse (240 à 340 nm) sécrétée à la fois par les podocytes et par les cellules endothéliales. Ses deux lamina rara sont chargées négativement et interviennent dans la filtration glomérulaire en repoussant les molécules chargées négativement (anions) ; cette stratification est peu visible chez l'homme adulte.
- les processus mineurs des podocytes, appelés encore processus de 2^{ème} ordre ou pédicelles ; les espaces entre les pédicelles ont tous la même largeur (25 nm) et constituent les fentes de filtration recouvertes par un mince diaphragme (4 nm d'épaisseur).

La filtration glomérulaire est un phénomène passif qui aboutit, dans les conditions normales, à la formation dans la chambre glomérulaire (ou urinaire) d'un ultrafiltrat peu différent du plasma sanguin : il en diffère uniquement par l'absence de macromolécules dont le poids moléculaire est égal ou supérieur à 68000 ; l'hémoglobine libre (PM = 65000) traverse le filtre alors que l'albumine (PM = 68000) est arrêtée ; les molécules qui sont coincées dans le filtre glomérulaire sont phagocytées soit par les cellules mésangiales soit par les podocytes.

C'est au niveau du glomérule que sont filtrés les déchets métaboliques, notamment les résidus azotés des protéines, des acides aminés et des nucléotides : urée (formée dans le foie), créatinine et acide urique, et certains médicaments.

L'appareil juxtaglomérulaire joue un rôle important dans la régulation de la pression sanguine artériolaire dont dépend le taux de filtration glomérulaire (TFG) : toute baisse de pression est ressentie par les cellules granuleuses de l'artériole afférente (barorécepteurs) qui sécrètent alors une enzyme, la rénine ; par ailleurs les cellules de la macula densa sont sensibles au débit urinaire de Na⁺ (chémorécepteurs) et envoient un message aux cellules granuleuses qui adaptent leur sécrétion de rénine, augmentée en cas d'insuffisance de Na⁺ : c'est la régulation hormonale locale (paracrine) de la pression sanguine (cf. fonction endocrine du rein).

2.7.2 LA RÉABSORPTION ET LA SÉCRÉTION TUBULAIRES

À partir de l'urine primitive, une grande quantité d'eau, la totalité de certaines molécules comme le glucose, une partie d'autres molécules comme l'urée, etc. sont réabsorbées au niveau des différents segments du tube urinaire. Cette réabsorption est plus marquée au niveau du segment proximal qu'au niveau du segment distal.

- * La bordure en brosse du pôle apical des cellules du segment proximal augmente considérablement la surface d'échange.
- * Le passage du sodium des cellules tubulaires (segments proximaux et distaux) vers l'interstitium est un phénomène actif qui est corrélé :
 - par la présence d'une A. T.Pase Na/K dépendante dans la région basale et latérobasale des cellules,
 - par les invaginations membranaires basales
 - par la richesse en mitochondries.
- * Les cellules du segment proximal sont susceptibles de sécrétion (exemple : sécrétion d'ions K+).
- * Au niveau du segment distal s'effectue la sécrétion active d'ions H+ qui assurent l'acidification de l'urine.

2.7.3 LA CONCENTRATION DES URINES

La concentration finale de l'urine en électrolytes (qui est hypertonique par rapport au plasma et à l'interstitium) est expliquée par le **système dit de concentration à contre-courant**. La branche descendante de l'anse est perméable à l'eau et aux électrolytes ; la branche ascendante, au contraire, rejette activement le sodium dans l'interstitium et est imperméable à l'eau. Il résulte de ces mouvements des électrolytes que l'interstitium enrichi en sodium devient hypertonique. L'eau qui traverse les tubes collecteurs est attirée vers l'interstitium. Il y a donc une concentration de l'urine par perte d'eau.

Les différents tubes collecteurs sont sous le contrôle de l'ADH, hormone antidiurétique posthypophysaire (ou vasopressine) ; l'ADH agit sur les tubes collecteurs en modulant leur perméabilité à l'eau : en réponse à une déshydratation, la sécrétion d'ADH est augmentée et rend la paroi des tubes collecteurs perméable à l'eau, entraînant une rétention d'eau par l'organisme (passage de l'eau dans l'interstitium puis dans les capillaires (vasa recta) qui la reversent dans la circulation générale) et la production d'une urine peu abondante et hypertonique ; inversement une surcharge hydrique dans l'organisme inhibe la sécrétion d'ADH et provoque une quantité accrue d'urine hypotonique.

2.7.4 LA FONCTION ENDOCRINE DU REIN

- **La rénine** sécrétée par les cellules granuleuses du complexe juxtaglomérulaire joue un rôle important dans la régulation de la pression sanguine ; la rénine diffuse dans le courant sanguin et hydrolyse l'angiotensinogène sécrété par le foie pour en libérer l'angiotensine I (décapeptide inactif) ; dans les poumons une enzyme de conversion supprime deux acides aminés de l'angiotensine I pour former l'angiotensine II (octapeptide), puissant vasoconstricteur donc responsable de l'augmentation de la pression sanguine ; d'autre part l'angiotensine II provoque une augmentation de la sécrétion d'aldostérone qui, par la réabsorption de Na⁺, et par conséquent d'eau, au niveau de la portion contournée du segment distal, augmente le volume plasmique donc la pression sanguine ; l'ensemble de ces mécanismes constitue le **système rénine-angiotensine-aldostérone**.
- **L'érythropoïétine**, hormone glycoprotéique (à 90% d'origine rénale, 10% d'origine hépatique) joue un rôle important dans la **différenciation et la prolifération des érythrocytes*** (globules rouges) par la moelle osseuse hématogène ; le manque d'oxygène sanguin provoque une augmentation de la sécrétion d'érythropoïétine donc la prolifération des globules rouges ; malgré les techniques modernes d'investigation, on ignore encore quel type cellulaire produit l'érythropoïétine : on considérait autrefois qu'elle était sécrétée par les cellules du lacis ou par d'autres cellules juxtaglomérulaires ; actuellement des données de la biologie moléculaire semblent indiquer la présence de l'ARNm de l'érythropoïétine dans certaines cellules des tubes corticaux et dans des cellules interstitielles.
 - * il existe des **anémies d'origine rénale** (absence d'érythropoïétine dans diverses néphropathies, dont **l'insuffisance rénale**)
- **Les prostaglandines** en abondance dans l'interstitium médullaire proviendraient soit de cellules interstitielles, soit des cellules des tubes collecteurs (avis divergents).
- La transformation de la **vitamine D3** inactive, hydroxylée en 25 -OH cholécalférol dans le foie, en 1,25 dihydroxylécalciférol **actif** dans le métabolisme phosphocalcique, grâce à une enzyme des cellules tubulaires proximales, fonction assimilée à une fonction endocrine.

3. LES VOIES EXCRÉTRICES DE L'URINE

Elles sont divisées en deux parties : les voies excrétrices du haut appareil et celles du bas appareil.

3.1 LE HAUT APPAREIL COMPREND LES CALICES, LES BASSINETS ET LES URETÈRES.

- **les calices et les bassinets** : la surface d'une papille qui s'ouvre sur un petit calice est tapissée par un épithélium prisma-tique simple ; les petits calices, les grands calices et le bassinet sont tapissés par un épithélium de plus en plus épais de

type urinaire reposant sur un chorion également de plus en plus épais. Leur musculature est peu développée; elle est constituée de cellules musculaires lisses à disposition circulaire dont le nombre augmente petit à petit. L'adventice du bassinot est en continuité avec la capsule rénale.

- **l'uretère (fig 12)** : son épithélium est de type urinaire. Lorsqu'il est vide, sa lumière présente des plis longitudinaux centrés par un axe conjonctivo-élastique (chorion). La musculature lisse est développée; dans les 2/3 supérieurs, elle est formée d'une couche longitudinale interne et d'une circulaire externe; dans le 1/3 inférieur, s'ajoute une couche longitudinale externe. La dernière couche de la paroi est une adventice.

L'innervation est végétative (sympathique et parasympathique). Les contractions musculaires rythmiques (péristaltisme) de ces voies urinaires créent des ondes qui progressent vers la vessie. Elles dépendent d'un groupe de cellules musculaires lisses localisées près des calices (rôle de **pace maker**).

3.2 LE BAS APPAREIL EST CONSTITUÉ PAR LA VESSIE ET L'URÈTRE.

3.2.1 LA VESSIE : sa paroi est constituée de trois tuniques, muqueuse (épithélium et chorion), musculature, adventice ou séreuse (fig 13).

Son épithélium, de type urinaire pseudostratifié polymorphe, est particulièrement haut (6 à 8 couches de cellules) quand la vessie est vide. Les cellules superficielles, parfois binucléées, sont alors plus grandes que les cellules profondément situées, et leur pôle apical bombe dans la lumière de la vessie. Lorsque la vessie est pleine, l'épithélium est moins épais et les cellules sont aplaties.

A l'étude ultrastructurale, la membrane apicale des cellules superficielles forme, à plusieurs endroits, de nombreuses irrégularités de contours qui forment une « réserve » de membrane disponible lors de l'aplatissement des cellules quand la paroi se distend par les urines. De plus, la membrane apicale des cellules superficielles présente un épaississement au niveau de son versant externe (exoplasmique).

Le chorion est un tissu conjonctif lâche riche en fibres élastiques, en vaisseaux et en filets nerveux

La musculature est le plus souvent plexiforme

L'adventice est « doublée » sur la face supérieure de la vessie, par la séreuse péritonéale. L'adventice est fibroélastique et contient des vaisseaux sanguins, lymphatiques, des nerfs et des cellules ganglionnaires végétatives.

Comparativement au reste de la paroi vésicale, la **région du trigone** présente des particularités :

- sa paroi est plus épaisse
- sa face interne est lisse (dépourvue de plis)
- son chorion comporte des glandes muqueuses
- la couche musculaire profonde s'épaissit à l'origine de l'urètre et constitue le sphincter lisse du col vésical
- dans le sexe féminin, l'épithélium de la muqueuse comporte des îlots cellulaires de types malpighien non kératinisés; ces îlots sont sensibles aux hormones sexuelles (intérêt de l'urocytogramme).

La paroi de la vessie est richement innervée par des fibres d'origines sympathique et parasympathique, à effets antagonistes : l'innervation sympathique provoque le relâchement de la musculature vésicale, et l'hypertonie du sphincter urétéro-vésical; l'action du parasympathique est inverse. Les fibres nerveuses innervent toutes les couches de la paroi, même la muqueuse.

3.2.2 L'URÈTRE

L'urètre véhicule l'urine, de la vessie au milieu extérieur. A la jonction vessie-urètre, un épaississement de la couche musculaire moyenne de la vessie mêlé à des fibres urétrales forme le sphincter lisse urétral qui est sous le contrôle du système nerveux végétatif; lors du stockage de l'urine, les fibres sympathiques relâchent les fibres musculaires lisses de la vessie et maintiennent le sphincter lisse urétral fermé; lors de la miction, les fibres parasympathiques contractent la musculature lisse de la vessie et ouvrent le sphincter urétral alors que le sphincter strié du périnée se contracte sur la commande du système nerveux central (acte volontaire).

L'urètre féminin, long de 4 cm environ relie la vessie au méat urinaire situé entre le clitoris et le bord supérieur de l'orifice vaginal; il est bordé, dans sa portion initiale, par un épithélium de type urinaire, puis par un épithélium pluristratifié pavimenteux de type malpighien avec des plages d'épithélium prismatique stratifié. Par endroits, l'épithélium est prismatique simple mucipare formant des dépressions ou fossettes de Morgagni. De petites glandes muqueuses (glandes de Skene) situées dans le chorion s'abouchent au niveau du méat urinaire et déversent du mucus qui lubrifie la paroi urétrale. La musculature comporte deux couches lisses (longitudinale interne et circulaire externe).

L'urètre masculin, conduit urogénital sera étudié avec l'appareil génital.

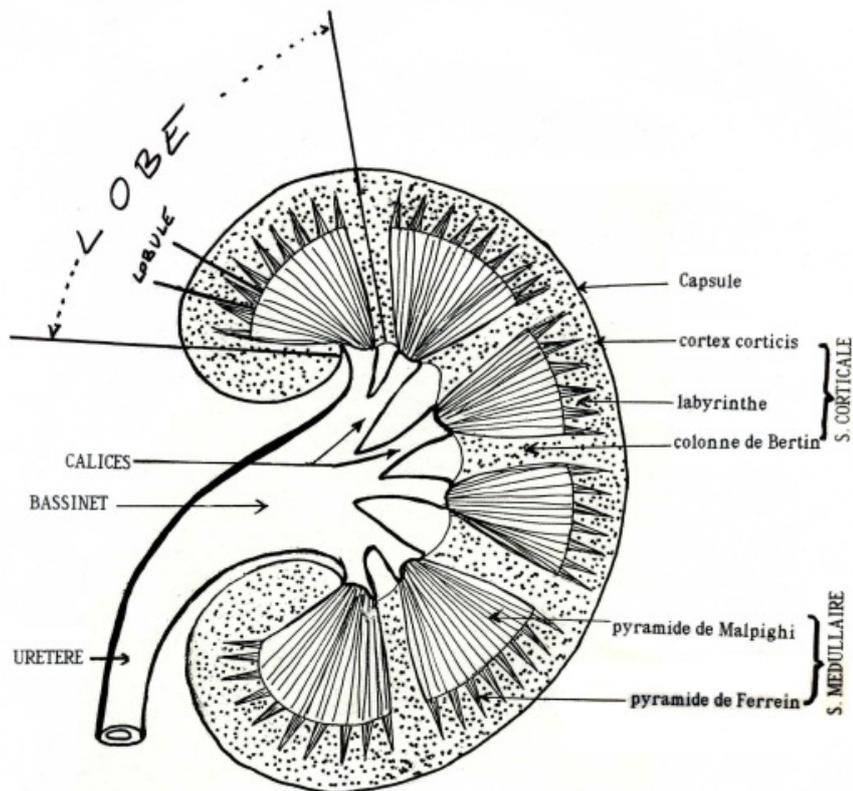


Fig. 1 : schéma d'un rein humain en coupe sagittale

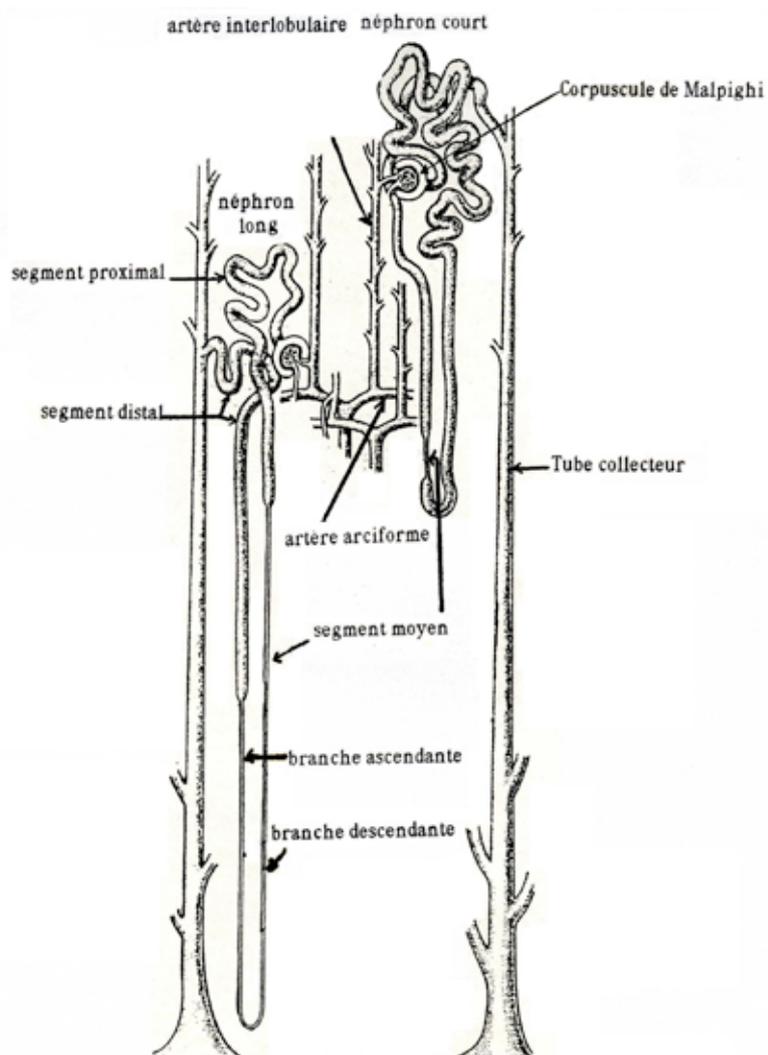


Fig. 2 : architecture générale du tube urinaire

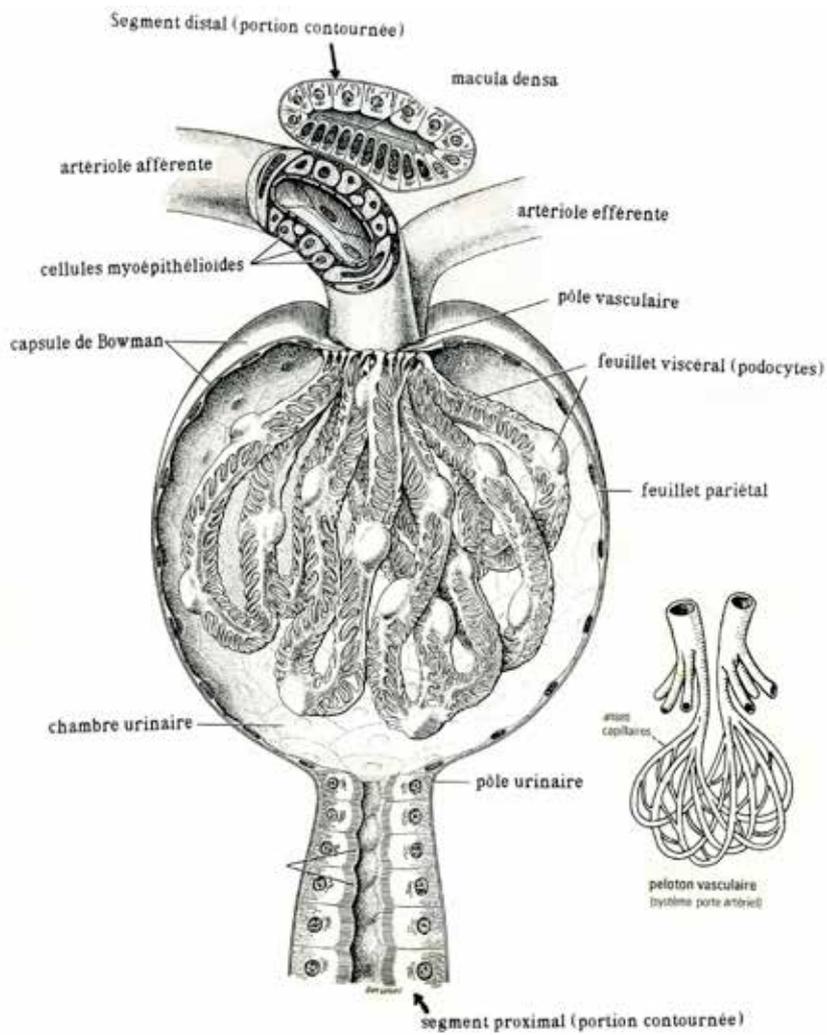


Fig. 3 : schéma du corpuscule rénal

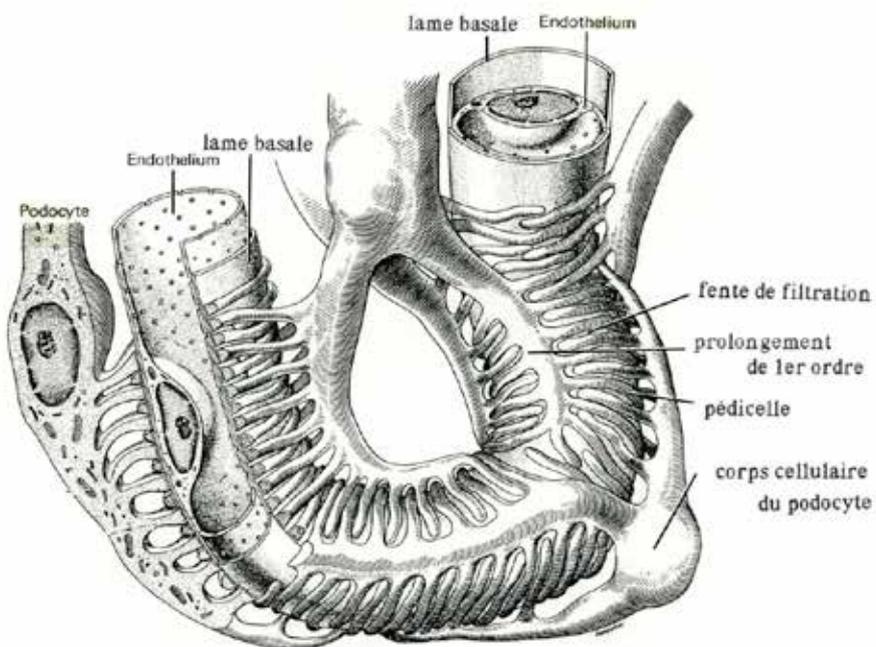


Fig. 4 : schéma d'un capillaire glomulaire

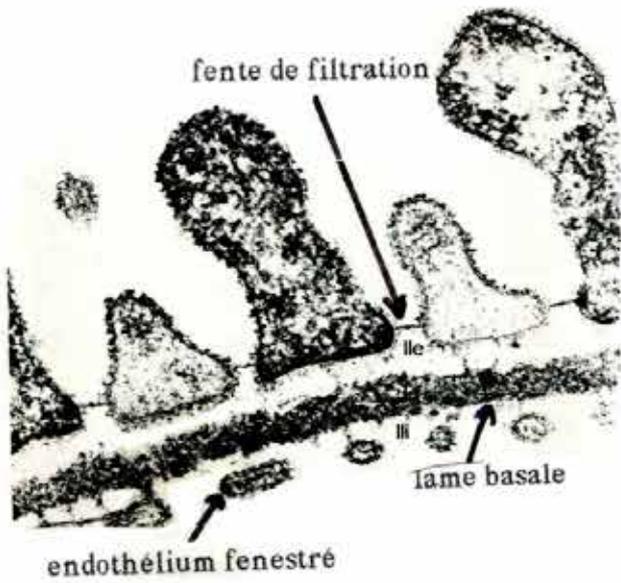


Fig. 5 : barrière sang-urine (microscope électronique)

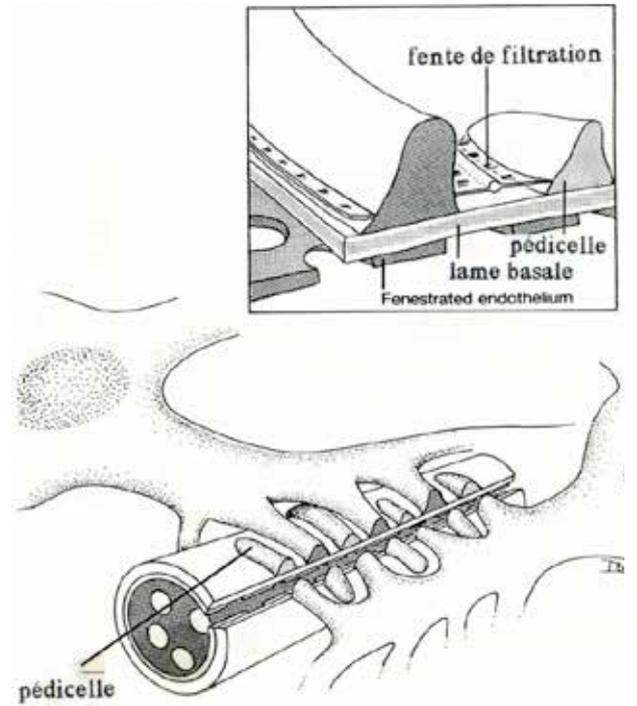


Fig. 6 : barrière sang-urine

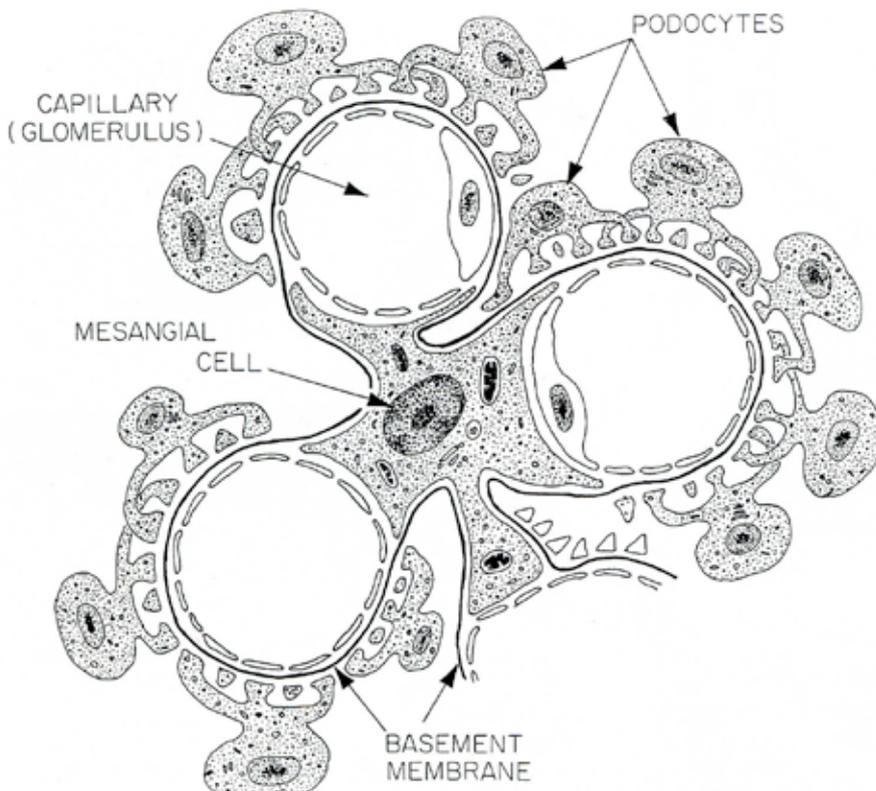


Fig. 7 : Schéma d un lobule glomérulaire

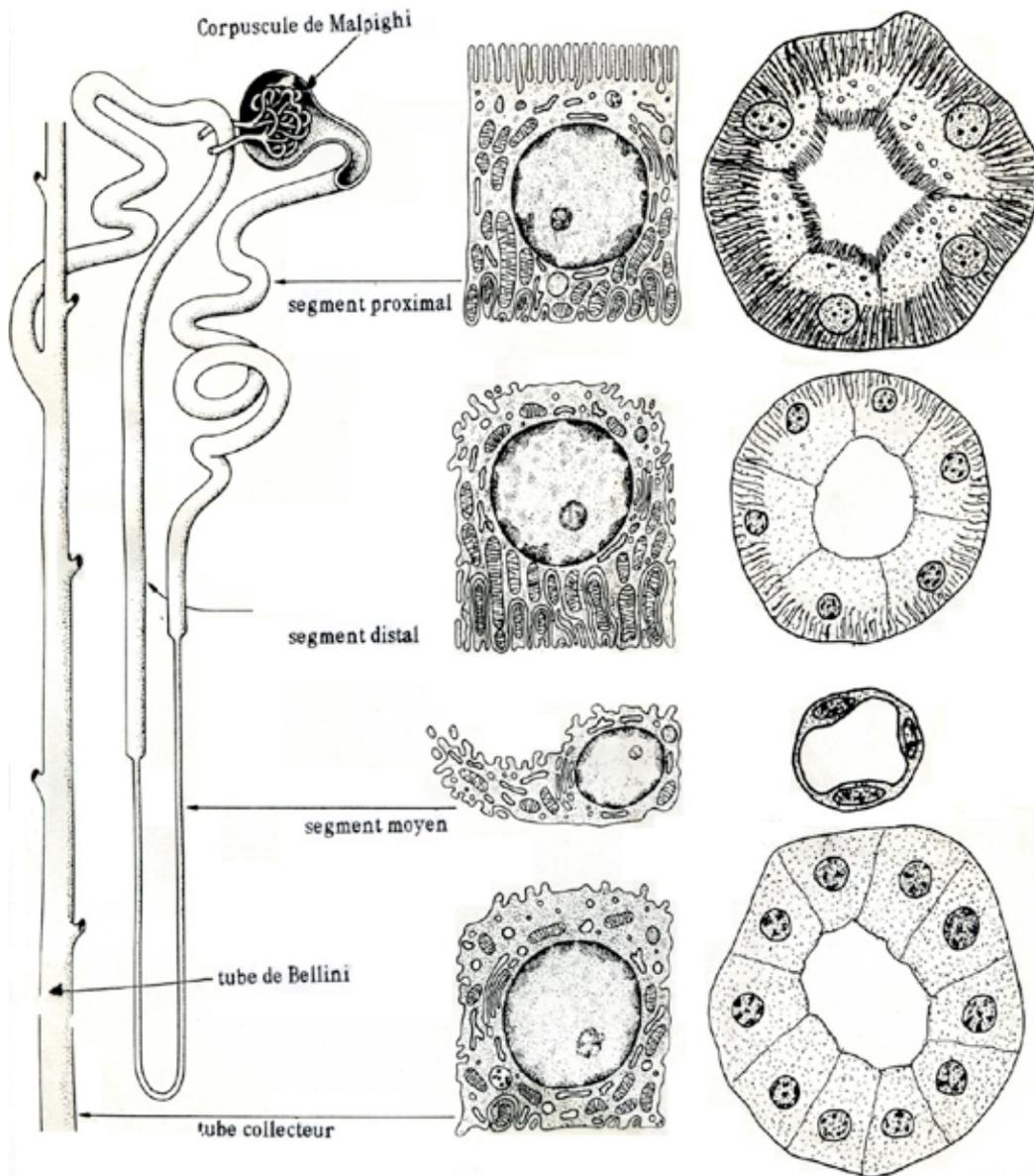


Fig. 8 : les différentes parties du néphron

à droite : aspect au microscope optique

à gauche : schéma du néphron

au centre : aspect au microscope électronique

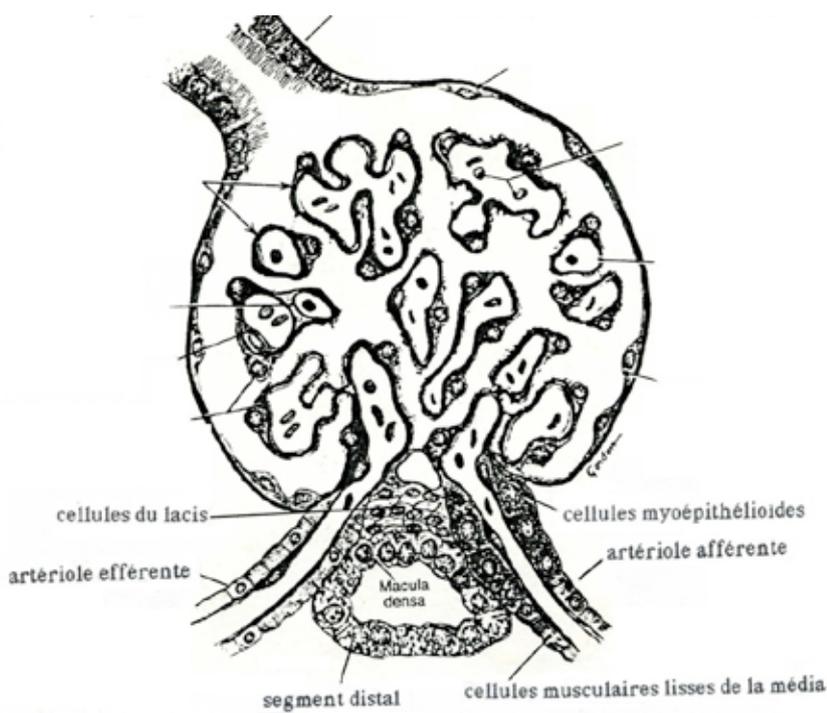


Fig. 9 : l'appareil juxtaglomérulaire

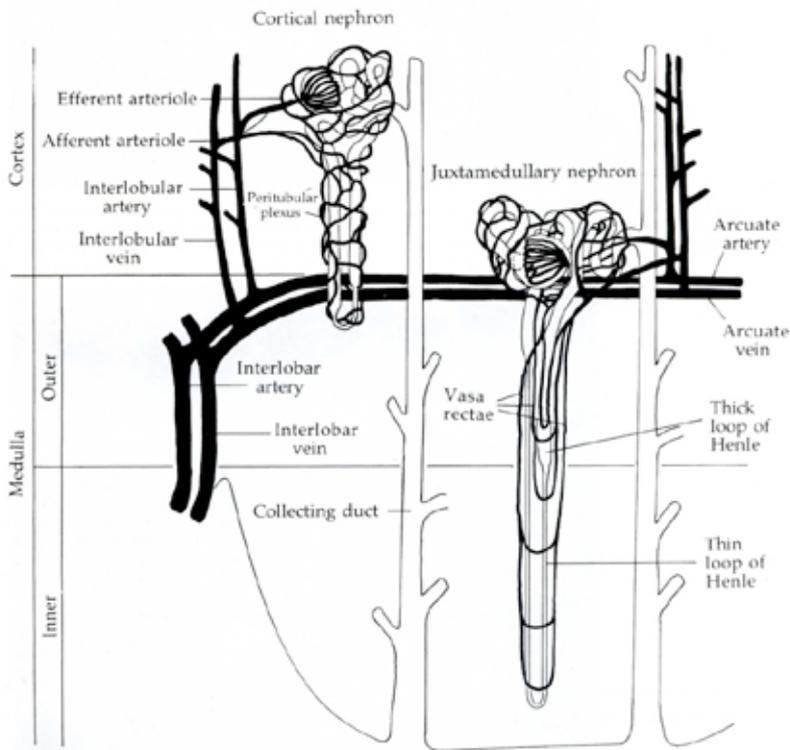


Fig 10 : Schéma montrant l'origine et la disposition des capillaires sanguins

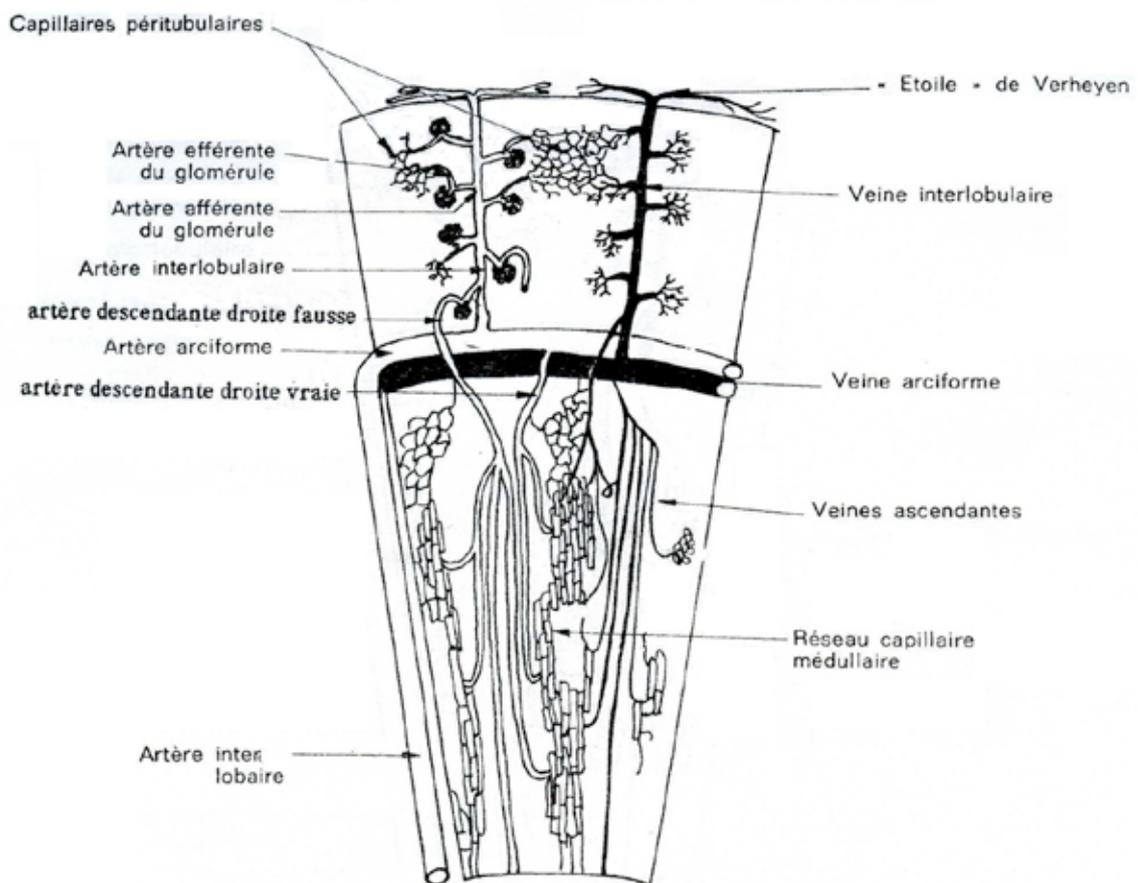


Fig. 11 : Schéma de la vascularisation du rein

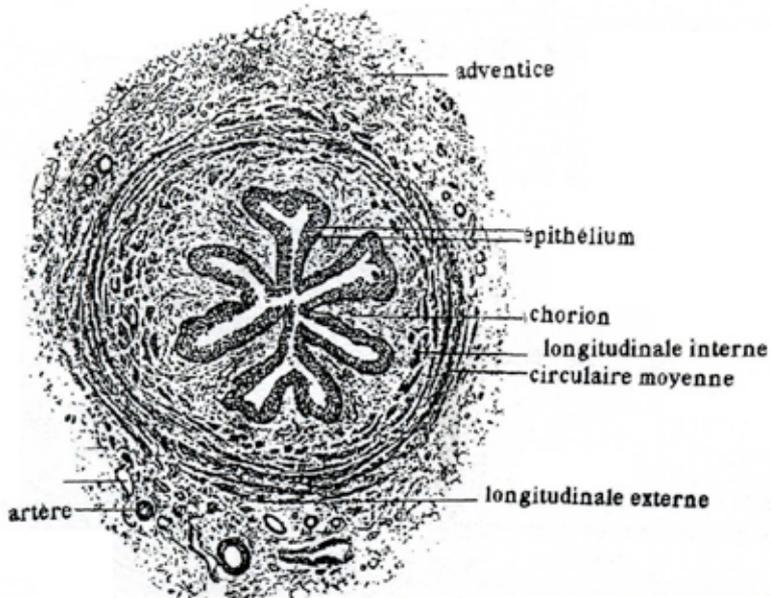
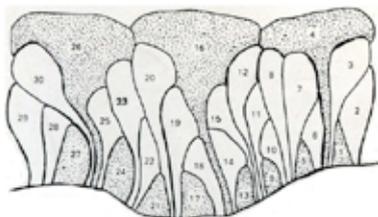
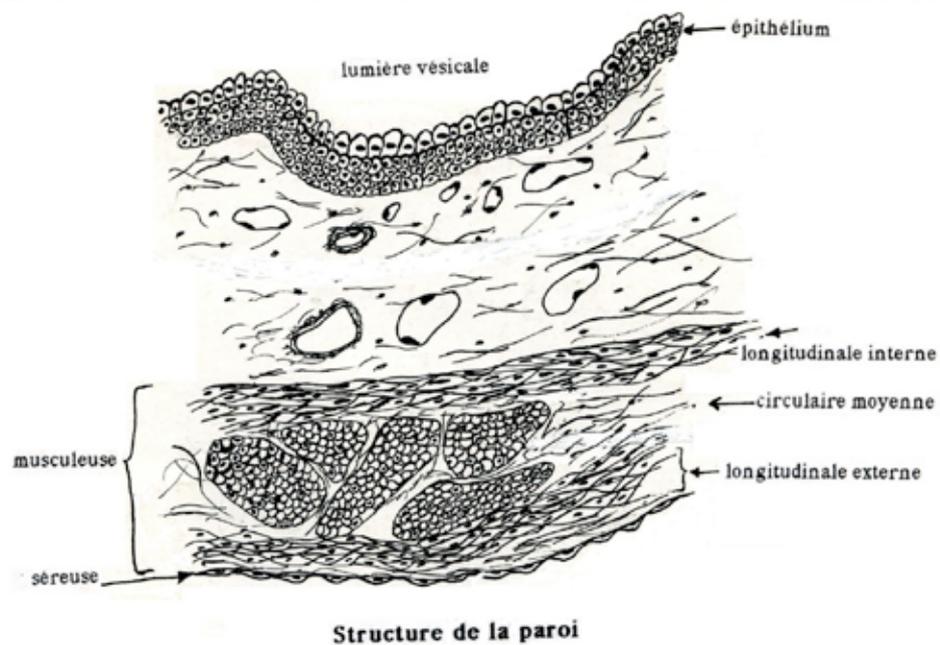


Fig. 12 : coupe transversale d'un urètre (Microscopie optique)



épithélium de type urinaire non distendu



épithélium de type urinaire distendu

Fig. 13 : schéma de la vessie

EMBRYOLOGIE DE L'APPAREIL URINAIRE

Les objectifs éducationnels

Au terme de ce cours, l'étudiant pourra :

1. Décrire la mise en place du mésonéphros et du métanéphros
2. Décrire l'évolution du mésonéphros et du canal de Wolff dans les deux sexes
3. Décrire les principales étapes de la formation du rein définitif et des voies urinaires dans les deux sexes
4. Expliquer les mécanismes embryologiques à l'origine des différentes malformations congénitales du rein et des voies urinaires du haut et du bas appareil
5. Reconnaître sur diapositives et sur préparations histologiques les principales caractéristiques structurales du mésonéphros, du métanéphros et du rein de nourrisson

Prérequis

- Embryologie générale (thème 3) et plus particulièrement la gastrulation, la délimitation et le devenir des feuilletts embryonnaires

PLAN

1. Le développement normal

1.1 Le pronéphros

1.2 Le mésonéphros ou corps de Wolff

1.3 Le métanéphros

1.3.1 Le système excréteur

1.3.2 Le système sécréteur (Fig 5) :
la néphrogenèse

1.4 Le bas appareil : la vessie et l'urètre

1.4.1 Formation du sinus urogénital

1.4.2 Évolution de la zone urinaire du sinus urogénital

1.4.3 Évolution de la zone génitale du sinus urogénital

2. Les malformations de l'appareil urinaire

2.1 Les malformations rénales

2.1.1 Les anomalies de nombre

2.1.2 Les anomalies de position

2.1.3 Les maladies kystiques

2.1.4 Les anomalies vasculaires

2.2 Les malformations urinaires obstructives

2.2.1 Les malformations « obstructives »
du haut appareil

2.2.2 Les malformations « obstructives »
du bas appareil

2.3 Les anomalies de l'ouraque

2.4 L'exstrophie vésicale

Le développement de l'appareil urinaire débute à la 3^{ème} semaine de la vie intra-utérine et se prolonge après la naissance. Toute perturbation à un stade donné du développement entraîne des anomalies qui correspondent à ce stade.

L'incidence élevée des malformations néphro-urologiques s'explique par la complexité du développement de l'appareil urinaire.

1. LE DÉVELOPPEMENT NORMAL

L'appareil urinaire se développe à partir du mésoderme avec participation de l'endoderme pour la vessie et l'urètre. Après sa mise en place au cours de la gastrulation, le mésoderme se différencie en 3 parties (fin de la 3^{ème} semaine) (fig 1) :

- le mésoderme para-axial qui se segmente en somites
- le mésoderme intermédiaire ou cordon néphrogène
- le mésoderme latéral qui se clive en 2 lames, la somatopleure et la splanchnopleure qui délimitent le coelome intraembryonnaire.

Le mésoderme intermédiaire ou cordon néphrogène s'étend de part et d'autre de la ligne médiane de l'embryon. Au cours du développement embryonnaire, 3 ensembles de structures néphrotiques se mettent en place dans le sens craniocaudal, à partir du mésoderme intermédiaire.

- le pronéphros ou rein cervical
 - le mésonéphros ou rein thoracique
 - le métanéphros, rein caudal ou rein définitif
- Ces structures se suivent dans le temps et dans l'espace.

1.1 LE PRONÉPHROS

Il apparaît à la fin de la 3^{ème} semaine du développement à la partie cervicale de l'embryon (5^{ème} – 7^{ème} somites cervicaux). A ce niveau, le cordon néphrogène se segmente, se métamérise et donne naissance à des masses pleines, les néphrotomes, qui sont des structures rudimentaires non fonctionnelles. Le pronéphros régresse dans le sens craniocaudal et disparaît totalement à la fin de la 4^{ème} semaine.

1.2 LE MÉSONÉPHROS OU CORPS DE WOLFF (FIG 1)

Vers la fin de la 4^{ème} semaine, le mésonéphros apparaît comme un organe ovoïde allongé de part et d'autre de la ligne médiane, au niveau de la partie thoracique supérieure et lombaire haute de l'embryon. Par la suite il se métamérise et donne des amas cellulaires pleins qui se creusent en vésicules mésonéphrotiques. Celles-ci s'allongent et forment des tubules mésonéphrotiques.

Le tubule mésonéphrotique le plus cranial s'allonge, descend parallèlement au mésonéphros pour former le canal mésonéphrotique ou canal de Wolff qui s'abouche au niveau du cloaque.

Quant aux autres tubules mésonéphrotiques, leur extrémité interne se renfle, s'invagine et s'organise en chambre glomérulaire autour d'un peloton vasculaire provenant d'une branche artérielle de l'aorte. Les extrémités externes des tubules s'ouvrent dans le canal de Wolff.

A la 8^{ème} semaine, le corps de Wolff constitue un organe ovoïde volumineux qui fait saillie dans la cavité coelomique de chaque côté de la ligne médiane. Sur son bord antéro-interne se différencie la gonade. Au niveau de son bord antéro-externe se trouvent le canal de Wolff et le canal de Müller.

Dès la 5^{ème} semaine, le mésonéphros commence à régresser dans le sens craniocaudal ; il donnera :

dans les 2 sexes :

La partie caudale de chaque canal de Wolff émet une excroissance, le bourgeon urétéral, qui se dirige vers une condensation localisée du cordon néphrogène, le blastème métanéphrogène. De ces 2 ébauches (l'excroissance et le blastème) naîtra le rein définitif.

La portion toute distale des 2 canaux de Wolff s'incorpore dans le sinus urogénital pour former le trigone vésical (voir plus loin).

Les glomérules mésonéphrotiques dégénèrent dans le sens craniocaudal.

– dans le sexe féminin, les tubes mésonéphrotiques et le reste du canal de Wolff disparaissent.

– dans le sexe masculin, les tubes mésonéphrotiques situés en regard de la gonade (futur testicule) donneront les canaux efférents qui assurent la jonction entre le testicule et le canal épидидymaire. Le canal de Wolff est à l'origine du canal épидидymaire, du canal déférent, des vésicules séminales et des canaux éjaculateurs. Les autres tubules mésonéphrotiques dégénèrent.

1.3 LE MÉTANÉPHROS (FIG 2)

Vers la 5^{ème} semaine, le métanéphros se développe dans la partie lombaire basse et sacrée de l'embryon. Il est constitué par 2 ébauches : le bourgeon urétéral et une masse mésoblastique, le blastème métanéphrogène (BM) qui ne se métamérise pas.

Le bourgeon urétéral donnera naissance au « système excréteur » du rein et le BM formera le « système sécréteur ».

1.3.1 LE SYSTÈME EXCRÉTEUR (FIG 2, 3) :

Le bourgeon urétéral et le BM exercent des effets inducteurs réciproques.

L'extrémité craniale du bourgeon s'enfonce dans le blastème, s'élargit pour former le bassin et se divise en 2 branches, les futurs grands calices. Ces branches vont subir des divisions successives donnant naissance à plusieurs générations de tubes. Les premiers forment les petits calices et les autres constituent les tubes collecteurs.

Le bourgeon urétéral donne donc naissance aux tubes collecteurs, aux petits calices, aux grands calices, au bassin et à l'uretère.

1.3.2 LE SYSTÈME SÉCRÉTEUR (FIG 4) : LA NÉPHROGENÈSE :

L'induction du BM se traduit par une condensation de ses cellules autour des extrémités distales des ramifications du bourgeon urétéral. Ces ramifications se dilatent en ampoules qui repoussent le BM où siège une intense activité mitotique, formant une condensation de cellules, la coiffe métanéphrogène.

Ce poly a été téléchargé depuis med-tmss.blogspot.com/2016/08/cours.html | Page Fb : www.facebook.com/Faculte.de.Medecine.TMSS

Donc chaque branche de différenciation du bourgeon urétéral est coiffée d'une masse cellulaire, la coiffe métanéphrogène.

Lorsque le tube issu du bourgeon urétéral s'allonge, il scinde la coiffe en 2 masses latérales pleines. Elles évoluent sur place de part et d'autre de la branche urétérale. Ces masses cellulaires se creusent en vésicules métanéphrotiques puis s'allongent, se contournent et se différencient pour former les différents segments du néphron.

- L'extrémité proximale du néphron s'invagine pour former la capsule de Bowman avec un feuillet pariétal, un feuillet viscéral et une chambre glomérulaire. Dans sa concavité se différencie, in situ, le floculus avec ses capillaires glomérulaires et ses axes mésangiaux. Les cellules épithéliales du feuillet viscéral, d'abord d'aspect cubique, se différencient en podocytes.
- L'extrémité distale du néphron s'ouvre dans un des tubes collecteurs.
- Entre ses 2 extrémités, le tube s'allonge et se différencie en segments proximal, moyen et distal.

Au milieu de la 6^{ème} semaine, le B.M. est formé de 2 lobes et de plusieurs lobules à la fin de la 16^{ème} semaine, donnant un aspect lobulé au rein fœtal (Fig 2).

L'induction se fait de façon centrifuge de telle sorte qu'il existe un gradient de différenciation dans le temps et dans l'espace, avec, au centre, des néphrons matures bien différenciés et à la périphérie des cellules souches qui se différencient au fur et à mesure que le rein croît.

Le métanéphros, primitivement situé dans la région caudale de l'embryon, subit une ascension vers la région lombaire haute. Au cours de cette migration, le rein effectue une rotation de 90°, de telle sorte que le hile qui était en avant devient interne (Fig 5). Cette ascension serait due à la diminution de la courbure de l'embryon et à l'allongement du bourgeon urétéral et de l'embryon.

Le métanéphros devient fonctionnel à partir de la 2^{ème} moitié de la grossesse. Cependant, le fonctionnement des reins n'est pas indispensable à la survie fœtale. En effet une agénésie rénale bilatérale (absence de développement des 2 ébauches rénales) est compatible avec la vie intra-utérine, mais rapidement mortelle après la naissance.

La différenciation des néphrons se poursuit après la naissance : chez le nouveau-né, des glomérules à différents stades de leur histogénèse sont notés dans la corticale superficielle du rein. Des glomérules directement sous la capsule : il n'y a pas de cortex corticis chez le nouveau-né et le nourrisson. La surface bosselée du rein fœtal devient progressivement lisse comme chez l'adulte au cours de la première enfance. Cette évolution est due à l'arrêt de la néphrogenèse et au développement du tissu interstitiel.

1.4 LE BAS APPAREIL : LA VESSIE ET L'URÈTRE

1.4.1 FORMATION DU SINUS UROGÉNITAL :

La vessie et l'urètre se développent à partir du sinus urogénital (d'origine endodermique). Celui-ci résulte de la division du cloaque par le septum urorectal ou « éperon périnéal » qui prend naissance dans l'angle formé par l'allantoïde et l'intestin postérieur, descend en direction caudale jusqu'à la membrane cloacale et fusionne avec elle (Fig 6).

La partie antérieure du cloaque donne le sinus urogénital fermé par la membrane urogénitale.

La partie postérieure du cloaque forme le canal ano-rectal fermé par la membrane anale.

Le sinus urogénital comprend 2 zones :

- la zone urinaire, supérieure
- la zone génitale, inférieure

La limite entre ces 2 zones correspond à la ligne qui relie l'abouchement des 2 canaux de Wolff, après la mise en place du trigone vésical.

La membrane urogénitale se rompt vers la 8^{ème} semaine.

1.4.2 ÉVOLUTION DE LA ZONE URINAIRE DU SINUS UROGÉNITAL

La partie supérieure de la zone urinaire se développera d'une façon plus importante que la partie inférieure. La zone urinaire formera :

en haut : la vessie, qui se continue par l'allantoïde

en bas : le début de l'urètre prostatique chez l'homme et la totalité de l'urètre chez la femme.

L'endoderme du sinus urogénital donnera naissance uniquement à l'épithélium de revêtement de ces structures, tandis que les autres composantes (tissus musculaire et conjonctif, vaisseaux) se développeront à partir du mésenchyme environnant.

Au cours du développement, l'allantoïde donnera le canal de l'ouraques qui s'oblitérera et formera le ligament vésico-ombilical reliant la vessie à l'ombilic, vers le (5^{ème} – 6^{ème} mois).

La zone du trigone vésical se forme à partir de la portion distale des 2 canaux de Wolff, dérivés mésodermiques. En effet, la partie distale des 2 canaux de Wolff s'incorpore progressivement dans la paroi du sinus urogénital (Fig 7). En consé-

quence, les bourgeons urétéraux s'abouchent directement dans le sinus urogénital, future vessie, et les 2 canaux de Wolff se terminent à un niveau correspondant au début de l'urètre. Ainsi se trouve délimitée une zone triangulaire reliant les 2 abouchements urétéraux à l'origine de l'urètre; cette zone est appelée le « trigone vésical ».

1.4.3 ÉVOLUTION DE LA ZONE GÉNITALE DU SINUS UROGÉNITAL :

Elle donnera naissance :

chez la femme : au vestibule vulvaire et au vagin

chez l'homme : à l'urètre prostatique en aval de l'abouchement des 2 canaux éjaculateurs, à l'urètre membraneux, à l'urètre pénien, à la prostate et aux glandes de Cowper.

2. LES MALFORMATIONS DE L'APPAREIL URINAIRE

Elles sont les plus fréquentes de toutes les malformations congénitales.

2.1 LES MALFORMATIONS RÉNALES

2.1.1 LES ANOMALIES DE NOMBRE

* agénésie rénale : c'est l'absence de développement d'une ou des 2 ébauches rénales. L'agénésie bilatérale est rare tandis que l'agénésie unilatérale est relativement fréquente. Elle est due à un défaut de formation du bourgeon urétéral ou à un défaut de croissance du bourgeon urétéral vers le blastème métanéphrogène. L'agénésie rénale s'accompagne le plus souvent d'une agénésie de l'uretère homolatéral.

* rein surnuméraire : c'est une malformation rare due probablement à une division précoce du bourgeon urétéral entraînant la division du blastème métanéphrogène.

2.1.2 LES ANOMALIES DE POSITION (FIG 8)

* ectopie rénale : c'est un rein congénitalement mal placé, qui n'a jamais occupé sa position normale. Au cours de sa migration, un rein peut s'arrêter et rester alors en position pelvienne au voisinage de l'artère iliaque primitive. L'ectopie rénale peut être **simple** (uni ou bilatérale), ou **croisée** (le rein se situe alors du côté controlatéral).

* rein en fer à cheval : au cours de leur migration, les pôles inférieurs des 2 reins se rapprochent et finissent par fusionner, réalisant un rein en fer à cheval. Ce rein est volumineux, et se trouve habituellement en position basse, car la racine de l'artère mésentérique inférieure empêche son ascension. Les uretères naissent à la face ventrale du rein en fer à cheval.

2.1.3 LES MALADIES KYSTIQUES (FIGURE 10)

2.1.3.1 Le rein multikystique : L'anomalie intéresse le plus souvent un seul rein, parfois les deux. Le rein multikystique bilatéral est incompatible avec la vie. Le rein est volumineux; il ressemble à une grappe de raisins. Le bassin, l'uretère et les calices sont inexistantes. **L'architecture réniforme a disparu**, elle est remplacée par une masse de kystes réunis par du tissu conjonctif.

2.1.3.2 Les polykystoses rénales:

Il y en a deux types; dans les deux types, les reins sont augmentés de volume, les uretères sont filiformes et la vessie est tubulaire.

la polykystose rénale autosomique récessive dite de type « infantile » :

Les reins sont augmentés de taille et symétriques. A la coupe ils sont parsemés de cavités allongées à disposition radiée. Les kystes sont développés à partir des tubes collecteurs et des extrémités distales des néphrons. Les glomérules sont respectés. L'hypoplasie pulmonaire est due à l'oligoamnios causé par l'anurie.

La polykystose rénale autosomique dominante dite de type « adulte » :

Elle est plus fréquente. Les reins sont de grande taille, mais souvent asymétriques, avec des contours bosselés par des kystes faisant saillie à la surface du rein. A la coupe, les kystes touchent n'importe quel segment du néphron y compris les glomérules.

2.1.4 LES ANOMALIES VASCULAIRES

Elles sont très nombreuses et portent sur l'origine, la longueur, le nombre et les divisions des artères rénales. On peut citer : des artères polaires anormales (inférieures et supérieures) et l'atrésie de l'artère rénale qui peuvent être responsables d'un syndrome hypertensif.

2.2 LES MALFORMATIONS URINAIRES OBSTRUCTIVES (FIGURE 9)

2.2.1 LES MALFORMATIONS « OBSTRUCTIVES » DU HAUT APPAREIL :

Elles concernent l'uretère où l'obstruction peut être due à un rétrécissement anatomique vrai, à la présence d'un obstacle fonctionnel, ou à un reflux.

2.2.1.1 Les anomalies de la jonction pyélo-urétérale :

Elles peuvent être dues soit à un obstacle fonctionnel soit à un obstacle anatomique. L'urine ne progresse pas dans l'uretère malgré les contractions de la paroi du bassin. Il en résulte une rétention d'urine dans le bassin et dans les calices pouvant retentir sur le parenchyme rénal.

Obstacle fonctionnel : non-propagation du péristaltisme

obstacle anatomique vrai : il s'agit d'une atrésie de la partie initiale de l'uretère ou d'une compression extrinsèque.

2.2.1.2 Les anomalies de l'uretère au cours de son trajet :

l'uretère rétrocave : l'uretère passe derrière la veine cave, contourne son flanc gauche, passe entre l'aorte et la veine cave et croise cette dernière en avant. Cette anomalie n'est pas constamment obstructive ; elle n'est en général reconnue que chez l'adulte jeune.

La bifidité urétérale : elle résulte de la bifurcation prématurée du bourgeon urétéral. Cette malformation s'accompagne parfois de la dilatation d'un des deux bassins. Cette dilatation est souvent due à un reflux urinaire d'un uretère vers l'autre.

2.2.1.3 Le méga-uretère :

Il est lié à une anomalie de la musculature termino-urétérale rendant inefficaces les contractions péristaltiques de l'uretère. Il s'ensuit une dilatation urétérale en amont, une épaisseur anormale de la muqueuse urétérale. Le diagnostic est fait habituellement chez le nouveau-né ou le jeune enfant. Le pronostic est défavorable en raison d'une hydronéphrose qui « étouffe » progressivement le parenchyme rénal.

2.2.1.4 Le reflux vésico-urétéral primitif :

C'est une malformation fréquente qui se traduit par un reflux des urines vers les uretères avec un retentissement rénal progressif. Elle est due à une hypoplasie de la musculature de la région du trigone. L'uretère terminal a un trajet intramural trop bref, il ne peut plus jouer son rôle de « valvule anti-reflux ». Il en résulte une incontinence des uretères terminaux.

2.2.1.5 Les abouchements urétéraux anormaux :

Ils sont dus à des anomalies locorégionales du bourgeon urétéral.

Chez la fille, ces abouchements peuvent se faire dans l'uretère, dans la cloison vaginale, dans la vulve, exceptionnellement au niveau du col ou du corps utérin. Chez le garçon, l'uretère peut s'aboucher dans les voies génitales profondes, surtout au niveau des vésicules séminales. Ces abouchements urétéraux anormaux peuvent donner de fausses incontinences et de fausses énurésies.

Les malformations « obstructives » du bas appareil :

Les valvules de l'urètre postérieur sont les plus fréquentes de ces malformations. Elles se présentent sous forme de valvules en nid de pigeon siégeant au niveau de la partie toute proximale de l'urètre. Elles ne se voient que chez le garçon. Ces valvules sont des replis saillant dans la lumière urétrale qui existent au cours du développement et normalement doivent régresser, mais qui, dans ce cas, persistent anormalement.

2.3 LES ANOMALIES DE L'OURAQUE (FIGURE 11)

Elles sont dues à l'absence d'oblitération du canal de l'ouraque. La lumière de ce canal peut persister à différents niveaux : sur toute la longueur du canal : l'urine s'écoule alors par l'ombilic (fistule vésico-ombilicale)

sur une partie seulement du canal. On pourra avoir : une fistule borgne interne, réalisant un diverticule supérieur de la vessie ; une fistule borgne externe, sans communication avec l'extérieur, mais ouverte à l'ombilic ; un kyste de l'ouraque, siégeant en un point quelconque du trajet et pouvant communiquer avec l'ombilic ou la vessie, ou être totalement isolé.

2.4 L'EXSTROPHIE VÉSICALE (FIGURE 11)

C'est une malformation congénitale rare, mais grave. Elle est due à un défaut de mésenchymation de la paroi abdominale antérieure sous-ombilicale. Cette paroi abdominale qui est constituée uniquement par l'épiblaste et l'endoderme se résorbe au cours de la vie intra-utérine. Ainsi la face postérieure de la vessie, où s'abouchent les uretères, sera exposée à l'extérieur.

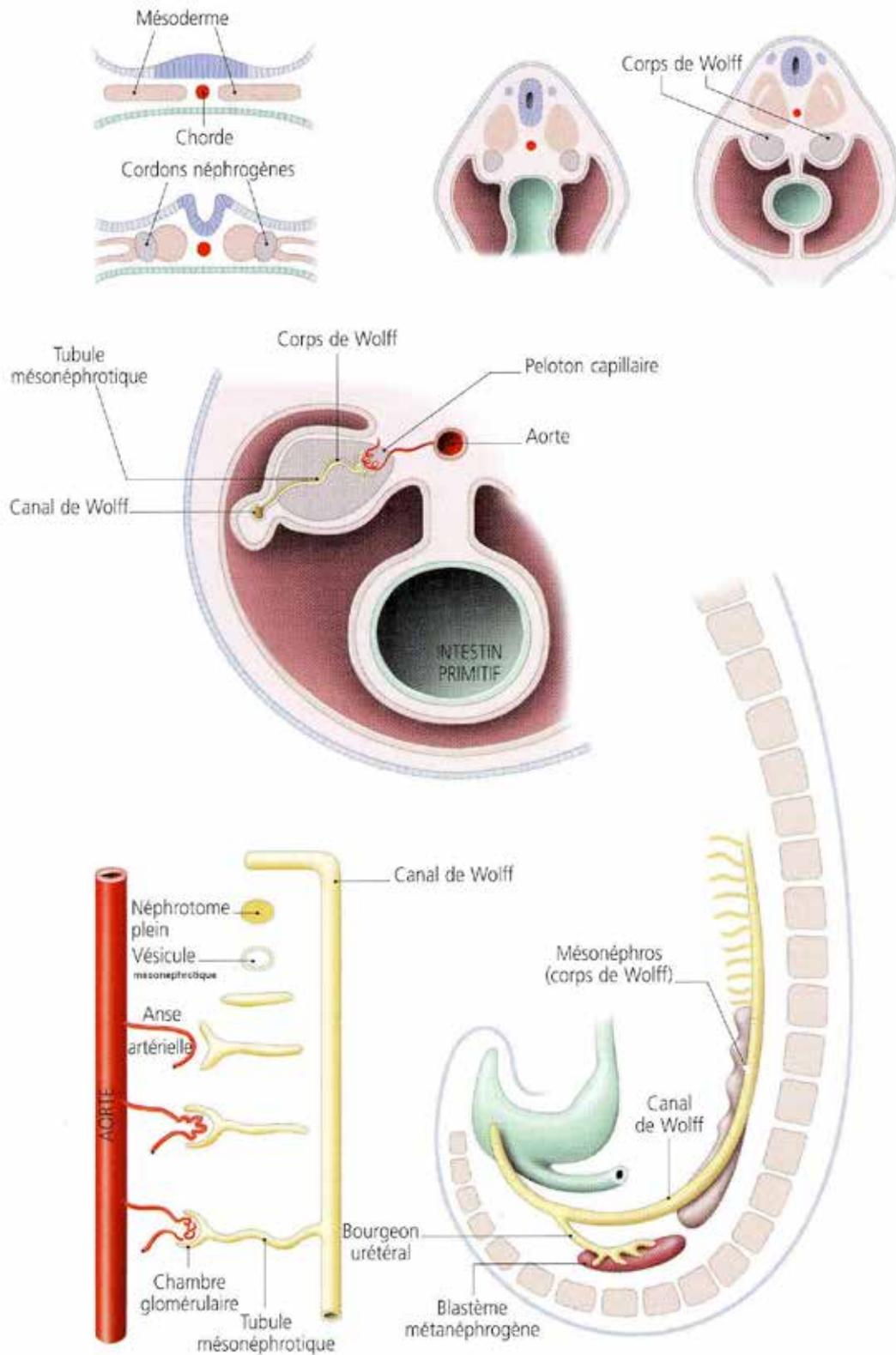


Figure 1 : Le mésonéphros

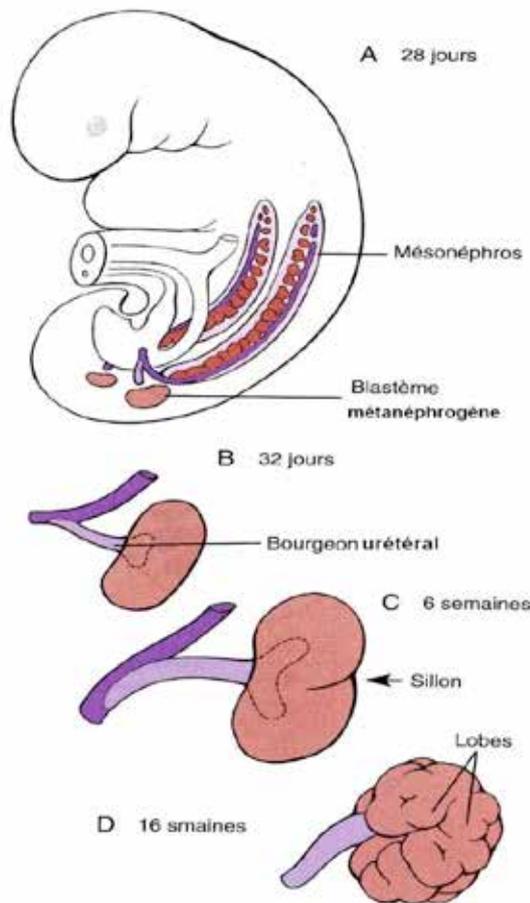


Figure 2 : Le métanéphros – mise en place et lobulation

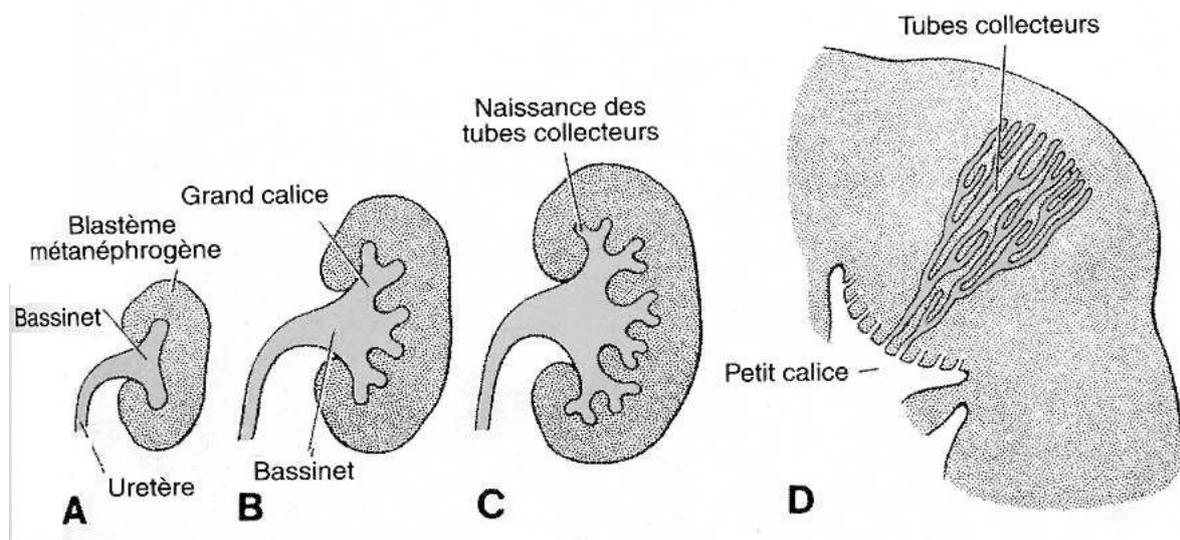


Figure 3 : Le développement du système excréteur du métanéphros

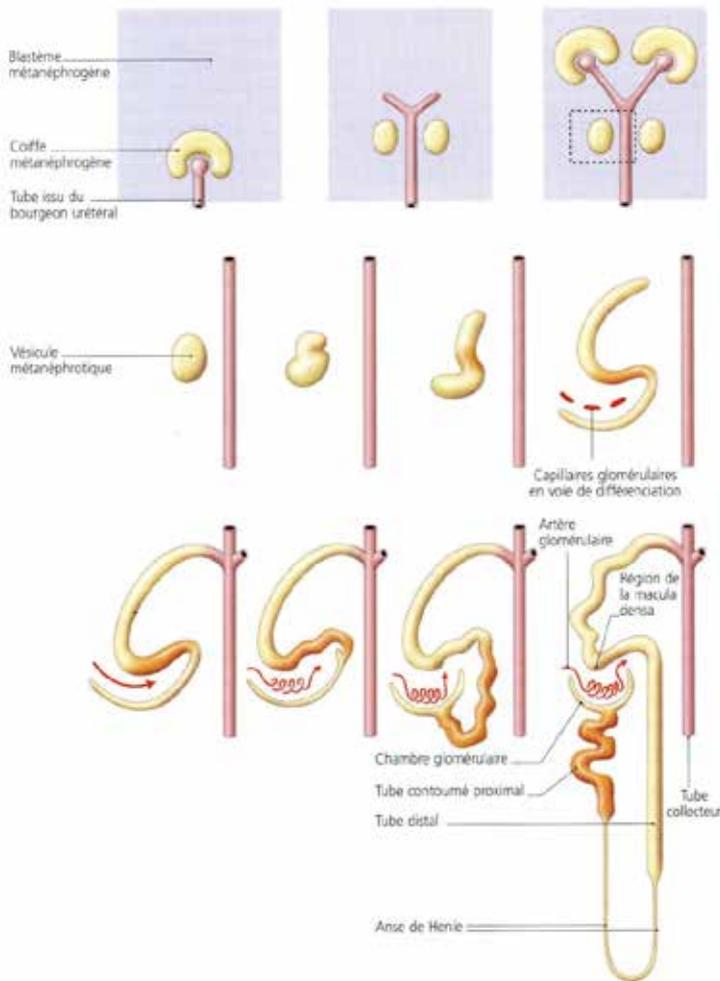


Figure 4 : développement du système sécréteur du métanéphros

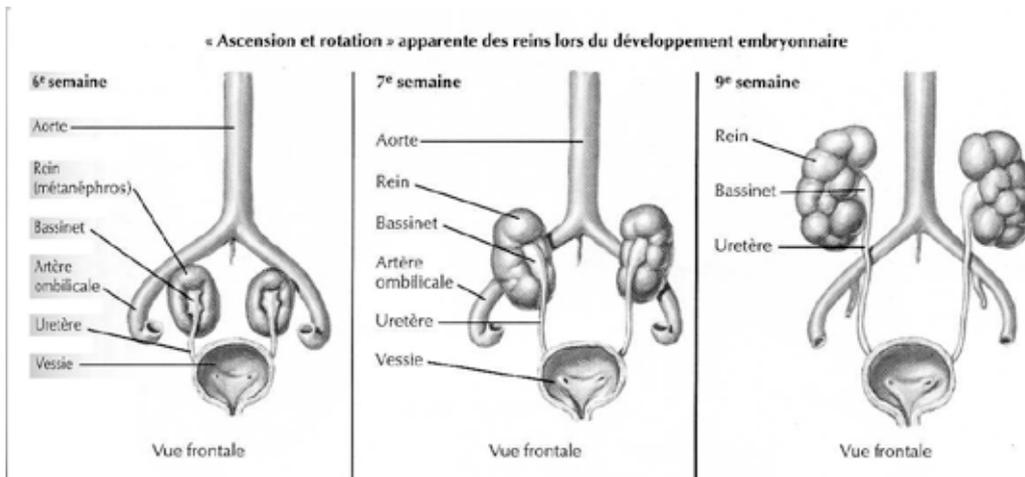


Figure 5 : ascension et rotation des reins

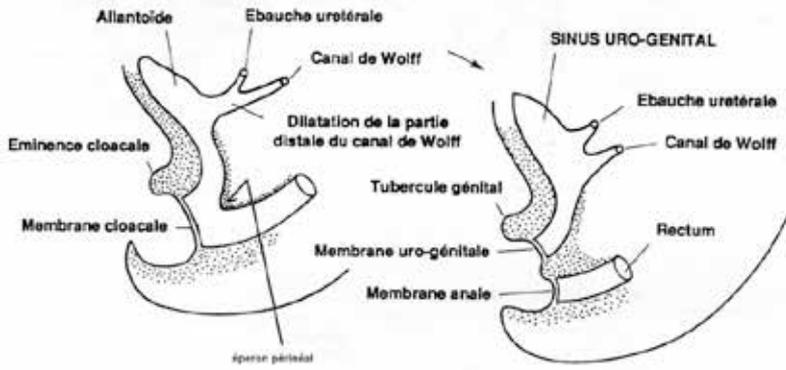


Figure 6 : Division du cloaque

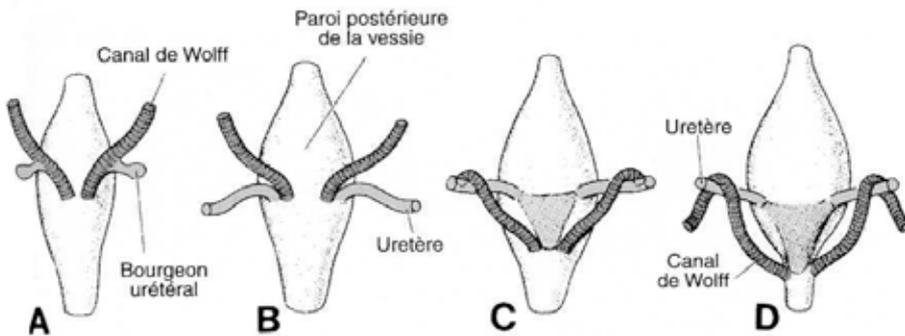
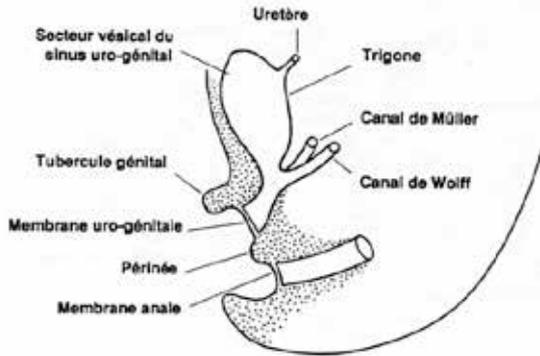


Figure 7 : Formation du trigone vésical

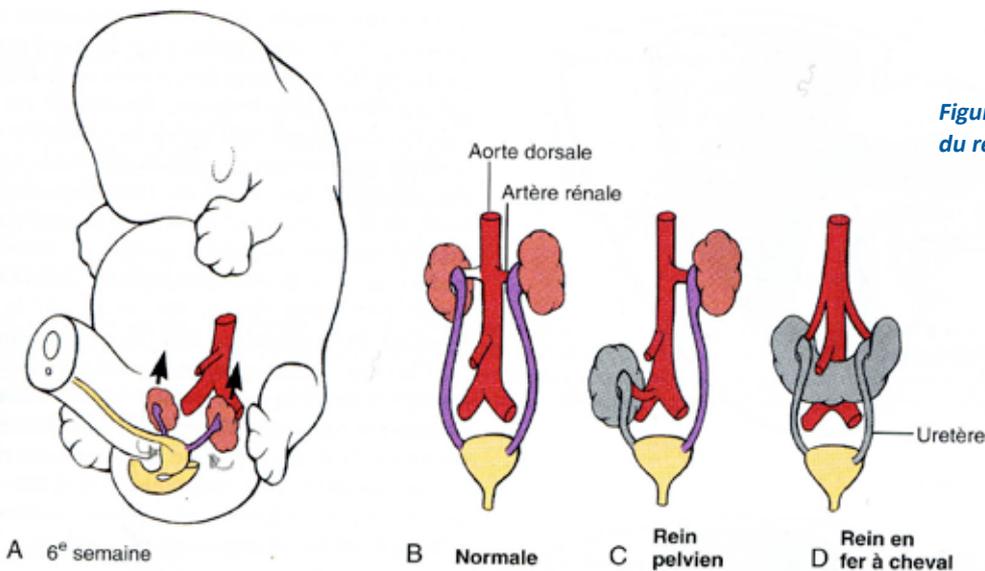


Figure 8 : Anomalies de position du rein

ANOMALIE DE LA JONCTION PYELO-URETERALE

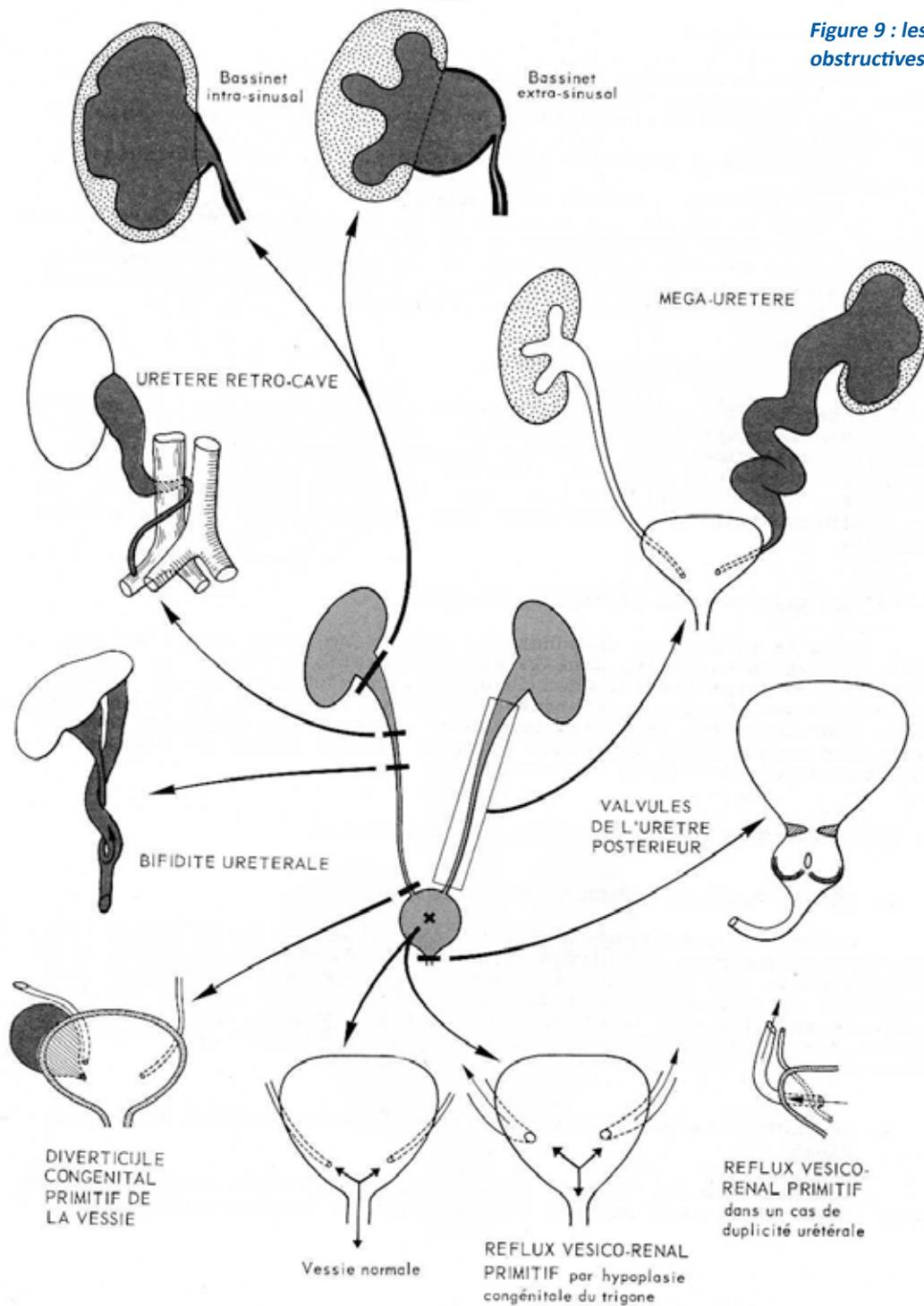


Figure 9 : les malformations urinaires obstructives

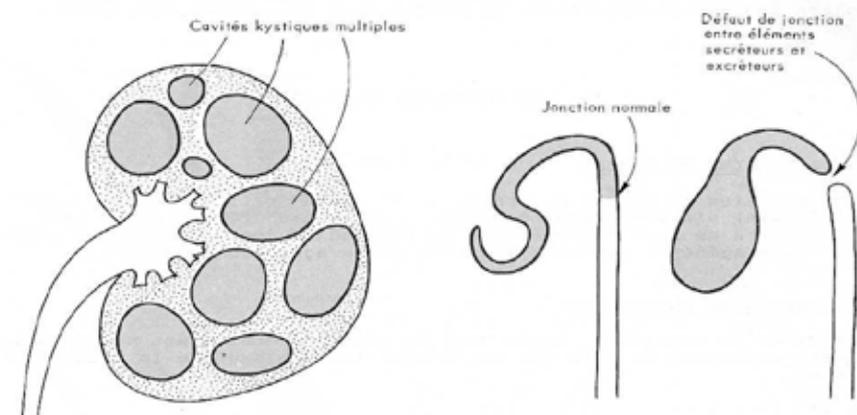


Figure 10 : rein polykystique

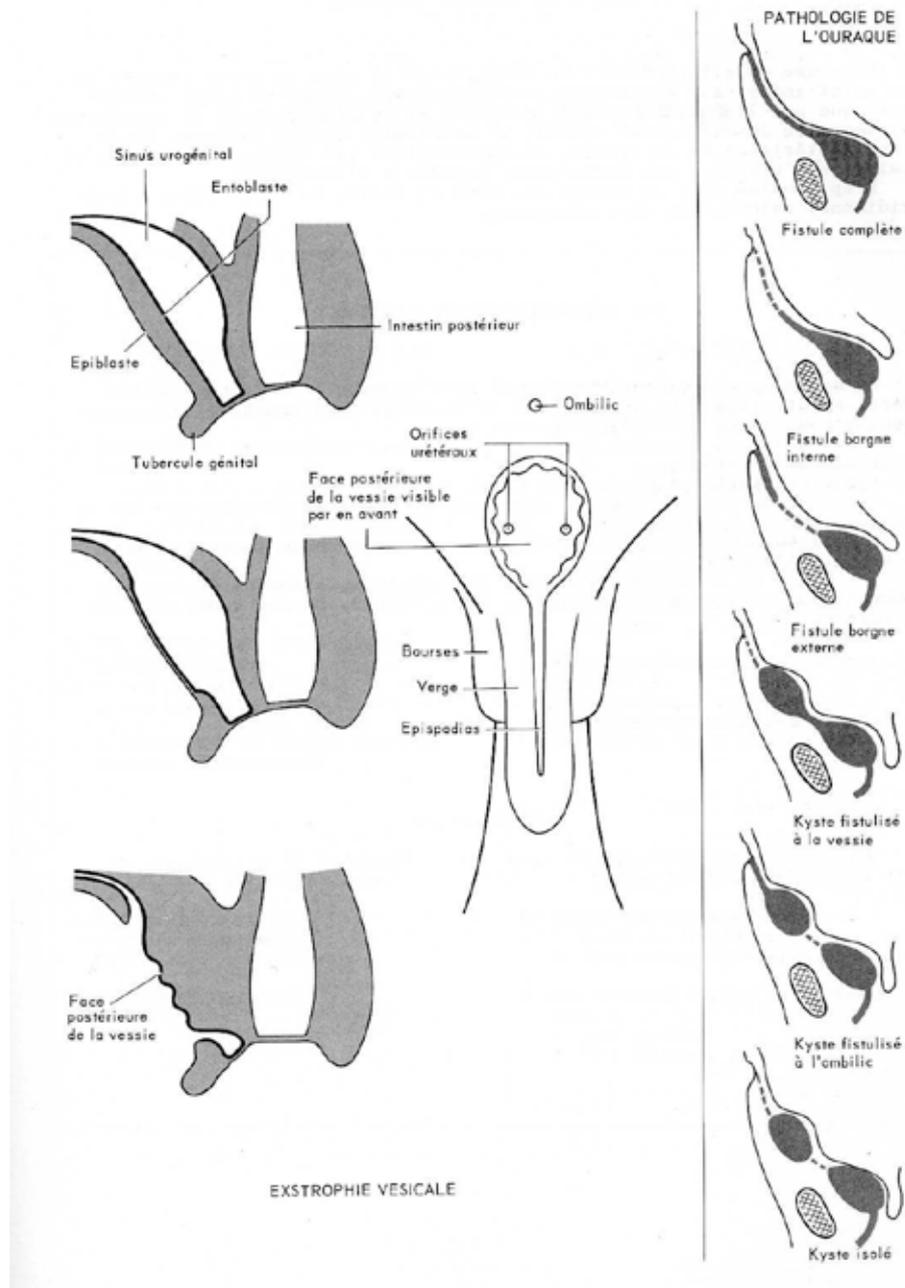


Figure 11 : l'exstrophie vésicale et la pathologie de l'ouraque

ÉVALUATION FORMATIVE

Question n° 1 : Le mésonéphros :

- A- apparaît dans la région lombaire basse de l'embryon
 - B- commence à se développer à la fin du 2^{ème} mois de vie embryonnaire
 - C- est à l'origine du canal de Müller
 - D- est à l'origine des néphrons du rein définitif
 - E- est à l'origine du canal de Wolff et du bourgeon urétéral
-

Question n° 2 :

- A- Le métanéphros commence à se développer au début du 3^{ème} mois
 - B- Le blastème métanéphrogène donne naissance aux tubes collecteurs
 - C- Le métanéphros est primitivement situé dans la région lombaire haute
 - D- Le bourgeon urétéral donne naissance aux petits et aux grands calices
 - E- Le métanéphros devient fonctionnel à partir de la 2^{ème} moitié de la grossesse
-

Question n° 3 : Le sinus urogénital :

- A- Est d'origine mésodermique
 - B- Résulte de la division du cloaque
 - C- Reçoit les 2 canaux de Wolff
 - D- Se continue par l'allantoïde
 - E- Est à l'origine du trigone vésical
-

Question n° 4 : Soient les propositions suivantes se rapportant au développement de l'appareil urinaire :

- A- le bourgeon urétéral est un dérivé endodermique
 - B- les petits calices et les tubes collecteurs dérivent du bourgeon urétéral
 - C- les segments distaux des néphrons dérivent du blastème métanéphrogène
 - D- les capsules de Bowman dérivent des vésicules métanéphrogènes
 - E- le tissu interstitiel du rein dérive du blastème métanéphrogène
-

Question n° 5 : Définir les termes suivants :

Agénésie rénale

Ectopie rénale

Question n° 6 : Expliquer les mécanismes embryologiques des malformations suivantes :

Rein en fer à cheval

Exstrophie vésicale

Question n° 7 : Citer 5 malformations congénitales se rapportant au développement embryologique du rein

Question n° 8 : Citer les malformations de l'ouraque : indiquer le mécanisme embryologique de ces malformations

Réponses :
Question n° 1 : E
Question n° 2 : D E
Question n° 3 : B C D
Question n° 4 : B C D E

PHYSIOLOGIE

L'APPAREIL EXCRÉTEUR

URINAIRE

INTRODUCTION

RAPPORT STRUCTURE FONCTION

1. INNERVATION RÉNALE
2. VASCULARISATION RÉNALE
3. LE NÉPHRON

FILTRATION GLOMÉRULAIRE

1. FORMATION DE L'URINE
2. BARRIÈRE DE FILTRATION
3. DÉTERMINANTS DE LA FILTRATION GLOMÉRULAIRE
4. PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENÇANT LA FILTRATION GLOMÉRULAIRE
5. NOTION DE CLAIRANCE
6. NOTION DE COEFFICIENT D'EXTRACTION
7. MESURE DU DÉBIT DE FILTRATION GLOMÉRULAIRE (DFG)
8. MESURE DES DÉBITS : PLASMATIQUE ET SANGUIN RÉNAL (DPR ET DSR)
9. NOTION DE FRACTION DE FILTRATION (FF)
10. NOTION DE CHARGE FILTRÉE
11. RÉGULATION DU DGF ET DU DPR

TRANSFERTS TUBULAIRES

1. DIFFÉRENTS TYPES DE TRANSPORT
2. RÉABSORPTION TUBULAIRE
3. SÉCRÉTIONS TUBULAIRES
4. EXCRÉTION RÉNALE DES PRODUITS TERMINAUX DU MÉTABOLISME

CONCENTRATION DES URINES

1. INTRODUCTION
2. CRÉATION DU GRADIENT OSMOTIQUE CORTICOPAPILLAIRE
3. MAINTIEN DU GRADIENT OSMOTIQUE CORTICO-PAPILLAIRE INTERSTITIEL
4. RÔLE DE L'ADH DANS LA CONCENTRATION DE L'URINE

LA MICTION

1. RAPPEL ANATOMOFONCTIONNEL
2. EPLETION ET CONTENTION VÉSICALE

RÉGULATION DE L'ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

1. DÉFINITION DU pH
2. ORIGINE DES GAINS ET DES PERTES D'IONS H⁺
3. LES MOYENS DE DÉFENSE DE L'ORGANISME
4. LES TROUBLES DE L'ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE ET LEUR COMPENSATION

Les objectifs éducationnels

Au terme de ce cours, l'étudiant pourra :

1. Décrire les deux réseaux capillaires de la circulation rénale.
2. Différencier les deux types de néphrons et leurs particularités.
3. Représenter la variation de pression au niveau de la circulation rénale.
4. Définir le débit sanguin rénal.
5. Définir la clairance rénale et le coefficient d'extraction de différentes substances.
6. Définir la filtration glomérulaire.
7. Expliquer le principe de mesure du débit de filtration glomérulaire.
8. Calculer la pression nette d'ultrafiltration.
9. Définir la charge tubulaire.
10. Expliquer les mécanismes impliqués dans l'autorégulation rénale.
11. Définir les notions de : réabsorption, sécrétion et d'excrétion d'une substance.
12. Définir les différents mécanismes de transport d'une substance.
13. Expliquer les mécanismes de réabsorption tubulaires du glucose, des protéines et des acides aminés.
14. Expliquer le mécanisme d'excrétion des produits terminaux du métabolisme : urée, créatinine, PAH.
15. Décrire les comportements tubulaires du sodium, du potassium, des phosphates et du calcium.
16. Décrire le rôle du rein dans la réabsorption des bicarbonates
17. Décrire les mécanismes de sécrétions acides et de régénération des bicarbonates
18. Expliquer le rôle des différents segments du néphron dans la concentration de l'urine.
19. Définir le principe de contre-courant multiplicateur
20. Expliquer le rôle de l'anse de Henlé dans la création du gradient cortico-papillaire.
21. Expliquer le rôle des vasa recta dans le maintien de ce gradient.
22. Localiser le site d'action de l'ADH au niveau du néphron et établir son mode d'action.
23. Décrire le rôle du cycle de l'urée dans l'établissement du gradient cortico-papillaire.
24. Expliquer le rôle du système nerveux central et végétatif dans la miction

« Il n'est pas exagéré de dire que la composition du sang est déterminée non par ce que la bouche prend, mais par ce que les reins gardent »

Homer Smith

INTRODUCTION

Le rein est un organe vital qui contrôle strictement la composition des secteurs liquidiens de l'organisme. Cet organe très sophistiqué, assure :

1. LA CONSERVATION des substances essentielles à la vie (eau, électrolytes, nutriments...).

2. L'EXCRÉTION : des déchets du métabolisme protéique (urée, créatinine, ammoniacque), des purines (acide urique, allantoiné), des substances organiques complexes, d'origine endogène ou exogène : toxines, médicaments...

3. L'HOMÉOSTASIE DU MILIEU INTÉRIEUR :

- pH (bilan H⁺ nul),
- osmolarité (bilan Na⁺ nul)
- volémie (bilan de l'eau = 0)
- kaliémie (bilan K⁺ nul)
- pression artérielle moyenne.

4. RÔLE ENDOCRINE

- Synthèse et sécrétion d'hormones (rénine et érythropoïétine),
- Formation de vitamine D active (hydroxylation du cholécalférol)

L'activité rénale est modulée localement (prostaglandines) et par des mécanismes de rétrocontrôle où interviennent le système nerveux central (hormone antidiurétique et arcs réflexes périphériques) et le système endocrinien (l'hormone antidiurétique pour l'excrétion d'eau), l'aldostérone pour l'excrétion de potassium et la parathormone pour l'excrétion de calcium et de phosphore.

Le glomérule assure la première étape de la formation des urines qui est la FILTRATION GLOMÉRULAIRE.

RELATION STRUCTURE FONCTION

1. INNERVATION RÉNALE

L'innervation des reins provient du plexus rénal de la division sympathique du système nerveux autonome. Les nerfs du plexus accompagnent les artères rénales et leurs branches, et sont distribués aux vaisseaux sanguins. Les nerfs étant vasomoteurs, ils

contrôlent la circulation sanguine dans les reins en réglant le diamètre des artérioles afférentes et efférentes. La stimulation du système sympathique rénal stimule la sécrétion de rénine et par conséquent d'angiotensine II.

2. VASCULARISATION RÉNALE

Les reins sont principalement chargés de retirer les déchets du sang et de régler sa teneur en liquides et en électrolytes. Ainsi, ces organes qui ne représentent qu'à peu près 0.5% du poids corporel, reçoivent environ 20 à 25% du débit cardiaque (5,5 l/min), soit environ 1,2 l/min pour les deux reins.

2.1 RÉSEAU VASCULAIRE RÉNAL

La distribution du débit sanguin rénal (DSR) est inégale :

- Le cortex reçoit 80 à 90% du sang,
- La médullaire, très peu irriguée : 10 à 20% du sang.

Dans un passage rénal, le sang traverse la séquence de vaisseaux suivante :

1. L'artère rénale, provenant de l'aorte, pénètre le rein par le hile,
2. Les artères interlobaires,
3. Les artères arquées, qui se situent à la jonction cortico-médullaire,
4. Les artères interlobulaires ou corticales radiales,
5. Les artérioles afférentes :

Chaque corpuscule rénal reçoit une artériole afférente qui se divise pour former un réseau enchevêtré de capillaires, appelé capillaires glomérulaires.

6. Les capillaires glomérulaires (un glomérule par artériole afférente)

Ces capillaires fusionnent pour donner naissance à une artériole efférente (α), qui draine le sang du glomérule. Étant donné que le diamètre de l'artériole efférente est inférieur à celui de l'artériole afférente, la pression artérielle des capillaires glomérulaires est considérablement plus élevée que celle qui règne dans les autres capillaires de l'organisme (favorable à la filtration).

7. Les artérioles efférentes (une par glomérule rénal) :

Chaque artériole efférente d'un néphron cortical se divise pour former un réseau de capillaires, appelés capillaires péri tubulaires, autour des tubules contournés proximal et distal. L'artériole efférente d'un néphron juxtamédullaire forme aussi des capillaires péri tubulaires. De plus, elle donne naissance à des vaisseaux en forme de boucle allongée, les vasa recta, qui descendent le long de l'anse de Henlé dans la médulla.

Les veines suivent un trajet inverse : les capillaires se déversent dans une veinule qui est drainée par la veine interlobulaire, suivie de la veine arquée, la veine interlobaire, les branches de la veine rénale et finalement la veine rénale.

2.2 RÉGIME DE PRESSION (FIGURE. 1)

On distingue deux systèmes capillaires en série, le premier glomérulaire, et le second péri tubulaire. Les résistances vasculaires modulables sont situées sur les artérioles glomérulaires afférente et efférente.

La pression hydrostatique glomérulaire (50 - 60 mm Hg) excède grandement celle de la capsule de Bowman (10 à 15 mm Hg), ce qui force le plasma à traverser la paroi glomérulaire. La conséquence immédiate est que la pression oncotique du sang augmente en avançant dans le glomérule jusqu'à annuler l'effet de la pression hydrostatique. L'artériole efférente transfère le sang non filtré par le glomérule vers un deuxième réseau capillaire qui entoure les tubules proximal et distal du néphron ainsi que le tube collecteur (les capillaires péri tubulaires). La pression hydrostatique dans l'artériole efférente

Ce poly a été téléchargé depuis med-tmss.blogspot.com/2016/08/cours.html | Page Fb : www.facebook.com/Faculte.de.Medecine.TMSS

chute à environ 15 mm Hg ce qui, conjointement avec l'augmentation de la pression oncotique, favorise la récupération de l'eau qui est réabsorbée passivement par les capillaires péri tubulaire. La variation de pression hydrostatique et oncotique dans le trajet vasculaire rénal est illustrée dans la figure ci-dessous.

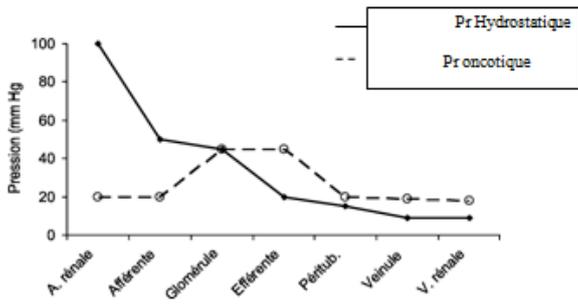


Figure 1. Évolution de la pression hydrostatique et de la pression oncotique du sang, lors de son trajet rénal

3. LE NÉPHRON

Chaque rein humain contient environ 1,25 million de néphrons, qui forment les unités fonctionnelles du rein. Chaque néphron consiste en un corpuscule rénal ou corpuscule de Malpighi, attaché à un tube long, fin, convoluté et sa vascularisation associée. Le tubule rénal comprend successivement : le tube contourné proximal (TCP), l'anse de Henlé (AH), le tube contourné distal (TCD). Chaque segment exerce des fonctions multiples et intervient sur une urine intra tubulaire qui change de composition en allant depuis le segment de départ (TCP) au segment final : tube collecteur (TC).

3.1 DIFFÉRENTS TYPES DE NÉPHRONS

A. NÉPHRONS COURTS OU CORTICAUX

Ce sont des néphrons dont les corpuscules sont à la périphérie du cortex. Ils ont des AH courtes qui ne dépassent pas la portion externe de la médulla. Ils sont majoritaires : 85 à 90 % de la totalité des néphrons.

B. NÉPHRONS LONGS JUXTA MÉDULLAIRES

Les corpuscules de ces néphrons se trouvent à la jonction cortico-médullaire. Ils possèdent des AH qui descendent jusqu'à la papille rénale. Ces néphrons bénéficient d'une vascularisation en épingle à cheveux ou vasa recta et assurent la création du gradient de concentration corticopapillaire. Ils sont minoritaires : 10 à 15% de la totalité des néphrons.

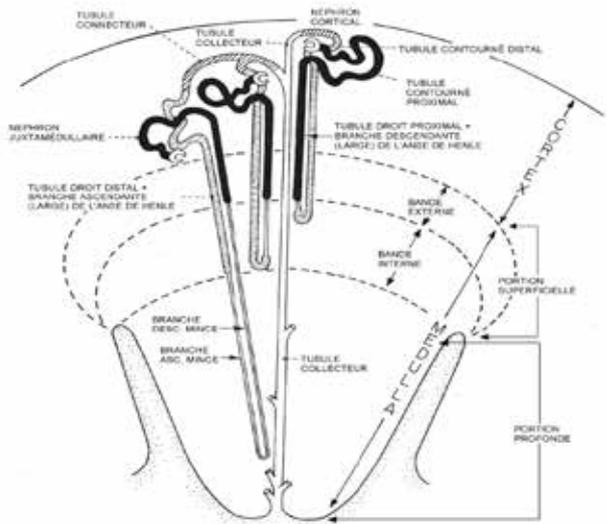


Figure 2. Structure des néphrons

3.2 APPAREIL JUXTAGLOMERULAIRE

La branche ascendante large de l'anse de Henlé (BAL) et le segment initial du tube distal. Lors de son trajet centrifuge vient en contact avec son propre glomérule pour former l'**APPAREIL JUXTAGLOMÉRULAIRE**. D'une part, les cellules épithéliales du tubule distal qui s'apposent à la racine du glomérule se spécialisent pour former la MACULA Densa. D'autre part, les cellules musculaires lisses de l'artériole afférente sont remplacées par des CELLULES GRANULAIRES qui sécrètent la rénine. Cet appareil juxtaglomérulaire joue un rôle clé dans la régulation de la volémie et de la pression artérielle moyenne (cf. thème XII).

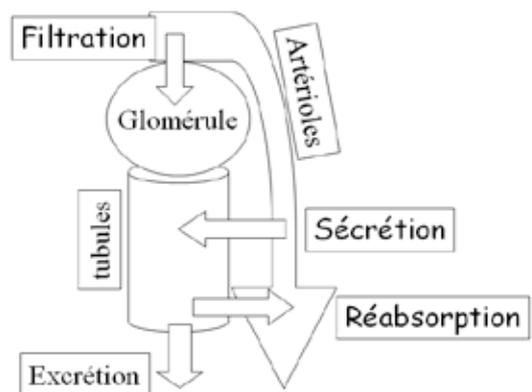


Figure 3. Appareil juxta glomérulaire

LA FILTRATION GLOMÉRULAIRE

1. FORMATION DE L'URINE

L'urine est formée par l'action séquentielle des différentes composantes du néphron : filtration, réabsorption, sécrétion et excrétion. (figure.4).

1.1 FILTRATION :

C'est la première étape de la formation des urines qui consiste à faire passer les substances des capillaires glomérulaires vers la lumière de la capsule de Bowman.

1.2 RÉABSORPTION :

Elle consiste à ramener la substance de la lumière tubulaire vers les capillaires péri tubulaires (glucose, Na⁺, HCO₃⁻....).

1.3 SÉCRÉTION : C'est l'inverse de la réabsorption, elle consiste à ramener la substance des capillaires ou des cellules tubulaires vers la lumière tubulaire (K⁺, acides organiques...).

1.4 EXCRÉTION : L'élimination de la substance dans les urines définitives (urée, créatinine, Na⁺...).

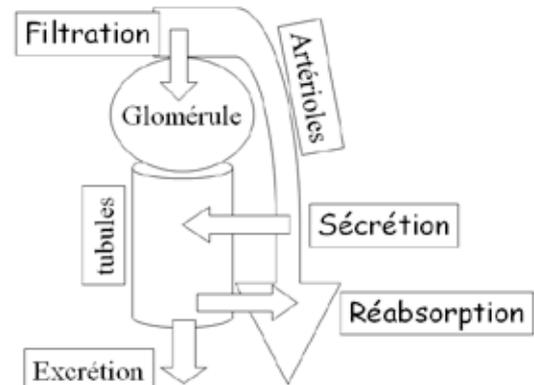


Figure. 4 Différentes fonctions du néphron

2. BARRIÈRE DE FILTRATION

Sur un plan fonctionnel et anatomique, la barrière de filtration comporte trois couches successives de dedans en dehors :

2.1 ENDOTHÉLIUM CAPILLAIRE GLOMÉRULAIRE

Il est largement fenêtré qui n'assure aucune restriction de taille (excepté les globules sanguins).

2.2 MEMBRANE BASALE GLOMÉRULAIRE

C'est un assemblage complexe (maillage) de glycoprotéines. Elle assure environ 30 % de la restriction de passage de taille. Sa composition chimique riche en glycoprotéines anioniques qui repoussent les charges négatives.

2.3 LES CELLULES ÉPITHÉLIALES

Elles sont appelées également podocytes. Elles recouvrent le versant externe de la membrane basale glomérulaire. Ces cellules fortement différenciées étendent des pieds ou pédicelles. Cette couche épithéliale assure l'ensemble de la restriction au passage de taille empêchant notamment le passage de protéines de poids supérieur à 60 KD. Les pédicelles sont également recouverts de glycoprotéines poly anioniques qui assurent une restriction au passage de charge.

La concentration de l'albumine (60KD) dans l'urine primitive est inférieure à 5 mg/l contre 40 g/l. Malgré cette concentration extrêmement faible dans l'urine primitive et compte tenu d'une ultrafiltration importante de 180 litres par jour, la quantité d'albumine passant le filtre glomérulaire est d'environ 1 g /jour. Cette albumine présente dans l'urine primitive n'apparaît cependant pas dans l'urine définitive en raison d'une réabsorption tubulaire très intense à plus de 99 % au niveau du tube contourné proximal.

En conclusion : La barrière de filtration glomérulaire est triplement sélective : sélectivité de poids, de taille et de charge (Figure. 5). L'ultra filtrat ou urines primitives a ainsi la même composition que le plasma sauf qu'il ne contient pas de protéines.

En conclusion : l'ultra filtrat ou les urines primitives ont la même composition que le plasma sauf qu'ils ne contiennent pas de protéines et d'éléments figurés du sang. Les glomérules filtrent environ 180 l/j soit 60 fois le volume plasmatique.

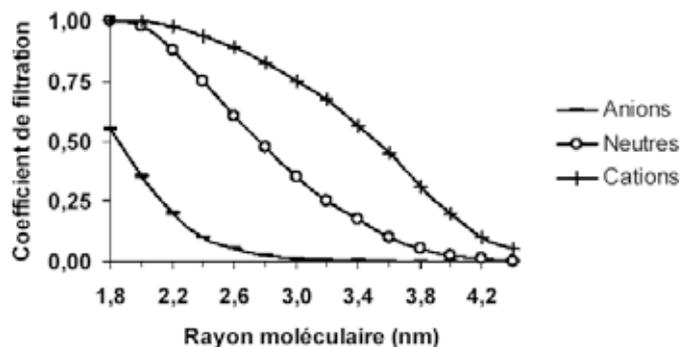


Figure.5 Sélectivité de taille et de charge à poids moléculaire identique

4. PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENÇANT LA FILTRATION GLOMÉRULAIRE

4.1 PRESSION HYDROSTATIQUE DANS LE CAPILLAIRE GLOMÉRULAIRE

Cette pression varie essentiellement en fonction :

- de la vasomotricité des résistances des artéριοles afférente-efférente.
- de la pression de perfusion rénale ou pression artérielle moyenne (volémie)

4.2 PRESSION ONCOTIQUE

La baisse de la pression oncotique augmente le DFG.

4.3 PRESSION HYDROSTATIQUE DANS LA CAPSULE DE BOWMAN

L'augmentation de cette pression suite à une occlusion des voies urinaires (Ex. calcul rénal) diminue la DFG.

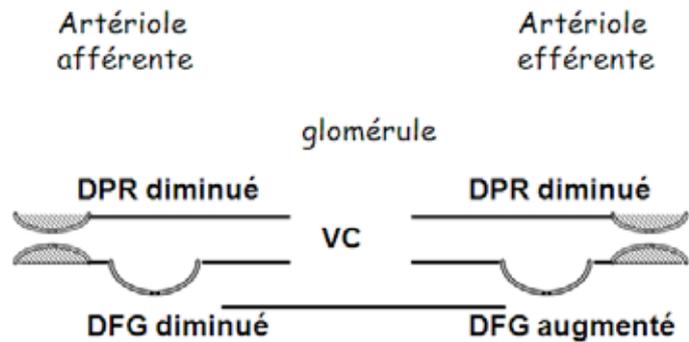


Figure 7. Effet de la vasomotricité sur le DPR et le DFG

4.4 COEFFICIENT DE PERMÉABILITÉ (Kf)

La valeur de Kf varie selon les espèces, car la composition de la barrière de filtration est variable. La surface de filtration est difficile à estimer : 5 à 15 m²/100 g de rein. Elle varie selon les espèces et selon le degré de contraction des cellules mésangiales (↓ : Angiotensine II et hormone antidiurétique, ↑ : Facteur Atrial Natriurétique).

5. NOTION DE CLAIRANCE

LA CLAIRANCE (C) indique le volume (virtuel) de plasma totalement débarrassé d'une substance y par unité de temps (ml/min ou l/j)

$$C_y = \frac{[U]_y \times V \gg}{[P]_y}$$

[U]_y = concentration urinaire de x exprimée en (mg/ml : inuline, glucose....) ou meq/l pour les électrolytes (Na⁺, K⁺...) ou mmoles/l (électrolytes, urée...).

V » = débit urinaire ml/min

[U]_y . V » = débit d'excrétion urinaire de y (mg/min, meq/min ou mmoles/min).

[P]_y = concentration plasmatique de y (mêmes unités que [U] x).

6. NOTION DE COEFFICIENT D'EXTRACTION

Le débit urinaire moyen V » étant faible par rapport au débit plasmatique (DPR). En considérant que les débits artériels d'entrée et veineux de sortie sont égaux. Ainsi, selon le principe de conservation de masse, on peut écrire pour une substance y donnée :

$$U_y \times V \gg = (C_{a_y} - C_{v_y}) \times DPR$$

U_y = concentration urinaire de y dans l'urine,
C_{a_y} = concentration artérielle
C_{v_y} = concentration veineuse
 $U_y \times V \gg / C_{a_y} = (C_{a_y} - C_{v_y}) / C_{a_y} \times DPR$
 $(C_{a_y} - C_{v_y}) / C_{a_y} =$ coefficient d'extraction de y (**E_y**)

E_y = Coefficient, indice, pourcentage ou taux d'extraction rénale de y. 0 ≤ E ≤ 1

Ex : E_{Glucose} = 0 et E_{PAH} = 1 (Acide Para-Amino-Hippurique).

La clairance peut être également exprimée en fonction du coefficient d'extraction rénale de y.

Étant donné que $U_y \times V \gg / C_{a_y}$ = clairance de y, on peut écrire :

$$C_y = E_y \cdot DPR$$

7. MESURE DU DÉBIT DE FILTRATION GLOMÉRULAIRE (DFG)

Le DFG est la quantité de liquide plasmatique qui traverse le filtre glomérulaire par unité de temps (ml/min ou l/j).

7.1 CLAIRANCE DE L'INULINE

Le DFG peut être déterminé par la technique de la clairance de l'inuline, un polysaccharide de fructose. Cette molécule neutre, de petite taille est éliminée exclusivement par filtration et n'est ni réabsorbée ni sécrétée par le rein. L'inuline n'est pas toxique pour l'organisme et ne subit pas de biotransformation ni de dégradation chimique.

$$\text{DFG ou } C_i = \frac{[U]_i \cdot V}{[P]_i}$$

Ou

$$\text{DFG ou } C_i = E_i \cdot \text{DPR}$$

$$\text{Or } E_i = 0,2 \text{ ou } 1/5 \quad \text{d'où} \quad \text{DFG} = C_i = 1/5 \text{ DPR}$$

7.2 CLAIRANCE DE LA CRÉATININE

La créatinine, produit de dégradation des protéines musculaires, est normalement présente dans le plasma. Cette substance endogène a une clairance proche de celle de l'inuline, de sorte qu'elle peut être utilisée en pratique clinique pour évaluer la filtration glomérulaire. Cependant, à forte concentration (exercice physique, insuffisance rénale), la créatinine est également sécrétée et ne peut être utilisée comme indicateur du DFG.

La clairance de la créatinine peut être estimée par la formule de Cockcroft :

$$\text{Clairance de la créatinine (ml/min)} = (140 - \text{âge}) \times \text{poids} / \text{créatininémie}$$

A = 1,23 chez l'homme et 1,04 chez la femme.

Cette formule est peu fiable chez les enfants, les sujets obèses, les sujets âgés et les femmes en période de grossesse.

8. MESURE DES DÉBITS : PLASMATIQUE ET SANGUIN RÉNAL (DPR ET DSR)

Le DPR est estimé par la clairance du PAH qui est un acide organique filtré et sécrété par les tubules rénaux. Cette substance disparaît de la circulation rénale dès le premier passage ($E_{\text{PAH}} = 1$), à condition qu'il soit utilisé à des doses faibles (concentration plasmatique < 20 mg/100 ml sang). A doses > 20 mg/100 ml, le Taux maximal de sécrétion ou Tm de sécrétion est atteint et la concentration veineuse du PAH n'est plus égale à 0 ($E < 1$).

8.1 MESURE DU DPR

$$\text{DPR ou } C_{\text{PAH}} = \frac{[U]_{\text{PAH}} \cdot V}{[P]_{\text{PAH}}}$$

$$\text{DPR ou } C_{\text{PAH}} = E_{\text{PAH}} \cdot \text{DPR}$$

8.2 MESURE DU DSR

$$\text{DPR} = \text{DSR} (1 - \text{Hématocrite})$$

$$\text{DSR} = \frac{\text{DPR}}{1 - \text{Hématocrite}}$$

Ainsi, pour un hématocrite de 40 %, le débit plasmatique d'un sujet ayant une surface corporelle de 1,73 m² est de l'ordre de 600 ml par minute.

$$\text{DSR} \approx 1/5 \text{ Débit cardiaque}$$

9. NOTION DE FRACTION DE FILTRATION (FF)

$$FF = \frac{DFG}{DPR} \approx 0,2$$

L'augmentation de la FF entraîne une augmentation de la π oncotique dans les capillaires péri tubulaires ce qui favorise le processus de réabsorption.

10. NOTION DE CHARGE FILTRÉE

La charge filtrée d'une substance y (F'_y) est la quantité de substance filtrée par unité de temps.

$$F'_y = DFG \times [P]_y$$

$[P]_y$ = Concentration plasmatique de y

F'_y s'exprime en : mg/min, mmoles/min, meq/min.....

11. RÉGULATION DU DSR ET DU DFG

Le DSR n'est pas déterminé par les besoins métaboliques du rein, car le rein ne consomme que 10 à 15 % de l'oxygène qui lui est présenté. Le rôle majeur de la circulation rénale est de maintenir un DFG stable malgré les variations hémodynamiques systémiques.

Ainsi, un DFG élevé risque de faire perdre à l'organisme des substances essentielles (nutriments, électrolytes...) alors qu'un DFG bas, limite les capacités d'élimination des déchets métaboliques d'où l'intérêt de maintenir constant ce paramètre.

Étant donné que le DFG varie en fonction du DPR, la régulation de ce dernier paraît à l'évidence nécessaire.

Cette régulation est double :

- intrinsèque, propre au rein
- extrinsèque : nerveuse sympathique et hormonale.

11.1 RÉGULATION INTRINSÈQUE OU AUTORÉGULATION

L'autorégulation rénale est une propriété intrinsèque qui existe même sur un rein dénervé et isolé. Le DSR est maintenu constant pour de larges variations de la pression artérielle moyenne systémique, entre 80 et 180 mm Hg (Figure 8).

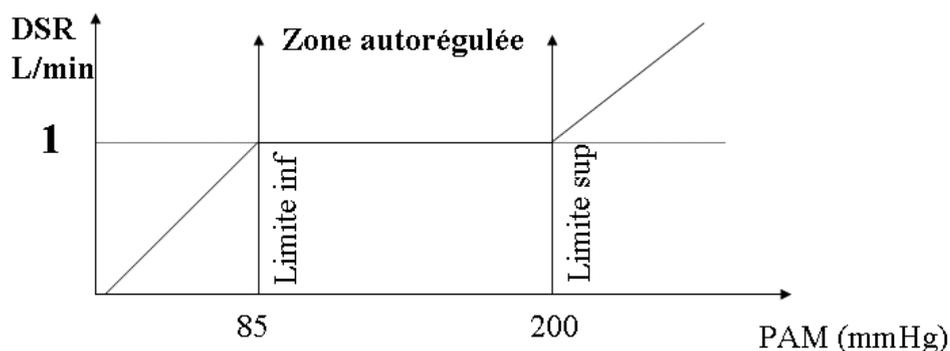


Figure 8. Autorégulation du DSR et du DFG

L'autorégulation du DSR est secondaire à deux mécanismes principaux : myogénique et le rétrocontrôle tubulo-glomérulaire par l'intermédiaire de la macula densa. Les hormones synthétisées au niveau du rein joueraient également un rôle dans le maintien de la stabilité du DSR et du DFG.

• UN MÉCANISME MYOGÉNIQUE

Les cellules musculaires lisses des artéioles afférentes sont sensibles à l'étirement provoqué par une augmentation de la pression artérielle de perfusion répondant par une vasoconstriction active. Ce mécanisme réflexe est lié à l'ouverture des canaux calciques et à l'entrée de calcium dans la cellule musculaire. Il est inhibé par la papavérine puissant myorelaxant et par les inhibiteurs calciques.

• RÉTROCONTRÔLE NÉGATIF TUBULO-GLOMERULAIRE :

Lorsque l'on augmente la pression de perfusion rénale, on augmente la pression hydrostatique dans les capillaires glomérulaires et la charge filtrée de NaCl. L'augmentation de la pression hydrostatique dans les capillaires péri tubulaires et la baisse du temps de réabsorption proximale entraîne une augmentation de la quantité de NaCl livrée à la macula densa ce qui stimule la sécrétion d'un agent paracrine (probablement l'adénosine) qui agit en contractant les cellules myoépithéliales de l'artériole afférente. De même, on assiste à une baisse de la sécrétion de rénine et d'angiotensine II locale.

Un mécanisme inverse intervient en cas de diminution de la pression de perfusion rénale.

• HORMONES RÉNALES

Le rein synthétise plusieurs substances vaso-actives agissant localement sur la vascularisation intra rénale.

- Système rénine angiotensine (SRA) intra rénal
- Système des prostaglandines (PG)
- Système kinine kallibréine (KK)

Système rénine angiotensine intra rénal

La rénine est synthétisée par les cellules granulaires de l'artériole afférente et libérée dans l'interstitium. Elle permet la transformation de l'angiotensinogène en angiotensine I qui est convertie en angiotensine II en présence de l'enzyme de conversion.

L'angiotensine II produite localement entraîne :

- une vasoconstriction de l'artériole efférente à l'origine d'une chute du débit sanguin glomérulaire et une augmentation de la fraction de filtration.
- une contraction des cellules mésangiales glomérulaires et une baisse du coefficient de filtration glomérulaire (Kf).
- Une vasoconstriction médullaire

Prostaglandines

Les prostaglandines sont synthétisées dans le cortex et la médullaire à partir de l'acide arachidonique par la voie de la cyclo-oxygénase. L'effet global est vasodilatateur et permet de limiter l'effet vasoconstricteur de l'angiotensine II.

Système Kinine – kallibréine

La Kallibréine rénale synthétisée par les cellules tubulaires distales agit sur la kininogène pour aboutir à la formation de la bradykinine.

Les kinines entraînent une vasodilatation des artérioles afférentes et efférentes avec augmentation du débit sanguin glomérulaire sans augmentation significative du DFG.

11.2 RÉGULATION EXTRINSÈQUE

Elle associe des effets extra rénaux et des effets sur l'hémodynamique intra rénale et participe à la régulation de la pression artérielle systémique :

- le système nerveux sympathique
- le système rénine angiotensine
- l'hormone antidiurétique
- le facteur atrial natriurétique

• SYSTÈME NERVEUX SYMPATHIQUE

L'innervation rénale est exclusivement sympathique principalement noradrénergique, mais également à un moindre degré dopaminergique.

Les terminaisons nerveuses sympathiques se distribuent à la totalité des vaisseaux du cortex, à tous les éléments de l'appareil juxta glomérulaire et aux tubules. Les terminaisons nerveuses dopaminergiques sont situées aux pôles vasculaires des glomérules.

Les effets vasoconstricteurs de la noradrénaline entraînent :

- une augmentation des résistances vasculaires rénales
- une diminution du DSR et du DFG

Cependant à l'état basal physiologique, l'effet vasoconstricteur porte essentiellement sur l'artériole efférente. Les effets vasomoteurs sympathiques noradrénergiques sont directs (α) et indirects (B1) stimulant la sécrétion de rénine.

Lorsque la pression artérielle systémique diminue beaucoup, la stimulation sympathique est responsable d'une vasoconstriction rénale importante et diffuse qui entraîne une réduction franche du DSR et du DFG (insuffisance rénale fonctionnelle).

La stimulation des fibres dopaminergiques induit une vasodilatation artériolaire glomérulaire. En thérapeutique, les effets vasomoteurs de la dopamine sont fonction de la posologie :

- à faible dose, les effets sont vasodilatateurs
- à forte dose, les effets sont vasoconstricteurs

• HORMONES EXTRA RÉNALES

Hormone antidiurétique (ADH) ou vasopressine (AVP)

Cette hormone synthétisée par les cellules des noyaux supraoptiques et paraventriculaires de l'hypothalamus est stockée au niveau de la post-hypophyse. Cette hormone est libérée sous l'effet de deux stimuli principaux : l'hypovolémie et l'hyperosmolarité.

A concentrations supraphysiologiques, l'ADH des effets vasopresseurs (récepteurs V1). Elle entraîne une élévation de la pression artérielle systémique, une augmentation des résistances vasculaires rénales et une diminution du DSR.

Facteur Atrial Natriurétique (FAN)

Le facteur atrial natriurétique est synthétisé par les myocytes auriculaires. C'est une hormone libérée en cas d'augmentation de la volémie.

Les effets de cette hormone sur l'hémodynamique rénale et la filtration glomérulaire sont dissociés :

- augmentation du DFG sans augmentation significative du DSR.
Ces effets sont dus à une vasodilatation de l'artériole afférente et une vasoconstriction plus modérée de l'artériole efférente entraînant une augmentation de la pression hydrostatique glomérulaire.
- augmentation de la charge filtrée de Na⁺ secondaire à l'augmentation du DFG.
- augmentation du coefficient d'ultrafiltration (Kf) secondaire au relâchement des cellules mésangiales.
- augmentation des débits sanguins et de la pression hydrostatique des vasa recta descendants et ascendants ce qui entraîne une augmentation de l'excrétion sodée.

Cette hormone vasodilatatrice agit également :

- en inhibant la sécrétion de rénine
- en s'opposant aux effets vasoconstricteurs de l'angiotensine II.

LES FONCTIONS TUBULAIRES

Les urines primitives en provenance de la capsule de Bowman subissent des traitements à chaque niveau du néphron, ainsi, sur les 180 l/j de liquide filtré les reins n'éliminent qu'environ 1,5 à 2 l/j dans les conditions normales d'hydratation.

Le débit d'excrétion d'une substance y ou U'_y est la résultante de trois processus :

$$U'_y = F'_y - R'_y + S'_y$$

F'_y , R'_y et S'_y représentent respectivement les débits ou charges : filtrées, réabsorbées et sécrétées de y.

1. DIFFÉRENTS TYPES DE TRANSPORT

La réabsorption tubulaire est effectuée par les cellules épithéliales tout au long des tubules rénaux. Elle se produit surtout dans les tubules contournés proximaux, dont les cellules épithéliales présentent de nombreuses microvillosités qui augmentent la surface de réabsorption et de nombreuses mitochondries pour énergiser les transports. Les parties distales du néphron sont à l'origine des processus de réabsorption plus précis (hormones) qui visent à maintenir les équilibres horméostatiques. La réabsorption tubulaire restitue des nutriments à l'organisme. Des déchets métaboliques tels que l'urée ne sont que partiellement réabsorbés.

1.1 TRANSPORT PASSIF

Le passage de la substance a lieu sans dépense d'énergie. Le flux passif se fait grâce à un gradient électrochimique, de concentration ou osmotique. Cependant, le sens du flux va toujours du compartiment le plus concentré vers celui qui l'est moins.

- au cours de la diffusion facilitée, un système de transport intervient dans le flux de la substance. Elle a lieu généralement du côté baso latéral (Glucose.). Le débit sera affecté par la quantité de substance en rapport au nombre de transporteurs (possibilité de saturation) ou par la présence d'autres substances (possibilité de compétition).

1.2 TRANSPORT ACTIF

Le transport actif se fait contre des gradients de concentration ou électrochimiques. Ce transport requiert une dépense d'énergie fournie dans la plupart des cas par une réaction chimique (par exemple, hydrolyse de l'ATP). Ces mécanismes de transport actif sont responsables du maintien des différences de potentiel de part et d'autre des membranes épithéliales (pompes Na^+/K^+ ATPase).

2. RÉABSORPTIONS TUBULAIRES

2.1 TUBE PROXIMAL

A. LA RÉABSORPTION DU SODIUM

La réabsorption du Na^+ est la principale activité du rein : elle est responsable de 90% de la consommation d' O_2 de cet organe. Le sodium est le seul substrat que le rein peut récupérer sans connaître une saturation de ses mécanismes de transport. Environ 60 à 70% de la charge filtrée du Na^+ est réabsorbée au niveau du TP.

- **Réabsorption par co-transport**

Le cotransport ou symport véhicule deux substances dans la même direction. Les co-transporteurs du Na^+ permettent la récupération par le tubule proximal des nutriments (glucose acides aminés...) présents dans l'ultra-filtrat. Cet ion est transféré vers l'espace intercellulaire au moyen des pompes Na^+/K^+ ATPase de la membrane basolatérale.

- **La pompe Na^+/K^+ ATPase**

La pompe Na^+/K^+ située du côté basolatéral expulse trois ions Na^+ du cytoplasme en échange de deux ions K^+ . Ce transporteur consomme l'énergie de l'hydrolyse de l'ATP. En raison de l'imperméabilité de la membrane basolatérale de l'épithélium rénal au Na^+ , cet ion qui est expulsé dans l'espace intercellulaire est entraîné par l'eau vers les capillaires sanguins. En effet, en expulsant le Na^+ vers l'espace intercellulaire du tubule, il se crée un appel d'eau qui entraîne les autres solutés, certains par la voie transcellulaire, d'autres par la voie paracellulaire processus connu sous le nom de « solvant drag ». L'eau et les solutés de l'espace intercellulaire diffusent vers les capillaires péri tubulaires en raison de la pression oncotique élevée et la faible pression hydrostatique dans le capillaire, de sorte qu'environ 60% du volume de l'ultrafiltrat est récupéré au niveau du TP. Cependant, cette réabsorption d'eau entraîne peu de changement dans l'osmolarité de l'urine.

• **L'échangeur Na⁺/H⁺ ou le contre transport Na⁺/H⁺**

Cet antiport est indispensable à la réabsorption de bicarbonates (cours Régulation du pH). Il est stimulé par l'angiotensine II et les catécholamines et inhibé par le FAN.

B. LE TRANSPORT DU POTASSIUM

Normalement, une grande partie du potassium filtré par le glomérule est réabsorbée par le tubule proximal : l'épithélium est très perméable au K⁺, ce qui permet à cet ion d'atteindre l'espace intercellulaire par la voie para cellulaire jusqu'à ce que ses concentrations de part et d'autre de la jonction serrée s'équilibrent. Dans ce cas, le K⁺ est entraîné par l'eau qui diffuse à la faveur du gradient osmotique (ce qui est connu sous le nom de « solvant drag ». Environ 50 à 60% du K⁺ est réabsorbé au niveau du TP.

C. LA RÉABSORPTION DES NUTRIMENTS DANS LE TCP

Cinq substances présentes dans le filtrat glomérulaire ont une grande importance nutritionnelle : glucose, protéines, acides aminés, acétoacétates et vitamines. Normalement, elles sont toutes complètement ou presque complètement réabsorbées par des processus actifs au niveau du tube proximal.

La quasi-totalité du glucose, des acides aminés et d'autres métabolites utiles sont librement filtrés est réabsorbés dans le tubule contourné proximal. Toutes ces substances sont réabsorbées par les symporteurs du sodium, qui fonctionnent par transport actif secondaire. L'ion Na⁺ et une molécule de glucose du filtrat se lie à un symporteur Na⁺-Glucose (protéine intégrale de membrane : Glu T2) qui achemine les deux substances dans le cytosol. Il s'agit d'un transport actif secondaire énergisé par la pompe Na⁺/K⁺ l'ATPase basolatérale. Les substances introduites dans les cellules du tubule contourné proximal par les symporteurs les quittent habituellement par diffusion facilitée à travers la membrane basolatérale et diffusent ensuite dans les capillaires péri-tubulaires.

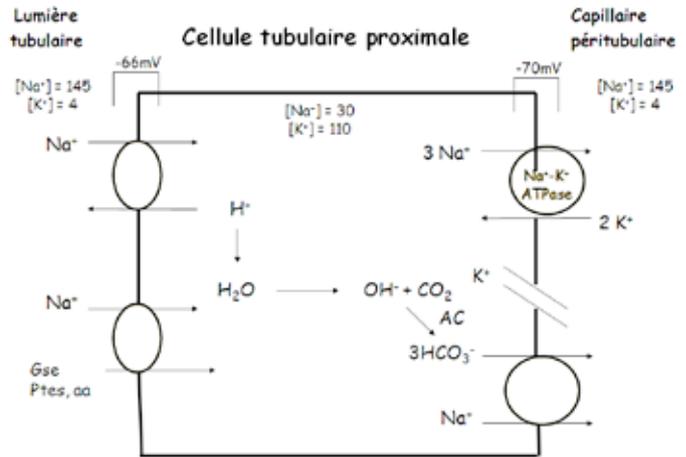


Figure 9. Cellule tubulaire proximale (Réabsorption des nutriments)

a. Réabsorption du glucose

En règle générale, tout le glucose et les acides aminés filtrés par les glomérules sont réabsorbés dans le TCP. Cependant, chaque type de symporteur comporte une vitesse maximale à laquelle il peut fonctionner, tout comme un escalier mécanique ne peut transporter qu'un nombre limité de personnes en une heure. **Cette limite est appelée taux maximal de réabsorption (Tm) ou transport maximal et est mesurée en mg/min.** Lorsque l'une de ces substances possède une concentration sanguine anormalement élevée, le Tm peut être dépassé. En conséquence, la substance est éliminée dans les urines définitives.

Le seuil rénal de réabsorption mesuré en mg/ml, est la concentration plasmatique à partir de laquelle une substance commence à se déverser dans l'urine parce que son Tm a été dépassé.

La courbe de titration du glucose figurant ci-dessous illustre l'exemple d'une réabsorption limitée par un Tm. Le glucose a une concentration dans l'urine glomérulaire identique à celle du plasma et la charge tubulaire en glucose est égale à chaque minute dans les conditions normales à FP = 1 mg/l x 125 ml/min = 125 mg/min.

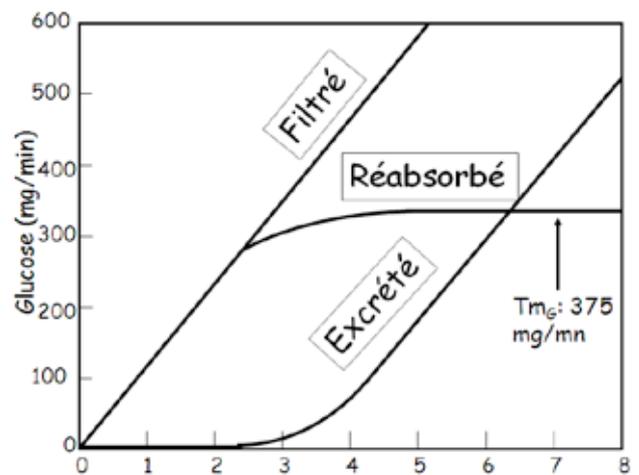


Figure. 10 Courbe de titration du glucose

A l'état physiologique, la glycosurie est nulle (E'G = U . V » = 0) et les 125 mg/mn de glucose filtrés sont donc réabsorbés.

Si la glycémie est progressivement élevée par une perfusion intraveineuse de glucose, on peut calculer pour chaque concentration plasmatique du glucose la charge tubulaire ou la charge filtrée ou F » :

F » = DFG . [Glycémie]

- pour une glycémie voisine de 1,8 g/l à 2 g/l, tout le glucose filtré est réabsorbé (E'G= 0 et la clairance est nulle).

• Au-dessus de 1,8 à 2 g/l, le glucose apparaît progressivement dans les urines :

$$E'_G = UV \gg \# 0. \quad E \gg = F \gg - R \gg$$

• Quand la glycémie dépasse 3 g/l, la courbe d'excrétion $E \gg$ devient parallèle à la courbe de filtration (FP). À partir de ce moment, TG est devenu constant. Le seuil est ainsi atteint : $Tm_G = FP - U.V \gg = F \gg - E \gg$.

Le Tm_G est une constante qui se situe aux alentours de 300 à 375mg/mn. Ce seuil est atteint progressivement du fait de l'hétérogénéité néphronique.

b. Les acides aminés

Les acides aminés circulants filtrent librement, mais ils sont totalement réabsorbés selon des mécanismes actifs et à seuil. On connaît 7 types de transporteurs suivant les acides aminés ou les classes d'acides aminés. Ainsi, à l'état physiologique, n'y a pas d'aminocidurie.

Un déficit de réabsorption de la cystine entraîne l'apparition de calculs rénaux : on parle de lithiase cytinurique.

c. Les protéines

La très faible quantité de protéines filtrées (≈ 30 g/j) est réabsorbée par pinocytose puis dégradée en acides aminés.

d. Les phosphates

La plus grande fraction des phosphates filtrés sont réabsorbés le long du tube proximal. Cependant, il existe une réabsorption le long du tube contourné distal et de la portion terminale du néphron. Le transport des phosphates de la lumière tubulaire dans la cellule à travers la membrane est lié au gradient de Na^+ . Entre la lumière tubulaire et la cellule, il s'agit d'un cotransport de phosphate avec le Na^+ , analogue aux cotransports du glucose et des aminoacides (Tm phosphates).

e. Le calcium (Ca^{++})

Le calcium est un cation vital et l'un des principaux constituants de l'organisme (squelette). Dans le tube proximal, la pars recta, le segment cortical de la branche large de l'anse de Henlé et le tube distal, la concentration intracellulaire du Ca^{++} est probablement très faible et la cellule a une différence de potentiel négative à l'intérieur. L'entrée apicale du Ca^{++} dans la cellule pourrait donc être passive, alors que sa sortie basolatérale devrait être active. Le mécanisme de ce flux actif du Ca^{++} au niveau des membranes basolatérales pourrait être double, une pompe de type Calcium ATP ase dépendant de l'ATP et un contre-transport d'échange Na^+ / Ca^{++} .

En tant qu'organe excréteur, le rein participe fondamentalement à l'équilibre du bilan calcique. Environ 270 mm/j sont filtrée. De cette quantité, 0,5 à 3 % seulement apparaît dans l'urine et 98 % du Ca^{++} filtré est donc réabsorbé. La dynamique de cette réabsorption est étroitement liée à celle du Na^+ et 60 à 70 % de la charge filtrée est réabsorbée dans le TP.

f. Les déchets métaboliques

• L'acide urique

Sa production journalière importante résulte de la dégradation des bases puriques et des purines contenues dans l'alimentation (en particulier carnée).

L'élimination de l'acide urique est biliaire, mais surtout rénale. L'acide urique est filtré puis réabsorbé totalement (Tm élevé). Cette substance est également sécrétée ce qui assure l'excrétion urinaire de l'acide urique formé quotidiennement (10% de la charge filtrée).

Dans le sang, l'acide urique circule sous forme d'urate. Chez les sujets qui ont une hyperuricémie et des urines acides, l'acide urique peut précipiter et former des calculs, on parle de lithiase urique. Le traitement prévoit de donner une eau minérale riche en bicarbonates pour alcaliniser les urines.

• L'urée

Il s'agit du principal catabolite protéique. L'excrétion sous forme d'urée représente 90% de la perte azotée journalière. La formation uréique quotidienne dépend de :

- l'intensité du catabolisme protéique
- l'alimentation : apport protéique journalier

La réabsorption passive est secondaire au gradient de concentration créé par une autre réabsorption passive, celle de l'eau. Plus l'eau est réabsorbée, plus l'urée se concentre dans les urines. La réabsorption passive varie avec l'état d'hydratation. Quand le débit urinaire est assez faible (< 3 ml/min), cela veut dire que beaucoup d'eau a été réabsorbée, donc l'urée a été très concentrée et donc beaucoup réabsorbée. Sa clearance est basse, son excrétion fractionnelle est faible. Quand le débit urinaire augmente, l'urée se concentre moins et est donc moins réabsorbée. Sa clearance est plus élevée et atteint une valeur d'environ 75 ml/min ; son excrétion fractionnelle est d'environ 60%. Ces conditions offrent une clearance maximale de l'urée.

La diffusion est facilitée par des transporteurs membranaires en fonction du gradient.

La réabsorption tout le long du tube prend un caractère très important au niveau du canal collecteur des néphrons. Cette réabsorption participe à la réabsorption facultative de l'eau, aux mécanismes de concentration et dilution des urines.

Ce poly a été téléchargé depuis med-tmss.blogspot.com/2016/08/cours.html | Page Fb : www.facebook.com/Faculte.de.Medecine.TMSS

g. Autres

L'acide Para AminoHippurique et certains antibiotiques tels que les pénicillines sont sécrétés par le rein.

La courbe de filtration est symétrique inverse de celle du glucose. Tout le PAH est sécrété quand la concentration est basse. Quand elle est haute, la sécrétion est plafonnée, c'est le T_m de sécrétion du PAH.

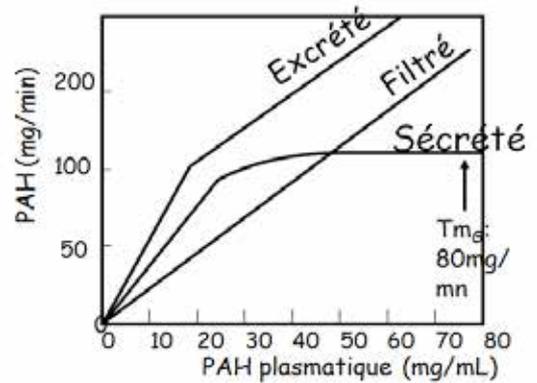


Figure. 11 Courbe de titration du PAH

En conclusion :

A la sortie du TP :

- Le liquide tubulaire est isotonique au plasma
- 60 à 70% de l'eau et des électrolytes sont réabsorbés
- Le pH est légèrement acide (6,9 – 7,2).
- Le liquide est dépourvu de glucose et d'acides aminés.
- Les déchets métaboliques sont partiellement réabsorbés

2.3 L'ANSE DE HENLÉ

Une réabsorption additionnelle de cations, d'anions et de molécules d'eau se produit dans l'anse de Henlé, les tubules contournés distaux et les tubules collecteurs.

L'anse de Henlé réabsorbe environ 40% de K^+ filtré, 25% du Na^+ et Cl^- filtrés. A ce niveau du néphron, l'eau filtrée par osmose n'est pas automatiquement associée à la réabsorption des solutés filtrés. Cette caractéristique permet à l'organisme de produire un volume élevé d'urine très diluée ou un petit volume d'urine très concentrée (Cf chapitre concentration des urines). Ainsi, la régulation de la quantité d'eau totale corporelle et celle de la pression osmotique des liquides organiques peuvent s'effectuer indépendamment l'une de l'autre.

La figure ci-dessous décrit le mécanisme principal de réabsorption dans ce fragment du néphron. Les cellules de la branche ascendante épaisse de l'anse de Henlé renferment des transporteurs qui récupèrent simultanément un ion Na^+ , un ion K^+ et deux ions Cl^- à partir du filtrat. Ce cotransport apical électro neutre dépendant de la pompe Na^+/K^+ basolatérale maintient une concentration faible en ions Na^+ dans le cytosol qui favorise les transports apicaux.

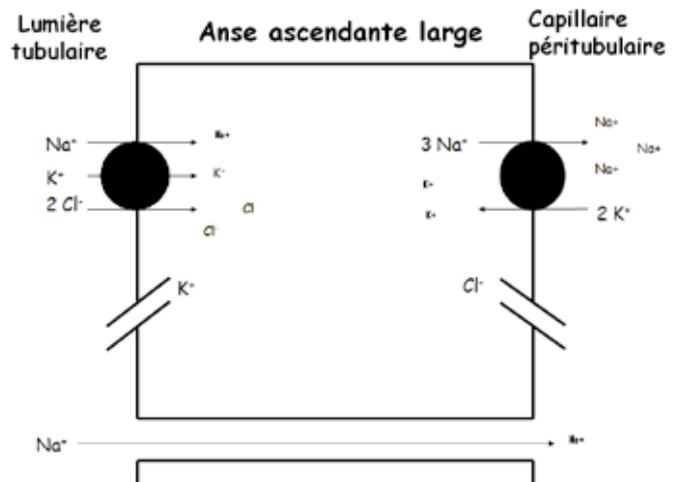


Figure 12. Cellule de la BAH

Par ailleurs, les canaux de fuite permettent de nouveau le recyclage des ions K^+ dans le filtrat et dans le liquide interstitiel. Ainsi, l'effet global de ce mécanisme est la réabsorption d'ions Na^+ et Cl^- . Une certaine quantité d'eau est réabsorbée dans la branche descendante de l'anse de Henlé grâce à un processus que nous décrivons un peu plus loin. Cependant, une quantité faible ou nulle d'eau est réabsorbée dans la branche ascendante de l'anse de Henlé, parce que les surfaces apicales de ces cellules sont presque imperméables à l'eau.

A la sortie de l'AH :

- le liquide tubulaire est hypotonique au plasma
- légèrement acide
- réabsorption de 10-15% de HCO_3^-
- réabsorption de 15 à 20% du $NaCl$ filtré

2.4 LA RÉABSORPTION DANS LE TD ET DANS LE TC

Le tube distal fait suite à la branche ascendante de l'anse de Henlé. Fonctionnellement, on le divise en deux parties : initiale et terminale.

1.1. TUBE DISTAL INITIAL

Cette partie partage de nombreuses propriétés avec la branche large ascendante de l'anse de Henlé. Elle est imperméable à l'eau et à l'urée (segment diluant du rein) et elle est le siège de réabsorption de la plupart des ions : sodium, potassium, chlore, calcium et magnésium. On retrouve :

- des échangeurs Na^+/H^+ pour l'acidification de l'urine
- des cotransports Na^+/Cl^- qui peuvent être inhibés par les thiazidiques (famille de diurétiques)
- une pompe à Ca^{++} sur la membrane baso-latérale. A son niveau il existe une régulation (modulation) du transfert de Ca^{++} par la **PTH**.
- un échangeur $\text{Ca}^{++}/\text{Na}^+$

1.2. LES SEGMENTS TERMINAUX

Ces segments sont constitués par la partie terminale du TCD et la partie initiale du TC. Ils permettent la réabsorption de 5 à 10% du Na^+ et de l'eau filtrés et sont responsables de l'ajustement final de la composition de l'urine.

A ce niveau, il existe les **cellules principales et intercalaires (Figure 13)** qui sont sous l'action de **l'ADH et de l'aldostérone**.

- La cellule principale est caractérisée par un canal sodique à amiloride qui permet la réabsorption du Na^+ et un canal potassique qui sécrète le K^+ . L'aldostérone stimule la réabsorption de Na^+ en augmentant le nombre et l'activité du canal sodique à amiloride et de la pompe Na^+/K^+ ATPase et elle va stimuler la sécrétion de K^+ par le gradient électrique créé. La réabsorption de l'eau est régulée par l'ADH.
- La cellule intercalaire A est caractérisée par une pompe H^+ ATPase qui sécrète H^+ et une pompe H^+/K^+ ATPase qui sécrète H^+ et réabsorbe K^+ ; la réabsorption de bicarbonate du côté basolatérale se fait grâce à un antiport $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$. L'aldostérone active la pompe H^+ ATPase
- La cellule intercalaire B est une image en miroir de la cellule A.

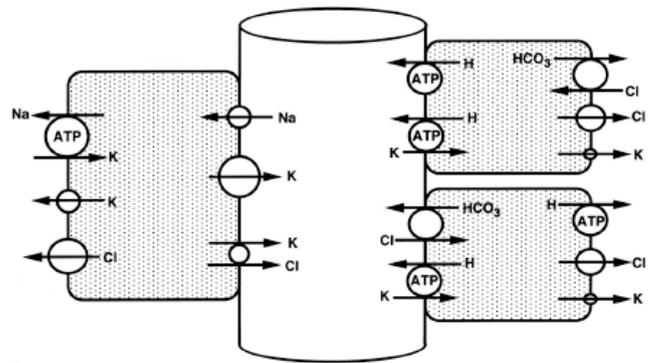


Figure 13. Les trois populations cellulaires : Principale, intercalaire A et B

Certains facteurs pouvant intervenir sur la sécrétion du K^+ :

Augmentée	Diminuée
• Alimentation riche en K^+	• Alimentation pauvre en K^+
• Hyperaldostéronisme	• Hypoaldostéronisme
• Alcalose	• Acidose aiguë
• Diurétiques thiazidiques	• Diurétique d'épargne du K^+
• Diurétiques de l'anse	
• Anions luminaux	
• ↑ du débit urinaire, ↑ débit distal de Na^+	

Au niveau du canal collecteur médullaire, le sodium continue à être réabsorbé, mais il n'y a plus de cellules principales et l'aldostérone continue à stimuler uniquement la sécrétion de H^+ (médullaire externe). L'ADH continue à augmenter la perméabilité à l'eau et augmente la perméabilité à l'urée au niveau de la médullaire interne. Cette réabsorption contribue à l'augmentation de l'osmolarité de l'interstitium médullaire et à la formation d'urine concentrée.

CONCENTRATION DES URINES

1. INTRODUCTION

La capacité des reins à produire une urine concentrée (hypsomotique) est un déterminant majeur des possibilités de survie en l'absence d'eau. Le rein humain peut produire une concentration urinaire maximale voisine de 1400 mosm/L. L'urée, les ions sulfates, phosphates et les autres produits de déchets métaboliques sont excrétés obligatoirement chaque jour à une osmolarité d'environ 600 mosm. Par conséquent, l'eau nécessaire à leur excrétion constitue une perte hydrique obligatoire égale à :

$$\frac{600 \text{ mosm} / 24 \text{ H}}{1400 \text{ mosm}} = 0,44/\text{jour}$$

Tant que les reins fonctionnent, l'excrétion de ce volume d'urine se produit, en dépit de l'absence d'ingestion d'eau.

La concentration des urines dépend :

- d'un processus physique : le mécanisme de contre-courant multiplicateur
- d'une action hormonale médiée par l'hormone antidiurétique (ADH)

La conjugaison de ces deux effets permet d'augmenter ou de diminuer la quantité d'eau réabsorbée au cours du trajet tubulaire en fonction des besoins hydrique.

2. CRÉATION DU GRADIENT OSMOTIQUE CORTICOPAPILLAIRE

La conformation de l'anse de Henlé permet de réaliser un mécanisme de contre-courant dans le rein. La présence d'une boucle formée par les branches rapprochées de l'anse, à l'intérieur desquelles le liquide circule en sens inverse, autorise les échanges de constituants entre les segments ascendant et descendant.

Ce mécanisme est expliqué sur la figure. 14 où le déplacement du fluide tubulaire et les mécanismes de transfert dans le temps sont dissociés artificiellement.

Initialement, au temps 0, l'urine s'écoule et l'osmolarité, de 300 mosm/l (A) en tout point de l'anse, est identique à celle du fluide tubulaire proximal et de l'interstitium. On immobilise ensuite la colonne d'urine. La branche ascendante, imperméable à l'eau est alors le siège d'un transfert actif de NaCl constituant à chaque niveau l'effet élémentaire qui aboutit à la création d'une différence transépithéliale de concentration (B).

La branche descendante étant largement perméable à l'eau, il s'y produit une soustraction nette d'eau, jusqu'à équilibration de l'osmolarité interstitielle. Une différence de concentration de 200 mosm est ainsi créée entre la lumière de la branche ascendante et (D) l'interstitium. Les mécanismes de transfert sont alors stoppés et on laisse l'urine s'écouler (C).

Lorsque l'on stoppe de nouveau la colonne urinaire et que l'on laisse l'effet élémentaire se produire une nouvelle différence de concentration entre lumière tubulaire et interstitium apparaît (D), etc.

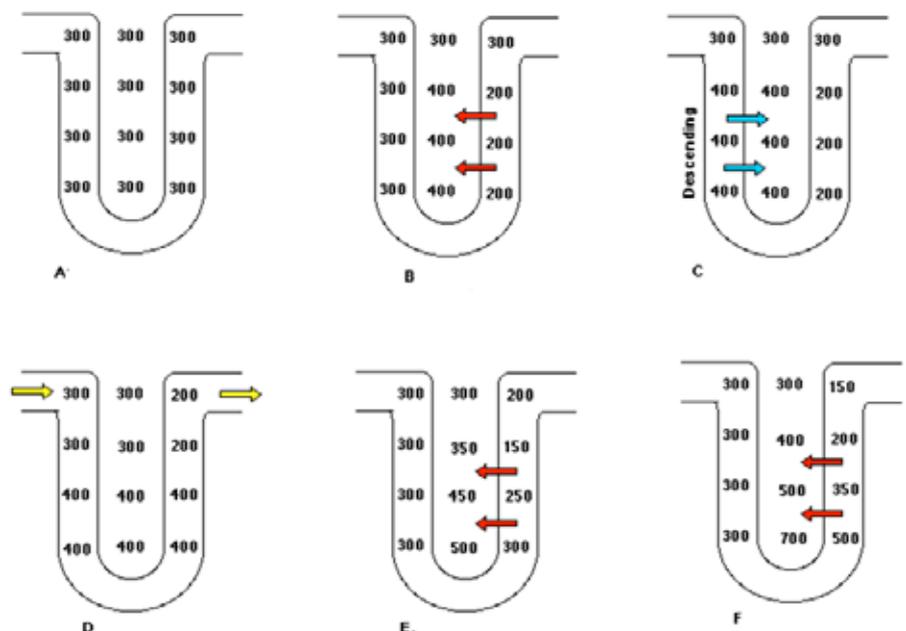


Figure 14. Concentration des urines (Modèle expérimental)

L'effet progressif de multiplication de concentration à contre-courant aboutit à la situation suivante :

- il se forme un gradient corticopapillaire osmotique progressif dans l'interstitium avec une branche descendante qui s'équilibre avec l'interstitium
- une dilution progressive de l'urine le long de la branche ascendante de l'anse de Henlé permet à cette urine de sortir hypo-osmotique par rapport au plasma

Ainsi, le moteur de la création du gradient corticopapillaire est l'effet élémentaire de réabsorption de NaCl dans la branche ascendante de l'anse de Henlé. Si cet effet est inhibé, le gradient corticopapillaire disparaît. L'importance du gradient corticopapillaire dépend aussi de la longueur de l'anse. Plus l'anse est longue, plus le gradient corticopapillaire est important.

3. MAINTIEN DU GRADIENT OSMOTIQUE CORTICO-PAPILLAIRE INTERSTITIEL

Si le milieu interstitiel était vascularisé par du plasma ayant une osmolarité à 300 mosm/L et un grand débit, le gradient osmotique corticopapillaire aussitôt constitué serait dissipé par drainage des solutés vers le sang.

Deux phénomènes majeurs permettent d'entretenir le gradient osmotique corticopapillaire :

- D'une part, le débit sanguin dans les vasa recta est faible, ne représentant que 1% du débit sanguin total
- D'autre part, et surtout les vasa recta cheminent parallèlement aux anses de Henlé, réalisant des anses vasculaires, ce qui permet un échange à contre-courant d'eau et de substances dissoutes. En effet, l'osmolarité du plasma sanguin venant du cortex (300 mosm/l) et circulant dans les vasa recta descendants s'équilibre progressivement avec l'osmolarité interstitielle plus élevée, les substances dissoutes diffusant dans le capillaire et l'eau le quittant.

Après la pointe de l'anse, lorsque le sang circule dans les vasa recta ascendants, des mouvements inverses s'observent avec entrée d'eau dans le capillaire et sortie de substances dissoutes. Tout se passe comme si l'eau court-circuitait les vasa recta, expliquant ainsi son faible renouvellement dans les parties profondes du rein, et le maintien d'une osmolarité élevée.

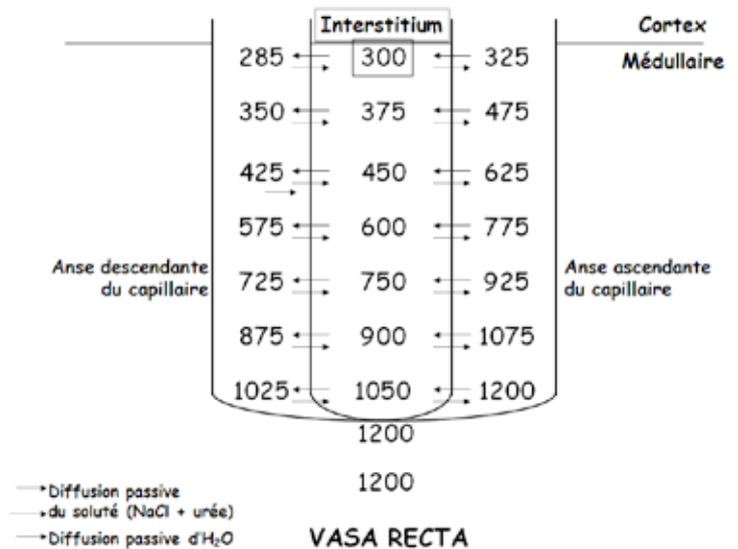


Figure 15. : Rôle des vasa recta dans le maintien du gradient corticopapillaire

Il faut noter que l'urine sortant hypotonique de la branche ascendante, le plasma sortant des vasa recta, après avoir drainé le NaCl réabsorbé est nécessairement hypertonique.

4. RÔLE DE L'ADH DANS LA CONCENTRATION DE L'URINE

La réabsorption de l'eau, toujours passive dépend de la perméabilité du tube distal et de celle du canal collecteur qui dépend elle-même de l'ADH.

- En présence d'ADH, ces segments sont perméables à l'eau, qui est réabsorbée en fonction des gradients de concentration. Dans le tube distal terminal, l'urine redevient isotonique au plasma. Dans le canal collecteur qui traverse la médulla hypertonique, l'urine se concentre.
- En absence d'ADH (diabète insipide, états de surcharge hydrique), le tube distal terminal et collecteur sont imperméables à l'eau. L'urine qui est diluée à la sortie de l'anse de Henlé, le reste jusqu'à la papille. Ces états correspondent donc à une diurèse abondante faite d'urines hypotoniques.

En augmentant la perméabilité à l'urée du canal collecteur dans sa partie terminale, l'ADH va permettre à une partie de l'urée concentrée en amont, de diffuser dans l'interstitium de la médulla interne participant ainsi à la création du gradient cortico-papillaire.

Une partie importante d'urée remontant de la profondeur sera « recyclée » dans la branche descendante des néphrons, très perméable à l'urée et sera ainsi ramenée à la médulla. Par ce processus, une concentration d'urée élevée est établie dans la médulla et dans l'urine.

L'effet de l'ADH sur les portions les plus distales du néphron est à l'origine d'une notion théorique, mais d'un grand intérêt pratique : « **la clairance de l'eau libre** » ou CH_2O (ml/min) est le débit d'eau qu'il faut ajouter ou soustraire des urines pour les rendre iso-osmotiques au plasma. Ainsi, le débit urinaire (V) : ml/min) est arbitrairement divisé en deux portions :

- l'une est la quantité d'eau nécessaire pour contenir les solutés de l'urine et former une solution isotonique au plasma : c'est la clairance osmolaire (C_{osm} : ml/min).

$$C_{osm} = \frac{U_{osm} \cdot V \text{ ml/min}}{P_{osm}}$$

$U_{osm} = \text{osm/ml}$

$P_{osm} = \text{osm/ml}$

- l'autre portion est la quantité d'eau qu'il faut ajouter ou retrancher à la clairance osmolaire pour avoir le volume urinaire final.

$$V = C_{osm} + CH_2O \quad CH_2O = V \left[\frac{1 - U_{osm}}{P_{osm}} \right]$$

CH_2O est positive quand l'urine est diluée (pas d'ADH) et négative en antidiurèse.

A l'état normal, la CH_2O est constamment négative, sauf pendant une charge hydrique.

- autres effets physiologiques

- Vasoconstriction
- Libération d'ACTH
- Inhibition de la sécrétion de rénine
- Stimule la synthèse de prostaglandines intra rénales
- Favorise la glycogénolyse hépatique.

CONCLUSION

La production d'urine dépend avant tout d'une perfusion sanguine du rein adéquate. L'unité fonctionnelle du rein, le néphron, est un filtre endothélial qui se déverse dans une tubule épithéliale. L'urine est formée d'un grand volume de filtrat exempt de protéines, dont la composition chimique est progressivement modifiée par l'activité sécrétoire et absorbative du tubule rénal. La filtration et la réabsorption s'équilibrent pour récupérer la presque totalité de l'eau et des électrolytes. Ces deux processus dépendent de l'hémodynamique au niveau capillaire.

L'épithélium tubulaire est divisé en segments dont les structures et les fonctions diffèrent. La fonction de chaque segment est influencée par celle des autres. Les segments proximaux du tubule récupèrent la presque totalité de l'ultra filtrat, mais il ne change pas beaucoup sa composition. À l'opposé, les segments distaux récupèrent peu d'ultra filtrat, mais ils modifient grandement sa composition. Par conséquent, la modulation de l'excrétion des électrolytes dans le tubule distal est grandement responsable de la régulation du fluide extracellulaire.

LA MICTION

Le liquide tubulaire arrive dans les calices du bassinets par les canaux collecteurs après avoir subi des modifications dans sa composition sur toute la longueur du néphron. Il s'écoule vers la vessie par l'intermédiaire des uretères. Périodiquement, le réservoir vésical se vide par l'urètre. Cette expulsion constitue la miction. Il s'agit d'un réflexe médullaire, placé sous contrôle cortical, comportant une partie volontaire.

1. RAPPEL ANATOMO-FONCTIONNEL

Les uretères sont de fins canaux symétriques étendus des bassinets jusqu'à la partie inférieure de la vessie. Ils sont constitués de fibres musculaires lisses (leur couche externe comporte un plexus nerveux intra mural et des capillaires). Ils reçoivent la double innervation sympathique et parasympathique.

De nombreuses fibres afférentes, capables de transmettre des stimulations nociceptives, sont à l'origine de fortes douleurs rencontrées lors des lithiases urétérales.

Cette structure est comparable à celle de l'intestin. Des ondes péristaltiques déclenchées par la distension des fibres lisses vont permettre la propulsion de l'urine. Elles débutent au niveau du bassinets, lorsque la pression augmente, se propagent le long de l'uretère et se terminent à l'embouchure de la vessie.

Le sphincter externe est innervé par les nerfs honteux internes issus des segments sacrés de la moelle. Ils appartiennent au système cérébro-spinal. C'est par leur intermédiaire qu'est assurée la motricité volontaire au cours de la miction.

Le corps de la vessie et le sphincter interne dépendent du système nerveux végétatif. La stimulation sympathique provoque le relâchement du détrusor et favorise la contraction du sphincter interne. Il permet le remplissage vésical et la rétention urinaire.

D'effet inverse, la stimulation parasympathique provoque la contraction du muscle vésical et le relâchement du sphincter interne. Le parasympathique agit sur l'évacuation de la vessie au cours de la miction.

2. RÉPLÉTION ET CONTENTION VÉSICALE

Le remplissage de la vessie se fait progressivement, sous l'influence des ondes péristaltiques qui parcourent les uretères. La pression intravésicale est pratiquement nulle lorsque la vessie est viciée. Dès qu'un faible volume liquidien y pénètre, la pression augmente puis reste constante grâce à un mécanisme d'adaptation. Le tonus de la paroi musculaire permet l'extension des fibres lisses limitant l'augmentation de la pression interne.

La plasticité ne peut dépasser un certain seuil. Lorsque le volume atteint 200 à 400 ml, la pression intravésicale s'élève provoquant l'apparition de contractions qui stimulent les tensorécepteurs.

Les influx afférents, déclenchés par la distension tissulaire, gagnent la moelle au niveau des segments sacrés et se projettent sur les centres cérébraux. La sensation devient consciente. Lorsque la volonté s'oppose au besoin, la mise en jeu des structures pontiques permet d'inhiber les influx parasympathiques responsables de l'augmentation de la contraction vésicale.

La pression diminue entraînant temporairement la disparition du réflexe mictionnel. Les influx corticaux descendants augmentent le tonus du sphincter externe empêchant tout écoulement. La miction peut être déclenchée par acte volontaire. Les centres supérieurs exercent un effet activateur sur le réflexe médullaire et inhibiteur sur la contraction du sphincter externe. L'élévation de la pression intravésicale entraîne l'ouverture du sphincter interne. L'évacuation du contenu de la vessie est ensuite auto-entretenue par les contractions de la paroi vésicale.

Chez le jeune enfant, les connexions neuronales s'établissent au fur et à mesure de la croissance. Tant que le contrôle du sphincter externe n'est pas acquis, la miction se fait uniquement par réflexe médullaire.

Au cours du stress émotionnel, la capacité d'adaptation des fibres vésicales diminue. Le besoin d'uriner devient très fréquent. Il apparaît dès qu'une faible quantité d'urine remplit la vessie (≈10 ml).

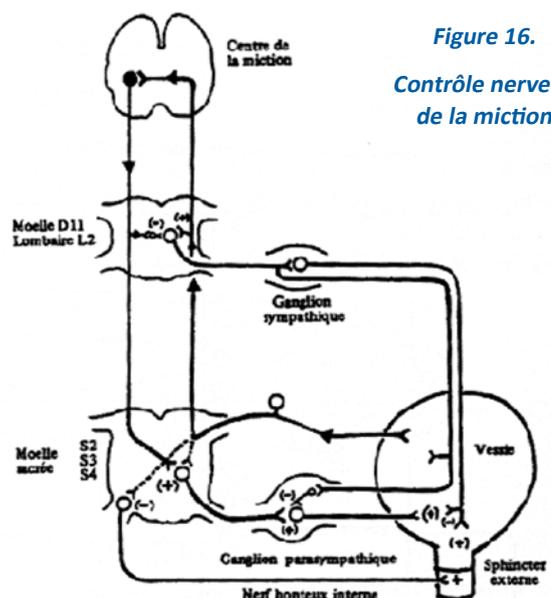


Figure 16.
Contrôle nerveux de la miction

Hypothèse de diagramme du fonctionnement réflexe de la vessie (DEGROAT)

(+) Effet d'excitation (-) Effet d'inhibition

RÉGULATION DE L'ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

Les objectifs éducationnels

Au terme de ce cours, l'étudiant pourra :

1. Définir le pH du sang
2. Indiquer l'origine des gains et des pertes d'ions H⁺
3. Citer les mécanismes de contrôle de l'équilibre acido-basique
4. Expliquer l'intervention des systèmes régulateurs (poumon et rein) dans la régulation de l'équilibre acide/base
5. Décrire les troubles de l'équilibre acido-basique et leurs compensations.

PLAN

1. DÉFINITION DU pH

2. ORIGINE DES GAINS ET DES PERTES D'IONS H⁺

3. LES MOYENS DE DÉFENSE DE L'ORGANISME

3.1. La première ligne de défense :
les systèmes tampons

3.2. Les systèmes régulateurs

3.3. Production adaptable des acides organiques
par le métabolisme

4. LES TROUBLES DE L'ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE ET LEUR COMPENSATION

4.1. Acidose métabolique

4.2. Alcalose métabolique

4.3. Acidose respiratoire

4.4. Alcalose respiratoire

5. CONCLUSION

INTRODUCTION

Les réactions métaboliques sont très sensibles à la concentration des ions hydrogènes (H⁺) dans le liquide où elles se produisent. Cette sensibilité est attribuable à l'influence que les ions H⁺ exercent sur la fonction enzymatique en modifiant la conformation des protéines. C'est pourquoi la régulation de la concentration des ions H⁺ est un des aspects les plus importants de l'homéostasie du milieu intérieur. Ainsi, cette concentration doit être maintenue dans des limites étroites (40 ± 5 nmoles/l d'ions H⁺). Les limites compatibles avec la vie se situent classiquement entre 6,6 et 7,7 ± 0,1 unités pH soit 20-200 nM/l d'ions H⁺.

1. DÉFINITION DU PH :

Le pH est l'unité dans laquelle on exprime normalement la concentration des ions H⁺. Elle correspond au cologarithme de cette concentration.

$$\text{pH} = \log 1/\text{H}^+ = -\log [\text{H}^+]$$

La concentration de H⁺ est exprimée en équivalent/L. Ainsi une concentration de H⁺ de 10⁻⁷ correspond à un pH = log 10⁷ = 7

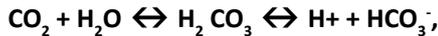
Avec ce système, toute augmentation de [H⁺] induit une baisse du pH et inversement.

Le pH normal du sang artériel est de 7,4 ± 0,02 et celui du sang veineux est d'environ de 7,35 du fait de l'acide carbonique qu'il contient provenant du CO₂. Le pH intra cellulaire mesuré par des méthodes indirectes, se situe entre 6,00 et 7,40 suivant les cellules.

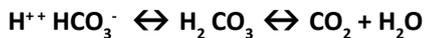
2. ORIGINE DES GAINS ET DES PERTES D'IONS H⁺ :

2.1. LE MÉTABOLISME OXYDATIF :

Le métabolisme cellulaire oxydatif produit quotidiennement environ 12615000 mmoles/l de CO₂ qui devraient entraîner une formation d'acide carbonique (acide volatil) et donc une production d'ions H⁺ correspondante.



Mais le poumon, par l'intermédiaire de la ventilation alvéolaire, élimine le CO₂ en quantité égale à celle produite et évite donc l'accumulation d'ions H⁺.



Le poumon maintient donc un bilan nul de CO₂.

2.2. L'ALIMENTATION :

Les végétaux sont plutôt alcalins et les protéines plutôt acides. Le résultat sera donc fonction des habitudes alimentaires : surcharge alcaline pour les végétariens et acide pour les carnivores. L'alimentation apporte en moyenne 60 mM de H⁺/J. Cet apport provient surtout de la libération par le métabolisme des radicaux sulfates et phosphates fixés sur les protéines. Les protons H⁺ produits par l'alimentation sont non volatils (fixés). Leur excrétion est assurée lentement par le rein, qui entretient à l'état physiologique un bilan nul de H⁺.

2.3. AUTRES AGRESSIONS ACIDO-BASIQUES :

Les agressions métaboliques et alimentaires se produisent de façon constante alors que certaines productions métaboliques peuvent avoir lieu occasionnellement.

- L'acide lactique : au cours du métabolisme des sucres, de l'acide lactique est normalement formé. Cet acide n'est pas libéré, car il est repris par le cycle de Krebs pour être dégradé en CO₂ et H₂O. Mais dans certains cas, par exemple un exercice musculaire intense, les cellules sont contraintes à travailler dans des conditions anaérobies. Une quantité importante d'acide lactique peut être alors rejetée dans la circulation. Même s'il s'agit habituellement d'un état transitoire, l'organisme va devoir se défendre activement contre cette « inondation brutale » d'acides forts.
- Les acides cétoniques qui forment une étape intermédiaire de la dégradation des acides gras sont normalement oxydés en CO₂ et H₂O. Mais en cas de déviation du métabolisme par exemple au cours du jeûne prolongé, ils peuvent être libérés dans la circulation, et se comporter alors comme des acides forts.

3. LES MOYENS DE DÉFENSE DE L'ORGANISME :

Pour maintenir le pH et les stocks d'acides et de bases constants, l'organisme dispose de plusieurs mécanismes :

- Les premiers sont passifs : ce sont les systèmes tampons. Une fois mis en place, ils ne nécessitent plus aucun apport d'énergie pour fonctionner. Ils se mettent en jeu instantanément à l'endroit même où l'agression a lieu. Ce sont des systèmes grossiers, incapables de régulation fine, mais ils ont l'avantage d'être immédiatement disponibles.
- Les autres sont actifs : ce sont les systèmes régulateurs, leur fonction est de maintenir constants les stocks d'acide et de base de l'organisme, en adaptant exactement les pertes aux apports. Ce sont des systèmes précis, mais nécessitent un minimum de temps pour intervenir, délai qui pourrait souvent être mortel en l'absence de tampons.

3.1. LA PREMIÈRE LIGNE DE DÉFENSE : LE SYSTÈME TAMPON

Un système tampon est un ensemble de substances capables de minimiser les variations de pH produites par une agression acido-basique donnée. Le pouvoir tampon d'un système est d'autant plus grand que pour la même agression la variation de pH est faible. La capacité du tampon dépend de la masse du système tampon et de son pK. Plus le pK est voisin du pH du sang, plus efficace est le tampon. Le pouvoir tampon est maximal lorsque le pH est égal au pK.

3.1.1. LES TAMPONS EXTRACELLULAIRES :

Il existe de nombreux systèmes tampons dans les liquides extracellulaires. Nous n'étudierons dans ce chapitre que le plus important d'entre eux : le système bicarbonate/acide carbonique. Vu l'importance de ce système, le pH sanguin lui est directement lié grâce à une équation appelée : équation d'HENDERSON-HASSELBACH.

$$\text{pH} = 6,1 + \log \left[\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{H}_2\text{CO}_3} \right]$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] = a \times \text{PaCO}_2$$

a = coefficient de solubilité du CO_2 = 0,03

PaCO_2 = pression artérielle de CO_2 = 40 mm Hg

$[\text{HCO}_3^-]$ = concentration de bicarbonates dans le sang artériel = 24mmoles/l

6,1 = pK du système bicarbonates / acide carbonique

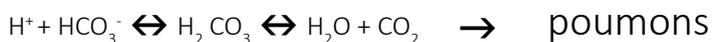
$$\rightarrow \text{pH} = 6,1 + \log \frac{24}{0,03 \times 40} = 6,1 + \log 20 = 6,1 + 1,3 = 7,4$$

Cette équation montre que :

- Une augmentation du taux de H^+ (c.-à-d. une \downarrow du pH) peut correspondre aussi bien à une augmentation de la quantité d'acide qu'à une diminution de la quantité de base, ici représentée par les bicarbonates.
- Le système bicarbonate est, du point de vue quantitatif, le système tampon le plus important du liquide extracellulaire, ses composants tampons (HCO_3^- et PaCO_2) reflètent instantanément toute perturbation acido-basique sanguine.
- Les trois variables de l'équation H/H sont faciles à mesurer ou bien on peut mesurer deux et calculer la troisième.
- La proportion simple de cette équation : $\text{pH} \cong \text{HCO}_3^- / \text{PaCO}_2$ peut être employée pour décrire les quatre troubles primaires de l'équilibre acido-basique. Le changement quantitatif, dans un sens ou un autre, des deux composants tampons est la clé qui permettra de comprendre les troubles acido-basiques.

Ce système pris isolément, peut sembler très mal adapté au milieu extérieur. Le pK du système est de 6,1 ce qui est assez éloigné du pH du plasma (7,4). Chimiquement parlant, le système n'est donc pas du tout dans des conditions d'efficacité optimale. A ce pH l'acide a fortement tendance à se dissocier, et la masse du tampon se trouve essentiellement sous forme basique. Un tel système ne peut plus avoir aucune efficacité vis-à-vis d'une surcharge alcaline puisqu'il a pratiquement épuisé son stock d'acide. Mais ceci ne paraît pas très désavantageux, car les agressions physiologiques sont presque toujours acides. Ce système gagne en puissance, car au lieu de fonctionner en système clos, il est ouvert sur l'extérieur par l'intermédiaire du CO_2 .

Exemple : l'addition de 10 mmoles d'HCl diminuerait de 10 mmoles la $[\text{HCO}_3^-]$ et augmenterait de 10 mmoles la concentration de CO_2 (le rapport $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_2$ tendrait vers 1). Selon l'équation d'H-H le pH sanguin devrait passer de 7,4 à 6,1. Le caractère ouvert de ce système fait que le CO_2 formé en excès est éliminé par la ventilation alvéolaire, ce qui maintient la concentration du CO_2 à 1,2 mmoles. Dans ce cas, le pH sanguin diminue jusqu'à 7,10. A ce pH acide, les chémorécepteurs sont stimulés et induisent une hyperventilation alvéolaire qui diminue la concentration de CO_2 en dessous de 1,2 mmoles ce qui entraîne une réduction de H_2CO_3 et assure ainsi une meilleure compensation du pH.

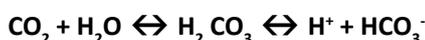


3.1.2. LES TAMPONS INTRA CELLULAIRES :

Ces systèmes intra cellulaires sont constitués dans les hématies par l'hémoglobine (Hb) et dans les autres cellules par les phosphates et les protéines. Dans les os, les systèmes tampons sont représentés par les cristaux d'hydroxyapatite (carbonate de Ca^{++}).

• Le tampon hémoglobine :

Le CO_2 produit par le métabolisme cellulaire existe dans le sang sous plusieurs formes qui aboutissent toutes à la libération de H^+ . Le CO_2 dissous est en équilibre avec l'acide carbonique :



La fixation du CO_2 sur les protéines (carbamination) aboutit à une structure acide qui libère des H^+ :



L'Hb est une protéine qui possède des propriétés allostériques et qui est capable de changer sa structure selon qu'elle est oxygénée ou non. L'oxygénation de l'hème va diminuer l'affinité de l'Hb pour le H^+ (HbO_2 = forme acide) et donc provoquer la libération d'un certain nombre de protons auparavant fixés sur l'Hb. A l'opposé, la désoxygénation de l'Hb augmente son affinité pour le H^+ (Hb = Forme base).

• Les tampons phosphates :

Ce système tampon phosphate $\text{H}_2\text{PO}_4^- / \text{HPO}_4^{--}$ fonctionne à un pK de 6,8 proche du pH 7,4 de l'organisme, ce qui permet au système de fonctionner au voisinage de son pouvoir tampon maximal. Néanmoins, malgré le fait que ce système fonctionne dans une partie favorable de la courbe de titrage, sa concentration dans le liquide extra cellulaire est seulement le 1/12 de celle du système bicarbonate. Par contre, le système phosphate est particulièrement important dans le liquide tubulaire du rein, et ceci pour deux raisons :

Premièrement, le phosphate devient en général très concentré tout au long des tubules, ce qui augmente le pouvoir tampon du système.

Deuxièmement, le liquide tubulaire est en général plus acide que le LEC, se rapprochant ainsi du pK du système. Le système tampon phosphate est également très important dans les liquides intra cellulaires parce que leur concentration y est beaucoup plus importante, et que le pH y est en général plus proche du pK du système que ne l'est le pH extra cellulaire.

• **Les tampons protéines :**

Les protéines cellulaires avec les protéines plasmatiques constituent le système tampon le plus abondant de l'organisme. Le processus d'action de ce système est semblable à celui des $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$. Ces tampons sont puissants et efficaces, car ils opèrent à des pK proches du pH plasmatique.

• **Les tampons osseux :**

La mobilisation de ces tampons carbonate / bicarbonate est très lente, mais ce système est très efficace.

3.2. LES SYSTÈMES RÉGULATEURS :

3.2.1. LES POUMONS :

La régulation de la ventilation maintient une pression de CO_2 constante dans le sang artériel, quelle que soit la production métabolique. Ceci signifie que le poumon élimine exactement la quantité de CO_2 libérée par les tissus. Cette régulation est extrêmement rapide, puisque si l'on augmente brutalement l'apport du CO_2 au poumon, la réponse ventilatoire débute dès le premier cycle respiratoire, et met au maximum 2 à 3 min pour être parfaitement adaptée aux nouveaux besoins. L'élimination de l'acide est associée à la régénération du tampon.

Ainsi le poumon gère le stock d'acides faibles (volatils) et règle le dénominateur de l'équation d'H-H.

3.2.2. LES REINS :

Le rein a pour fonction de maintenir constants les stocks d'acide fort et de base de l'organisme ; (numérateur de l'équation H-H). Il élimine les acides en régénérant le tampon bicarbonate en cas d'agression acide, et élimine les bases en cas d'agression alcaline. Ceci aboutit à un pH urinaire très variable en fonction des besoins de l'organisme et des apports alimentaires. Les délais de mise en route de la régulation rénale sont beaucoup plus longs que pour le poumon. Elle nécessite une modification de l'activité de certains enzymes, et passe même par l'induction de la synthèse de ces enzymes. Face à une modification brutale de l'état acido-basique, la réponse rénale ne sera nette qu'au bout d'1 à 3 heures. Si la perturbation est importante, elle pourra même n'atteindre son maximum qu'en quelques jours.

• **Réabsorption tubulaire des HCO_3^- filtrés :**

24 mmoles/l de HCO_3^- se trouvent dans le filtre glomérulaire, il en découle que pour un débit de filtration glomérulaire de 180 l/j, 4320mmoles/j de HCO_3^- sont filtrés quotidiennement.

La réabsorption des HCO_3^- est quasi-totale. 99,9% des HCO_3^- sont réabsorbés en majorité dans le tube contourné proximal (90 %).

La réabsorption des HCO_3^- dans le TCP et la BAL se font selon le même mécanisme (Figure 17). L'énergie nécessaire à cette réabsorption grâce à l'activité de la pompe Na^+/K^+ ATPase basolatérale. La sortie de Na^+ de la cellule déplete le contenu cellulaire en Na^+ et favorise le fonctionnement de l'antiport Na/H apical (NHE). L'ion H^+ ainsi sécrété dans la lumière tubulaire s'associe aux HCO_3^- filtrés. Les H_2CO_3 ainsi formé se dissocient en CO_2 et H_2O . Cette réaction étant catalysée par l'anhydrase carbonique présent dans la bordure en brosse apicale (TP). Le CO_2 diffuse librement à l'intérieur de la cellule et par une réaction inverse conduit à la production intracellulaire d' H^+ et de HCO_3^- . L' HCO_3^- est alors réabsorbé par un co-transport électroneutre HCO_3Na (3HCO_3^- pour 1 Na^+).

La réabsorption de HCO_3^- dans le TCP est un phénomène saturable. Il existe donc un taux maximal de réabsorption d' HCO_3^- ou Tm.

Le Tm augmente dans les situations suivantes :

- Déshydratation extracellulaire : plusieurs mécanismes sont impliqués dont la stimulation de l'antiport Na^+/K^+ par les catécholamines et l'Ag II qui entraîne ce qu'on appelle l'alcalose de contraction.
- Hypokaliémie
- Hypercapnie ($\uparrow \text{PaCO}_2$)

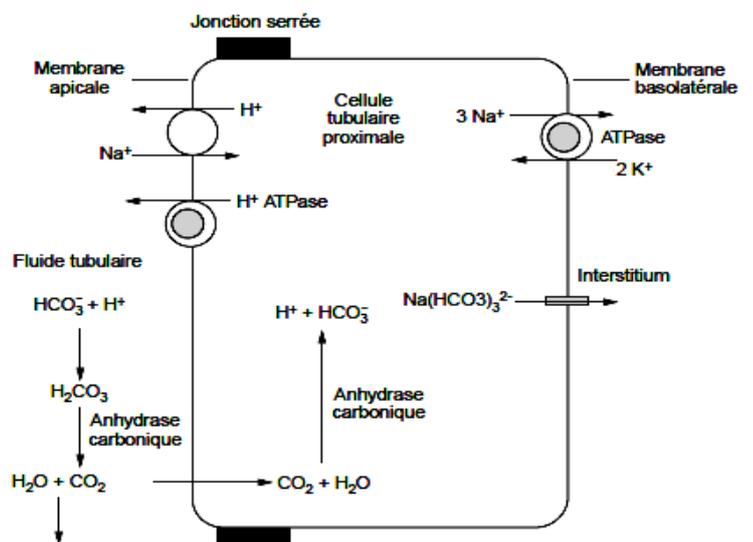


Figure 17. Réabsorption des bicarbonates

• **Reconstitution des réserves de HCO_3^- et élimi-**

nation urinaire de H⁺ :

Excrétion urinaire d'acidité titrable

La fonction d'acidité titrable se fait au niveau des cellules du tube proximal, distal et collecteur. Dans le plasma, les phosphates se trouvent sous deux formes : Na₂HPO₄ / NaH₂PO₄.

Dans la lumière tubulaire, NaHPO₄ s'associe avec un H⁺ pour former NaH₂PO₄ (pK = 6,8)

Il y a formation d'acidité titrable, ce qui permet :
 - l'élimination d'un 1/3 des H⁺ sans chute du pH
 - la réabsorption de HCO₃⁻ néoformés par le rein

On mesure cette acidité, en titrant, c'est à dire en ramenant le pH de l'urine à 7,4.

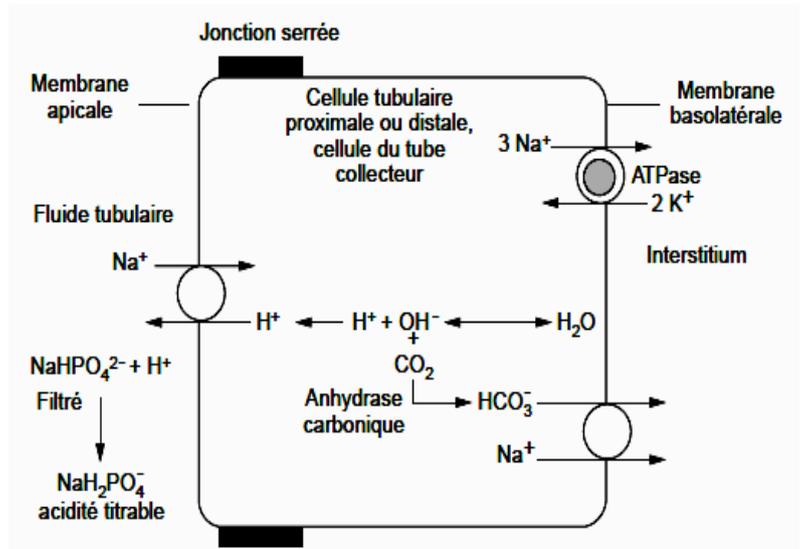
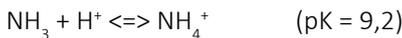


Figure 18. Excrétion urinaire d'acidité titrable

Excrétion urinaire de NH₄⁺

Il y a synthèse de NH₃ (ammoniac) par les cellules rénales. À partir d'un précurseur (glutamine), il y a formation de NH₃.



Le NH₃ est un gaz qui diffuse à travers la membrane cellulaire et se retrouve dans la lumière tubulaire, pour s'associer avec H⁺. Le NH₄⁺ ne traverse pas les membranes et il est ainsi excrété. L'excrétion d'ions NH₄⁺ permet :

- L'élimination urinaire des 2/3 des H⁺ sans chute de pH
- La réabsorption de HCO₃⁻ néoformés
- Cette excrétion modulée par le pH peut être considérablement accrue, face à une limitation rapide de l'excrétion d'acidité titrable.

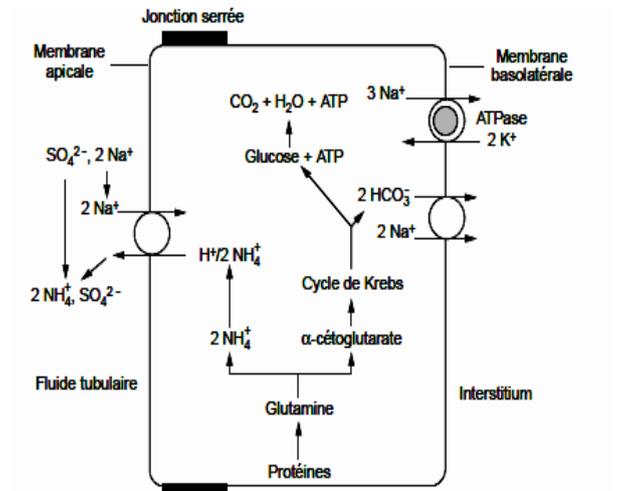


Figure 19. Excrétion urinaire d'ammonium

Excrétion d'ions H⁺ libres

Elle est négligeable par rapport à l'excrétion d'acidité titrable et d'ions ammonium. Elle se fait au niveau des cellules intercalaires ou intermédiaires A du tube collecteur. Cette sécrétion détermine l'acidification terminale des urines jusqu'à un pH de 4,4 en dessous duquel ces pompes deviennent inactives. La pompe à protons apicale de cette cellule est stimulée par l'aldostérone et l'acidose.

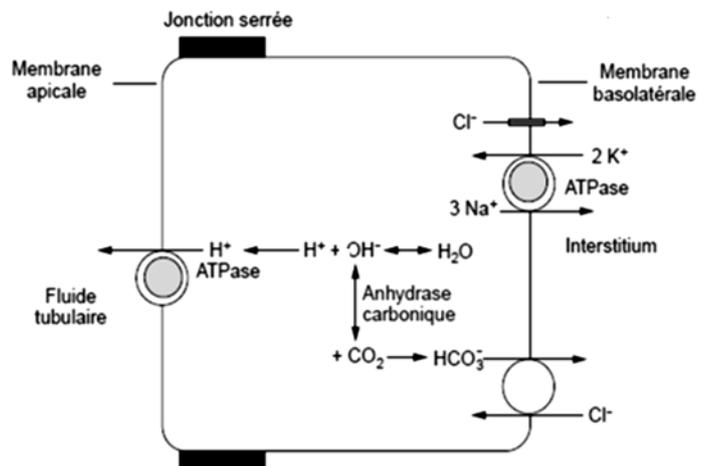


Figure 20. Cellule intercalaire A

En cas de surcharge alcaline, les cellules intercalaires B sont stimulées. Ces cellules sécrètent les ions bicarbonates et réabsorbent les H⁺.

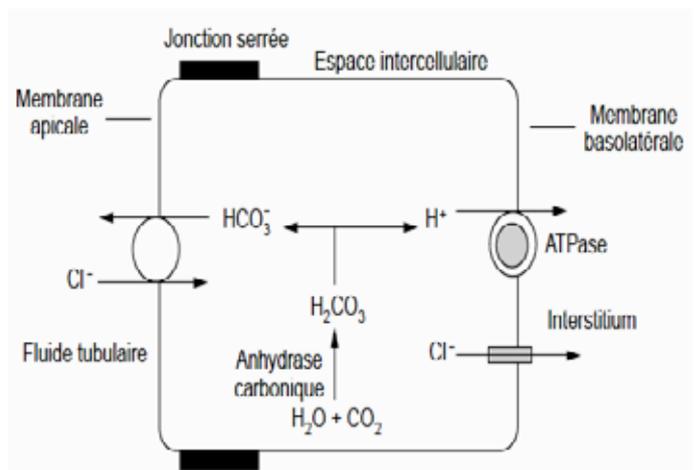


Figure 21. Cellule intercalaire B

3.3. PRODUCTION ADAPTABLE DES ACIDES ORGANIQUES PAR LE MÉTABOLISME

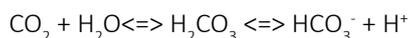
Normalement, le glucose et les lipides sont métabolisés en CO₂ et H₂O. Cependant, une petite quantité d'acides organiques est produite quotidiennement. Une diminution de la production quotidienne d'acides organiques ne peut jouer qu'un rôle mineur dans la correction d'une acidose étant donné que cette production est normalement modeste. Au contraire, une augmentation importante de la production d'acides organiques par rapport à leur consommation peut produire une quantité nette de H⁺ susceptible de limiter les variations du pH lors d'une alcalose. Par exemple, dans l'alcalose respiratoire, l'augmentation de la production d'acides lactique et citrique rend compte de 30% environ du pouvoir tampon.

4. LES TROUBLES DE L'ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE ET LEUR COMPENSATION

On les classe en acidose ou alcalose suivant qu'existe une tendance à la baisse (acidose) ou à la hausse (alcalose) du pH. Si le trouble initial porte sur le paramètre HCO₃⁻ de l'équation d'H-H, on parle d'acidose ou d'alcalose métabolique ; inversement, si le trouble initial porte sur la PCO₂, on parle d'acidose ou d'alcalose gazeuse.

4.1. ACIDOSE MÉTABOLIQUE :

Elle peut être provoquée par la production excessive de H⁺ : (jeun, insuffisance rénale, acidocétose diabétique, etc.) ou la perte d'ions OH⁻ (fistule pancréatique, diarrhée...). Il en résulte une diminution de HCO₃⁻, et une déviation de l'équilibre vers la gauche.



4.1.1. COMPENSATION RESPIRATOIRE

La baisse du pH secondaire à une diminution de [HCO₃⁻], va provoquer une hyperventilation par stimulation des chémorécepteurs. Il en découle une baisse de la PaCO₂, une baisse de H⁺ et une élévation du pH.

4.1.2. CORRECTION RÉNALE

La baisse du pH induit une augmentation de la sécrétion rénale de H⁺ et les urines deviennent plus acides. Il y a en plus réabsorption de tout HCO₃⁻ filtré et néoformation de bicarbonates, la [HCO₃⁻] va retourner lentement à la normale. Si la baisse de la PaCO₂ est insuffisante, ou si l'augmentation de la sécrétion rénale d'ions H⁺ dépasse les possibilités respiratoires et urinaires, le pH reste bas : acidose décompensée.

4.2. ALCALOSE MÉTABOLIQUE :

Elle peut être provoquée par des vomissements acides (HCl gastrique), ou l'administration excessive de solutés basiques (bicarbonates, soude) qui augmentent le [HCO₃⁻] et donc le pH. L'équilibre est ainsi déplacé vers la droite :



4.2.1. COMPENSATION RESPIRATOIRE

La baisse [H⁺] ou l'augmentation de [HCO₃⁻] induit une alcalose qui inhibe la ventilation. Cette hypoventilation est à l'origine d'une augmentation de la PaCO₂ et donc [H⁺] « d'où tendance à abaisser le pH. Cette hypoventilation compense rarement de manière totale l'alcalose, car l'hypercapnie correctrice à des limites.

4.2.2. CORRECTION RÉNALE

La baisse de $[H^+]$ diminue la réabsorption de $[HCO_3^-]$. D'où élimination d'urine alcaline.

4.3. ACIDOSE RESPIRATOIRE :

L'acidose gazeuse peut être provoquée par une atteinte des centres respiratoires bulbaires qui réduit la ventilation, une obstruction des voies respiratoires, une pneumonie, une asphyxie, une intoxication, une paralysie respiratoire, une diminution de la surface d'échange pulmonaire ou tout autre facteur qui perturbe les échanges gazeux entre le sang et le gaz alvéolaire.

Cette hypoventilation est à l'origine d'une augmentation de la $PaCO_2$ (dénominateur de l'équation d'H-H) et la réaction est poussée vers la droite.



4.3.1. COMPENSATION RÉNALE

Elle se fait par une \uparrow de la sécrétion de H^+ et une \uparrow de la réabsorption de HCO_3^- . Par conséquent, $[HCO_3^-] \uparrow$ encore plus et le pH remonte. La correction totale exige la fin du trouble respiratoire.

4.4. ALCALOSE RESPIRATOIRE :

Elle est provoquée par l'hyperventilation (volontaire, hypoxie d'altitude, acidose métabolique...) et entraîne une baisse de la $PaCO_2$ avec déviation vers la gauche de la réaction :



4.4.1. COMPENSATION RÉNALE

Il y a une baisse de la sécrétion rénale de H^+ et une diminution de la réabsorption de HCO_3^- . Le pH retourne vers des valeurs normales si l'alcalose est totalement compensée.

CONCLUSION

Le maintien d'une valeur stable du pH sanguin chez le sujet normal, la limitation de variation de pH dans les situations pathologiques sont la conséquence de plusieurs mécanismes de contrôle du pH :

- l'existence de systèmes tampons extra, intracellulaires et osseux
- le contrôle respiratoire de la $PaCO_2$
- une production adaptable des acides organiques par le métabolisme intermédiaire
- le contrôle rénal du contenu de HCO_3^- de l'organisme et de la concentration plasmatique de HCO_3^-