

CHAPITRE IV. PHYSIOLOGIE DU SYSTEME URINAIRE

I- L'appareil urinaire

L'appareil urinaire, qui fait partie du système excréteur, permettant, l'évacuation des déchets du corps humain (produits du catabolisme cellulaire) sous une forme liquide (l'urine). Il assure ainsi l'épuration du sang et le maintien de l'homéostasie au sein de l'organisme. Il maintient aussi l'équilibre sanguin, soit le volume et la composition chimique du sang. Pour ce faire il élimine entre autres les surplus des certains minéraux, nommés électrolytes, et renvoie dans le sang les substances utiles au bon fonctionnement de l'organisme.

II- Structures de l'appareil urinaire

L'appareil urinaire comporte une série d'organes ayant tous comme objectif l'évacuation de l'urine. Il est composé de deux reins, deux uretères, la vessie et l'urètre (Fig.1).

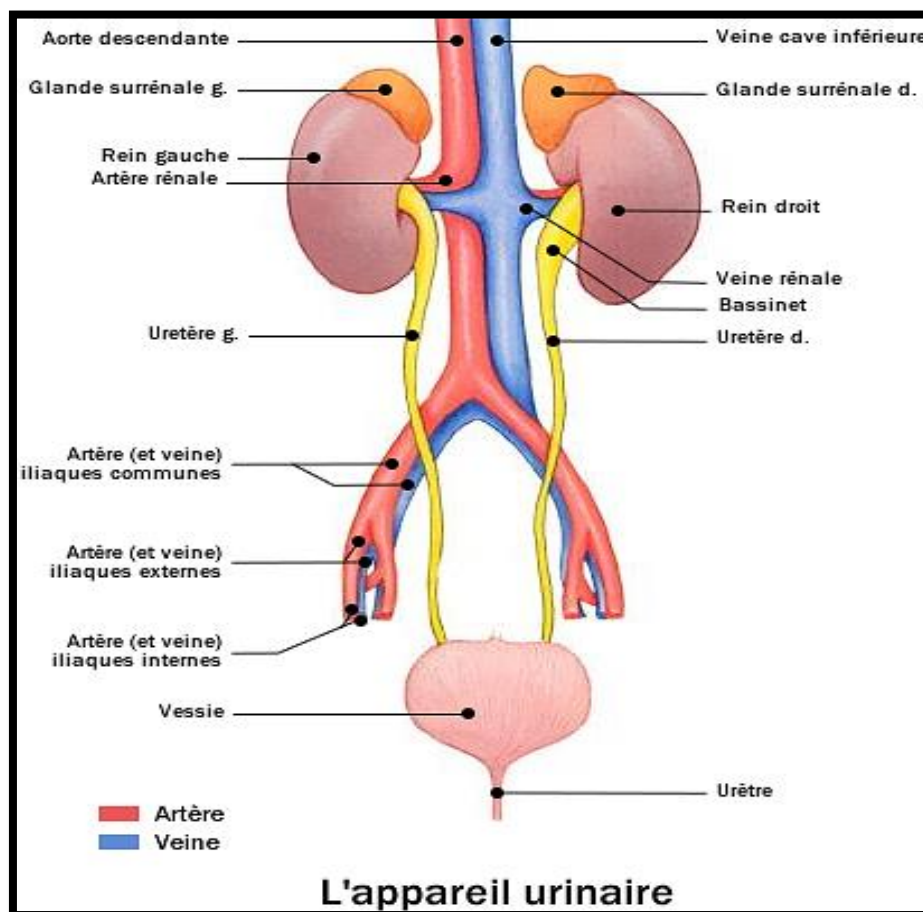


Fig.1. Anatomie de l'appareil urinaire (Servier Medical Art).

I.1- L'uretère

Prolongement des reins, l'uretère collecte l'urine filtré par les reins qu'il conduit vers la vessie. C'est un tube dont l'extrémité supérieure prend une forme d'entonnoir (fin du bassin) et qui s'étire jusqu'à la vessie. Cet organe mesure environ 27 cm et est composé de fibres musculaires lisses qui empêchent le reflux de l'urine vers les reins en produisant un mouvement de péristaltisme à sens unique.

I.2- La vessie

Sorte de poche aux parois composé de muscles lisses, la vessie est l'organe du système urinaire dont la fonction est de recevoir l'urine terminale produite par les reins et acheminé par l'uretère, puis de la conserver avant son évacuation au cours de la miction. Elle est localisée derrière la symphyse pubienne, au-dessus de la prostate chez l'homme, en avant du vagin et sous l'utérus chez la femme. Sa capacité est d'environ 200 à 600 ml. La vessie est tapissée d'une couche de muscle lisse située, nommé le détrusor et possède à sa base un *sphincter de muscles lisses (interne)* qui permet le contrôle involontaire de la miction. De manière physiologique, la contenance de la vessie est en moyenne plus élevée chez les femmes que chez les hommes. La sensation de besoin se fait ressentir à partir d'environ 300 mL.

I.3- L'urètre

Canal de sortie de l'urine, il a une fonction excrétrice chez l'homme et la femme et de plus chez l'homme une fonction reproductrice (passage du sperme). Il mesure environ 3,5 cm chez la femme 15 cm chez l'homme. En raison de cette différence de taille, les femmes sont plus sujettes aux infections urinaires basses (cystites). Un sphincter de muscles striés (externe) permet le contrôle volontaire de la miction.

I.4. Le méat urinaire

Orifice externe qui permet l'évacuation de l'urine, et du sperme chez l'homme.

I.5. Les reins

Les reins sont des organes aplatis, ovoïdes, dits « en haricot ». La face externe est convexe ; la face interne est concave. C'est dans la face interne du rein que se trouve le hile, soit l'entrée de l'organe permettant le passage de l'ensemble des nerfs, vaisseaux lymphatique, vaisseaux sanguins etc...

La surface des reins est lisse chez l'adulte, de couleur rouge-brun. En moyenne, ils ont

pour hauteur 12 cm, largeur 6 cm, épaisseur 3 cm (grosseur d'un poing). Ces mensurations sont très variables d'un individu à l'autre. Leur position anatomique est généralement entre T12 et L3 (rein droit). Chez la plupart des patients, le rein gauche est plus haut que le rein droit.

Les reins sont responsables de l'élimination urinaire des toxines urémiques et de la régulation de plusieurs systèmes de l'organisme comme la volémie intra- et extracellulaire, l'état acido-basique, le métabolisme phosphocalcique ou l'érythropoïèse. Ils adaptent quantitativement et qualitativement la composition de l'urine afin de garder ces systèmes en équilibre.

Le débit de plasma filtré est de l'ordre de 120 mL/min et dépend de l'hémodynamique systémique et rénale qui est soumise à une autorégulation. L'urine primitive va alors subir des modifications dans les différents segments successifs du néphron. La partie proximale du néphron a pour rôle principal la réabsorption massive de l'eau et des éléments essentiels comme le sodium, les bicarbonates, les acides aminés et le glucose. Le néphron distal comprend le tube contourné distal, le tube connecteur et le canal collecteur. Il a pour rôle d'adapter qualitativement la composition de l'urine aux besoins de l'organisme.

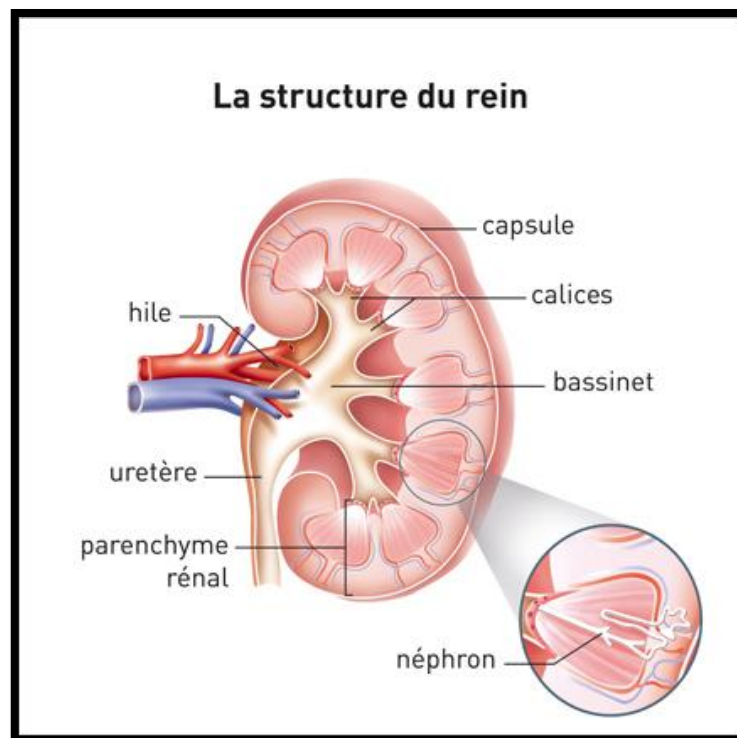


Fig.2. Anatomie du rein (Servier Medical Art).

I.5.1 Anatomie et vascularisation rénale

Les reins sont situés dans la région lombaire, dans le rétropéritoine. Ils comportent deux parties : le cortex (périphérique) et la médullaire (centrale). Le cortex est homogène et abrite les glomérules. La médullaire est formée de pyramides de Malpighi se terminant par la papille où l'urine terminale est excrétée dans le calice. Entre les pyramides se trouvent les colonnes de Bertin où les artères interlobaires pénètrent pour se ramifier et vasculariser le parenchyme rénal (**Fig. 2**).

I.5.2 Vascularisation rénale

Les reins sont parcourus par de nombreux vaisseaux sanguins. Le sang arrive dans chaque rein via une artère rénale qui provient d'une ramification de l'aorte. Une fois filtré, le sang repart par la veine rénale qui rejoint la veine cave inférieure. Les reins sont également parcourus de vaisseaux lymphatiques. Ces derniers sont reliés aux ganglions lymphatiques les plus proches, situés dans le hile du rein et autour de l'aorte et de la veine cave

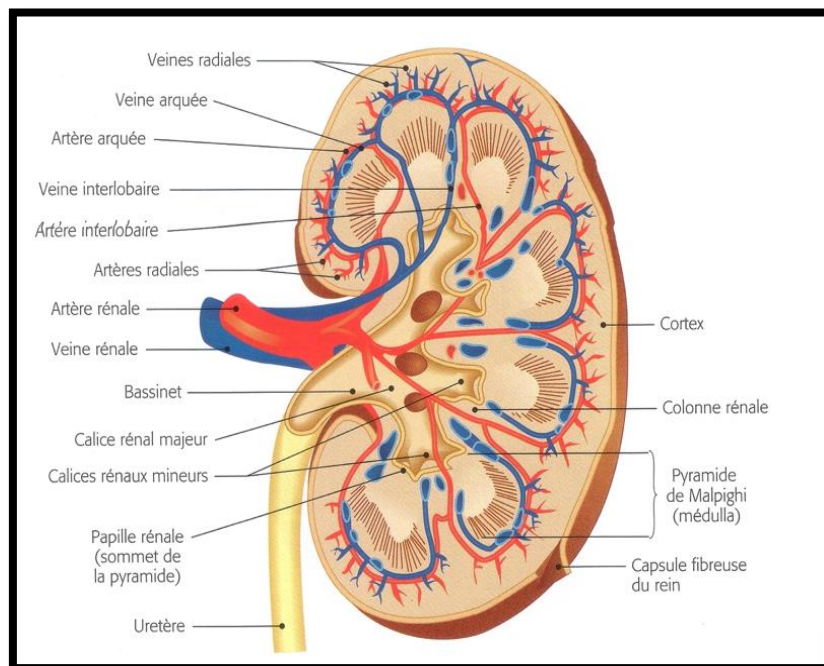


Fig.3. Vascularisation rénale (Servier Medical Art).

La vascularisation rénale représente 20 % du débit cardiaque. L'artère rénale donne naissance aux artères segmentaires puis aux artères interlobaires. Celles-ci vont alors se diviser en artères arquées puis en artères interlobulaires qui se ramifient pour vasculariser

les glomérules par l'artériole afférente. Après filtration, le sang artériel quitte le glomérule par l'artériole efférente. Celle-ci descend dans la médullaire pour donner naissance aux *vasa recta* qui participent aux échanges avec l'interstitium rénal. Le système veineux est satellite du réseau artériel.

I.5.3 Physiologie rénale

I.5.3.1- Fonctionnement des unités fonctionnelles du néphron

Le néphron est l'unité fonctionnelle des reins. Chaque rein contient environ 1 million de néphrons, responsables de la filtration du sang, qui sont formés par un élément filtreur dilaté, les corpuscules rénaux, ou de Malpighi, par les tubules rénaux et par les tubules et tubes collecteurs.

Chaque néphron est constitué d'une partie vasculaire, qui va jusqu'au glomérule de Malpighi et une partie tubulaire de la capsule de Bowman jusqu'au tube collecteur (**Fig. 4**). L'ensemble formé par le glomérule de Malpighi et la capsule de Bowman constitue le corpuscule rénal ou de Malpighi.

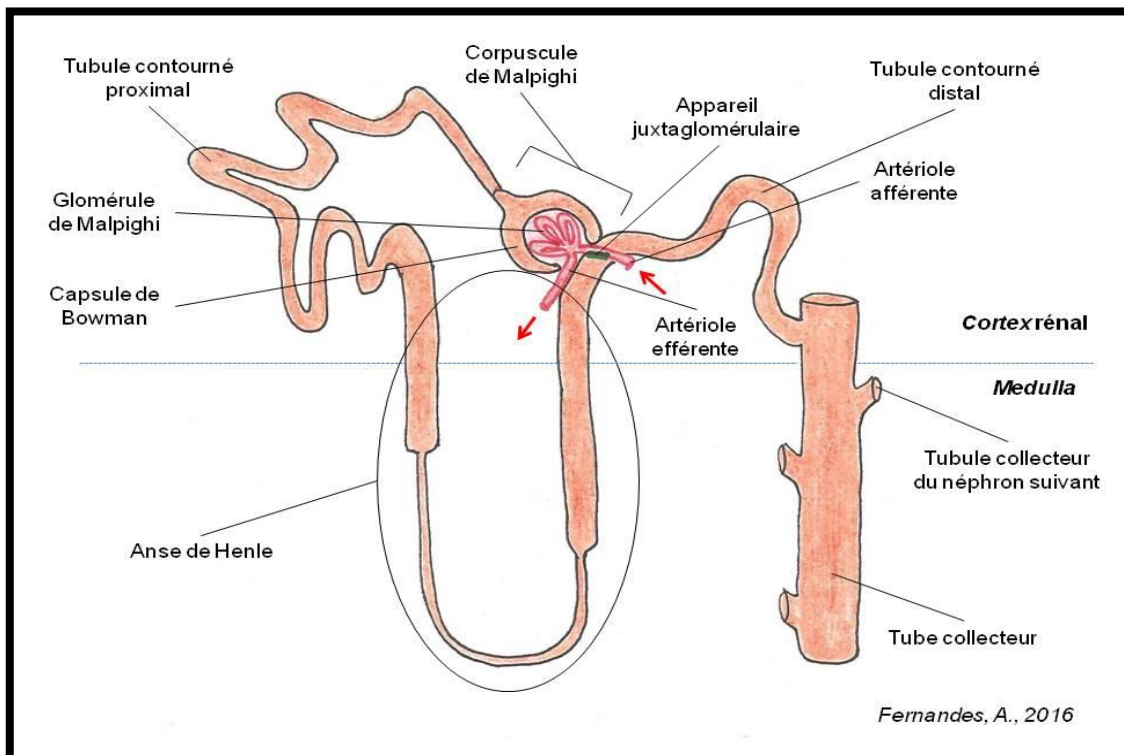


Fig. 4. Représentation schématique d'un néphron. (Femand,A., 2016) .

La portion vasculaire commence au niveau de l'artériole afférente qui se divise en de nombreux capillaires, disposés en boucles à l'intérieur du corpuscule, formant le glomérule de Malpighi. Les capillaires glomérulaires convergent enfin sur l'artériole efférente.

La portion tubulaire se compose de la capsule de Bowman, du tubule rénal, dont les parties principales sont : le tubule contourné proximal qui sort de la capsule de Bowman, l'anse de Henle et le tubule contourné distal qui se lie au tube collecteur.

La portion terminale de la branche ascendante de l'anse de Henle passe entre les artérioles afférentes et efférentes. La première partie du tubule contourné distal se rapproche, à cet endroit, de l'artériole afférente. Il y a sur ce point de jonction, un groupe de cellules dans la paroi du tubule contourné distal appelé macula densa ainsi que des cellules sécrétrices sur la paroi de l'artériole afférente appelées cellules juxtaglomérulaires. La combinaison de la macula densa et des cellules juxtaglomérulaires est appelée appareil juxtagloméculaire, qui est responsable de la sécrétion de rénine qui participe à la régulation du milieu interne et qui a un rôle important dans la régulation de la pression artérielle.

Types de néphrons

Il existe différents types de néphrons :

- **Les néphrons corticaux** : situés dans la région externe du cortex rénal, avec des anses de Henle qui pénètrent peu dans la médulla ;
- **Les néphrons intermédiaires** : avec, comme le nom l'indique, des caractéristiques intermédiaires.
- **Les néphrons juxtamédullaires** : qui représentent environ 30 % de la totalité des néphrons, avec des corpuscules rénaux situés à proximité de la jonction cortico-médullaire et des anses de Henle longues qui pénètrent profondément dans la médulla rénale. Plus l'anse de Henle est grande, plus grande est la capacité à concentrer l'urine, ainsi les néphrons juxtamédullaires jouent un rôle important dans la production d'une urine hypertonique.

Fonctionnement du néphron

Le sang pénètre dans le glomérule de Malpighi par l'artériole afférente et sort par l'artériole efférente. Lors du passage à travers le glomérule, une partie du plasma sanguin traverse la paroi des capillaires glomérulaires. Ces capillaires possèdent un endothélium fenestré qui rend impossible le passage des cellules présentes dans le sang.

Le plasma traverse ensuite une membrane basale de 0,1 μm d'épaisseur, située entre les cellules endothéliales des capillaires glomérulaires et les cellules du feuillet interne de la capsule de Bowman appelées podocytes. Cette membrane poreuse empêche le passage de particules de plus de 10 nm de diamètre et de protéines avec un poids moléculaire supérieur à 70 KDa.

La membrane basale est la principale barrière de filtration glomérulaire. Le filtrat glomérulaire, qui s'écoule vers l'espace de Bowman, au sein de la capsule de Bowman, a une composition similaire à celle du plasma sanguin, cependant il contient une quantité minimale de protéines (albumine, par exemple).

Ensuite, le filtrat passe dans la lumière du tubule rénal et s'écoule jusqu'au tube collecteur. En passant dans les différentes parties du tubule rénal, différentes substances sont ajoutées ou supprimées du filtrat, dans un processus dénommé sécrétion et réabsorption tubulaire. Le fluide résultant sort des reins sous forme d'urine.

I.5.3.2- Les glomérules

Le glomérule est organisé autour des boucles capillaires et délimité par la capsule de Bowman. La membrane de filtration est constituée des cellules endothéliales qui ont un cytoplasme fenestré, la membrane basale glomérulaire (MBG) et les cellules épithéliales viscérales ou podocytes. Le plasma filtré ayant traversé dans l'ordre ces trois couches arrive dans la chambre urinaire délimitée par la capsule de Bowman comportant une couche de cellules épithéliales pariétales. L'urine primitive entre alors dans le tube contourné proximal (TCP) (**Fig. 5**).

Une des principales fonctions du glomérule est la filtration qui est sélective selon la taille et la charge des molécules. Le maillage du collagène intraveineux dans la MBG et le diaphragme de fente situé entre les pieds des podocytes sont responsables de la sélection principale liée à la taille.

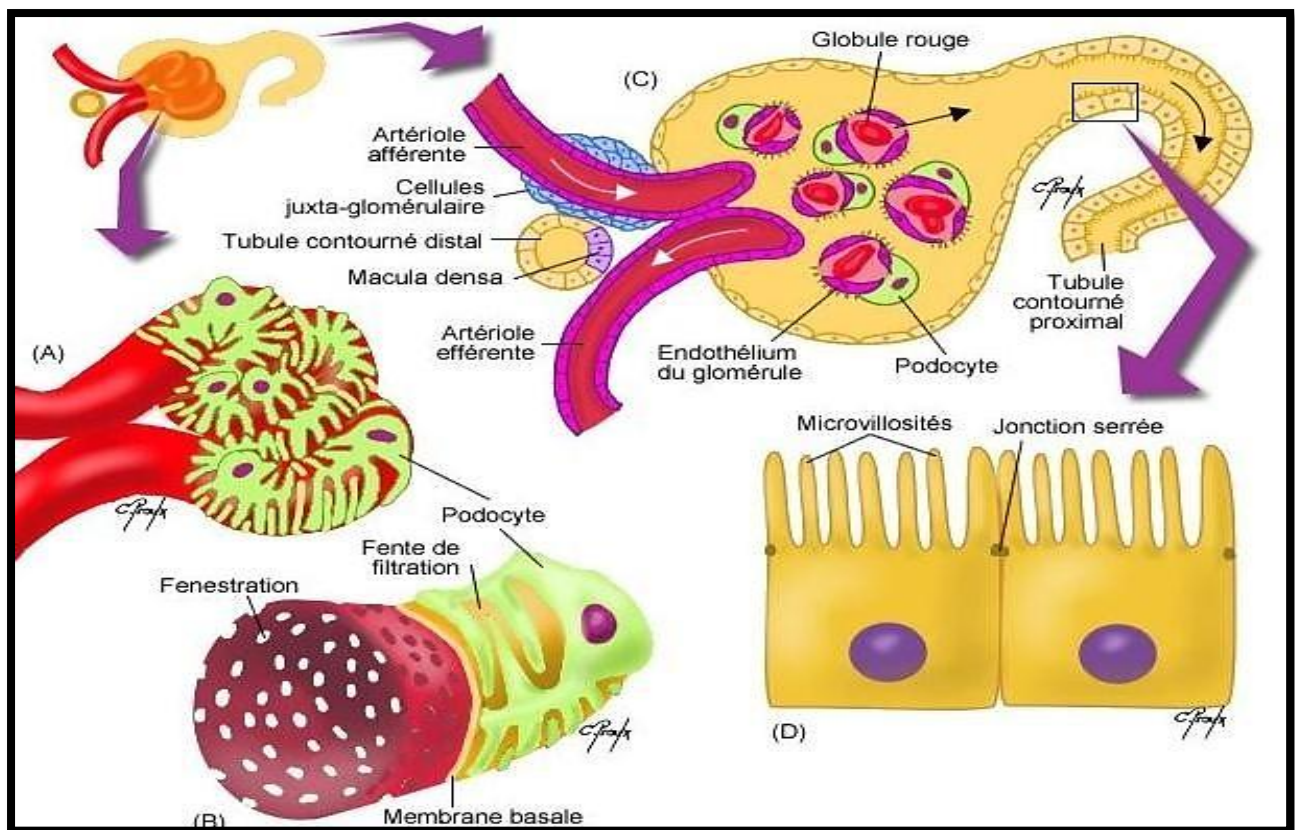


Fig. 5. Représentation schématique d'un glomérule

Les héparans sulfates de la MBG et les cellules endothéliales favorisent la filtration des petits cations et retiennent les protéines qui sont chargées négativement. La fraction de filtration pour chaque molécule va donc dépendre de sa taille et de sa charge.

I.5.3.3- Les tubules rénaux

Le tubule rénal se compose de quatre segments : le tube contourné proximal, l'anse de Henle, le tube contourné distal et le tube collecteur, qui s'ouvre au fond des calices du rein en une zone appelée papille. Le tubule rénal fait suite au glomérule et constitue avec celui-ci le néphron.

C'est dans le tubule rénal que s'élabore l'urine définitive à partir de l'urine primitive. Le principal mécanisme mis en jeu est la réabsorption, au cours de laquelle une grande partie des constituants de l'urine primitive, filtrée par le glomérule et arrivant dans le tubule rénal (eau, sels minéraux comme le sodium ou le potassium, urée, etc.), retourne dans le sang par le biais des capillaires entourant les différents segments du tubule. Dans certaines parties du tubule rénal, ces différents phénomènes sont sous la dépendance d'hormones comme l'aldostérone, qui

permet la réabsorption du sodium et l'élimination simultanée de potassium dans les urines, ou l'hormone antidiurétique, qui permet celle de l'eau. La quantité d'urine émise et sa composition s'adaptent ainsi en permanence aux besoins de l'organisme (**Fig. 6**).

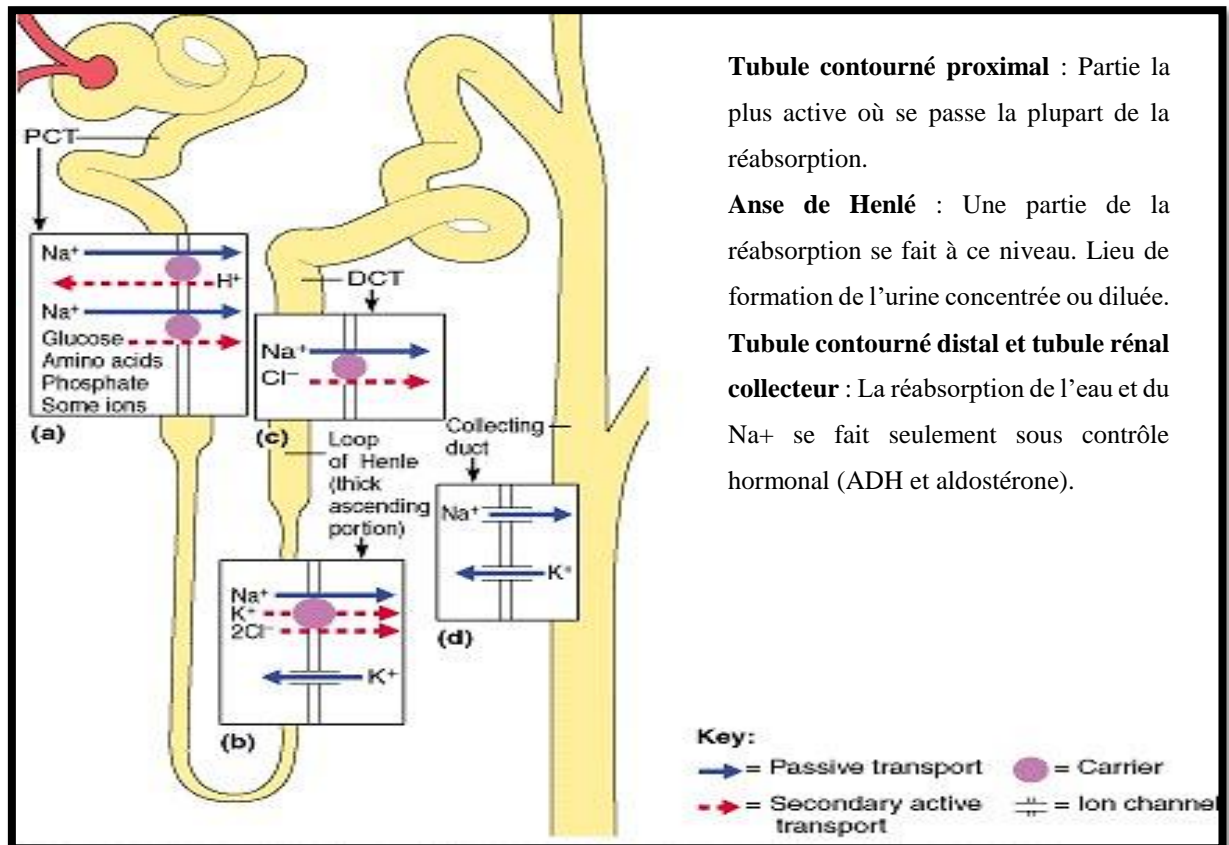


Fig. 6. Représentation schématique des tubules rénaux

III- Fonctions rénales

III-1- Filtration glomérulaire

Le débit de filtration glomérulaire est d'environ 120ml/min chez les sujets sains. Il permet la formation de l'urine primitive qui contient entre autres :

- les déchets métaboliques : urée, créatinine, acide urique, oxalate
- des toxines et des médicaments
- de nombreux électrolytes : Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, H⁺, Mg²⁺, PO₄³⁻
- du glucose

Elle est caractérisée par :

- La haute perméabilité pour l'eau et les solutés de faible poids moléculaire.
- Le faible passage des molécules ayant un poids moléculaire supérieur à 60 KDa (3 couches permettent une restriction de taille : endothélium capillaire, membrane basale glomérulaire, cellules épithéliales (= podocytes) ainsi la présence de glycoprotéines anioniques assure la restriction de charge au niveau de la membrane basale et des cellules épithéliales)

III-2- Modification tubulaire

Au niveau tubulaire, on observe des phénomènes de réabsorption et de sécrétion :

- ✓ Le glucose est totalement réabsorbé jusqu'à une concentration sanguine de 10mmol/l. Au-delà, on observe une glycosurie.
- ✓ Réabsorption ou sécrétion plus ou moins importante d'eau et d'électrolytes en fonction des concentrations sanguines.
- ✓ Réabsorption et dégradation de protéines de petit poids moléculaire : chaînes légères d'immunoglobulines, béta2 microglobuline, hormones (PTH, calcitonine, hormone de croissance, insuline, glucagon ...)

III-3- Fonction endocrine

III-3-1- Calcitriol

Le rein assure l'hydroxylation de la 25-OH vitamine D en calcitriol par le 1 α -hydroxylase. Le calcitriol est une hormone qui intervient dans la régulation du métabolisme phosphocalcique elle possède des effets hypercalcémiant, hyper-phosphatémiant.

III-3-2- Erythropoïétine (EPO)

Facteur de croissance de la lignée érythrocytaire synthétisé à 90% par le rein (10% par le foie).

III-3-3- Rénine

Sécrétion exclusive par le rein (cellules de l'appareil juxta-glomérulaire) stimulée par l'hypotension, l'hypoxie, l'hyponatrémie, l'adrénaline ... Elle intervient dans la régulation de la pression artérielle.

III-4- Régulation de la pression artérielle

Le rein permet une régulation de la pression artérielle par différents mécanismes :

- Système rénine angiotensine
- Système kallibréine kinine
- Facteur atrial natriurétique ...

III-5- Métabolisme phosphocalcique

Réabsorption tubulaire du calcium et des phosphates sous la dépendance de la PTH et de la calcitonine

III-6- Équilibre acido-basique

- ✓ Réabsorption importante des bicarbonates.
- ✓ Élimination d'acides sous forme de NH_4^+ ou d'acides organiques.

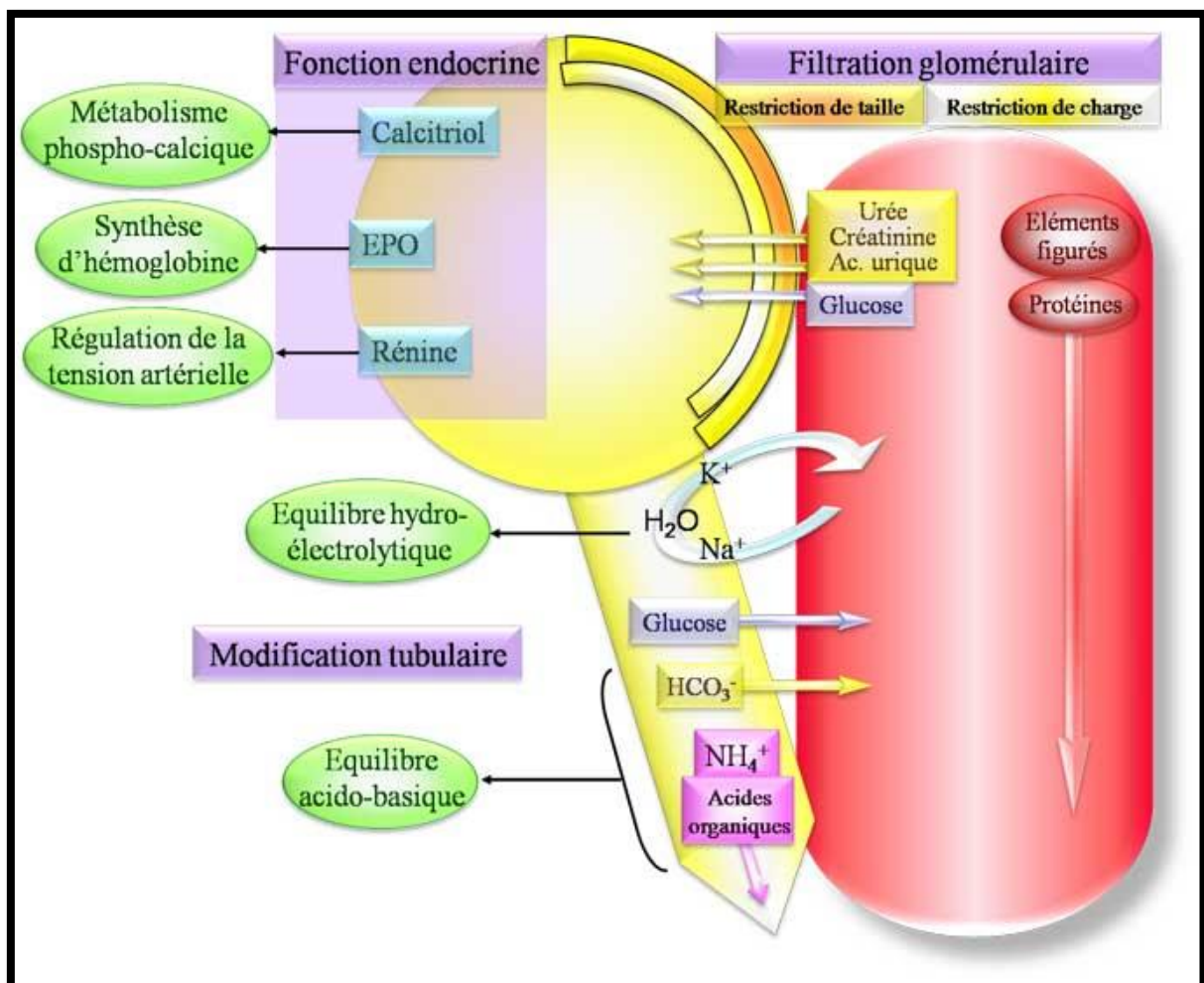


Fig. 7. Fonctions rénales

Références

- [1] Fujigaki Y, Nagase M, Kobayasi S, Hidaka S, Shimomura M, Hishida A. Intra-GBM site of the functional filtration barrier for endogenous proteins in rats. *Kidney Int* 1993 ; 43 : 567-74.
- [2] Groggel GC, Stevenson J, Hovingh P, Linker A, Border WA. Changes in heparan sulfate correlate with increased glomerular permeability. *Kidney Int* 1988 ; 33 : 517-23.
- [3] Lonnerholm G, Wistrand PJ. Carbonic anhydrase in the human kidney: a histochemical and immunocytochemical study. *Kidney Int* 1984 ; 25 : 886-98.
- [4] Kurtzman NA. Regulation of renal bicarbonate reabsorption by extracellular volume. *J Clin Invest* 1970 ; 49 : 586-95.
- [5] Oliver J, Macdowell M. The structural and functional aspects of the handling of glucose by the nephrons and the kidney and their Correlation by means of structural-functional equivalents. *J Clin Invest* 1961 ; 40 : 1093-112.
- [6] Sutton RA. Disorders of renal calcium excretion. *Kidney Int* 1983 ; 23 : 665-73.
- [7] Biber J, Custer M, Magagnin S, *et al.* Renal Na/Pi-cotransporters. *Kidney Int* 1996 ; 49 : 981-5.
- [8] Christensen EI, Rennke HG, Carone FA. Renal tubular uptake of protein: effect of molecular charge. *Am J Physiol* 1983 ; 244 : F436-41.
- [9] Carone FA, Peterson DR. Hydrolysis and transport of small peptides by the proximal tubule. *Am J Physiol* 1980 ; 238 : F151-8.
- [10] Simon DB, Karet FE, Rodriguez-Soriano J, *et al.* Genetic heterogeneity of Bartter's syndrome revealed by mutations in the K⁺ channel, ROMK. *Nat Genet* 1996 ; 14 : 152-6.
- [11] Quamme GA. Renal magnesium handling: new insights in understanding old problems. *Kidney Int* 1997 ; 52 : 1180-95.
- [12] Brezis M, Rosen S, Silva P, Epstein FH. Renal ischemia: a new perspective. *Kidney Int* 1984 ; 26 : 375-83.