

Chapitre 10 : Appareil urinaire

1- Anatomie et histologie de l'appareil urinaire

1) Le rein

Les reins sont constitués d'un parenchyme rénal et des voies urinaires intrarénales. Ils sont recouverts par une membrane conjonctive, la **capsule rénale** qui les maintiens en place et les protège. Les reins sont des organes pairs, en forme de haricot, situés dans la partie postérieure de la cavité abdominale, de chaque côté de la colonne vertébrale, un peu plus haut que la taille. Il y a de chaque côté une **artère rénale** et une **veine rénale** dont l'entrée dans le rein et la sortie hors de celui-ci se font par la dépression médiane appelée le **hile rénal**. Le parenchyme rénal est la partie charnue du rein. Il est organisé en deux régions :

- Le **cortex** (ou région corticale) est la partie superficielle au contact de la capsule. Le cortex est le siège des **glomérules rénaux**
- La **médulla** (ou région médullaire) plus profonde, est constituée de **pyramides rénales** (ou pyramides de Malpighi), dont la pointe est orientée vers le hile rénal et la base, vers le cortex. La médulla est le siège des tubes rénaux. Les pyramides rénales sont séparées par des prolongements du cortex appelées les **colonnes rénales** (ou colonne de Bertin). La pointe des pyramides rénale est criblée de petits orifices, les **papilles rénales** au travers desquels l'urine s'écoule vers les voies urinaires

2) Les voies urinaires intrarénales

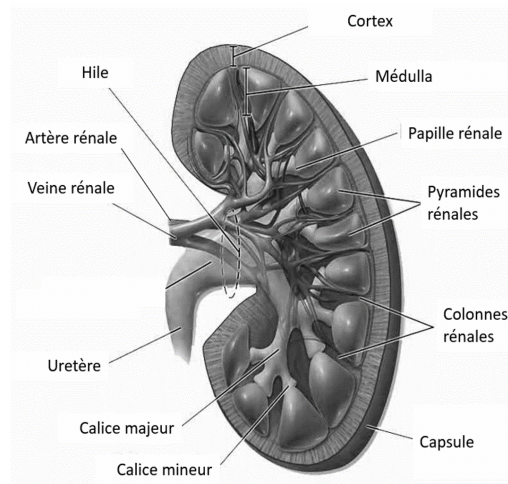
Les voies urinaires intrarénales sont la partie cavitaire du rein. Elles sont constituées des **calices rénaux mineurs**, qui recueillent les urines des papilles. Plusieurs calices mineurs se réunissent en **calices majeurs** qui confluent à leur tour dans une cavité unique, le **bassinnet**, qui se prolonge avec l'uretère, au niveau du hile, appartenant aux voies extrarénales.

3) Les voies urinaires extrarénales

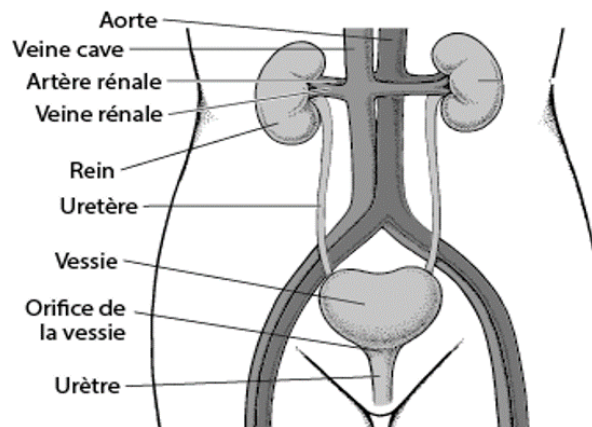
Les voies urinaires extrarénales sont constituées de :

- **Deux uretères** (gauche et droit) : ils recueillent les urines du rein et les acheminent vers la vessie
- **La vessie** : elle est un réservoir musculaire qui reçoit les urines des deux uretères. Son épithélium cubique et sa paroi riche en fibres élastiques lui confère une forte déformabilité.

- **L'urètre** : achemine les urines à l'extérieur de l'organisme. Chez l'homme il traverse la prostate et le corps du pénis. Chez la femme, il est plus court et s'ouvre dans la vulve.



Anatomie du rein



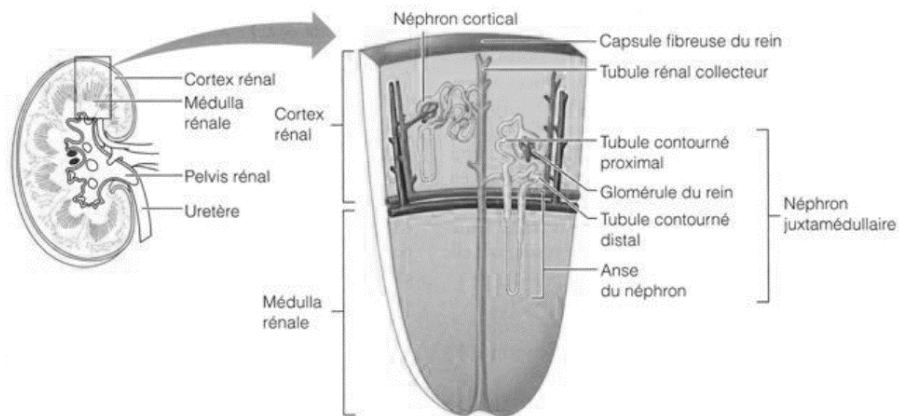
Anatomie des voies urinaires

4) Histologie du rein

Le parenchyme est constitué d'un ensemble de structures identiques, **les tubes urinaires**.

Chaque tube urinaire est formé :

- D'un **néphron**, unité fonctionnelle du rein responsable de la synthèse de l'urine
- D'un **canal collecteur** au centre de la **pyramide rénale** récupérant les urines des différents néphrons et les apportant à la **papille rénale** vers des **voies urinaires**.



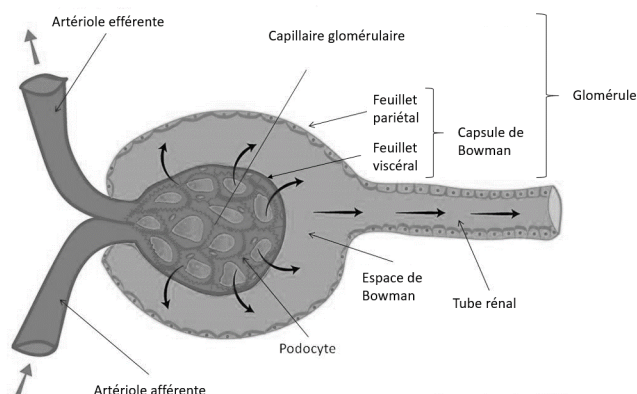
Organisation d'un lobe rénal

Le **néphron** est l'unité fonctionnelle du rein. On retrouve environ 1 million de néphron par rein. Il est composé de deux segments : le **glomérule** (appelé aussi corpuscule rénal ou corpuscule de Malpighi) responsable de la filtration du plasma en urine primitive et le **tube rénal** responsable de la transformation de l'urine primitive en urine définitive par les mécanismes de réabsorption et sécrétion.

Le **glomérule**, présent dans la région corticale, est une structure complexe formée d'un réseau de capillaires, les **capillaires glomérulaires** qui s'enfoncent « en doigt de gant » dans un tube épithélial fermé, la **capsule de Bowman**.

La capsule de Bowman est composée de deux feuillets épithéliaux :

- Le **feuillet externe ou pariétal** est un **épithélium imperméable** permettant de contenir l'urine dans l'espace de Bowman
- Le **feuillet interne ou viscéral** est un feuillet discontinu formé de **pédocelles**, fragments cytoplasmiques produits par les **podocytes**.



Organisation du glomérule

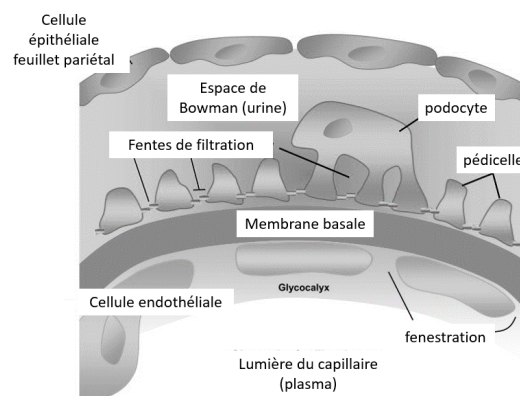
Le glomérule est donc polarisé :

- **Le pôle vasculaire** est composé du capillaire glomérulaire contenant le **plasma**
- **Le pôle urinaire** est composé de la capsule de Bowman contenant l'**urine primitive**

La région de contact entre ces deux pôles est la **membrane de filtration**. C'est une membrane poreuse permettant le passage de petites molécules du plasma vers l'urine primitive de manière **passive** et uniquement **extracellulaire**.

Elle est composée de trois éléments :

- **L'endothélium du capillaire fenêtré** : les fenestrations du capillaire permettent de laisser sortir certaines molécules du capillaire
- **La membrane basale** : elle est composée d'un maillage de fibres de collagène
- **Le feuillet viscéral** de la capsule de Bowman : **les pédocelles** (fragments de cytoplasmes déposés par les **podocytes**) sont séparés par de fins espaces, **les fentes de filtration** déterminant la taille des molécules pouvant entrer dans le compartiment urinaire.



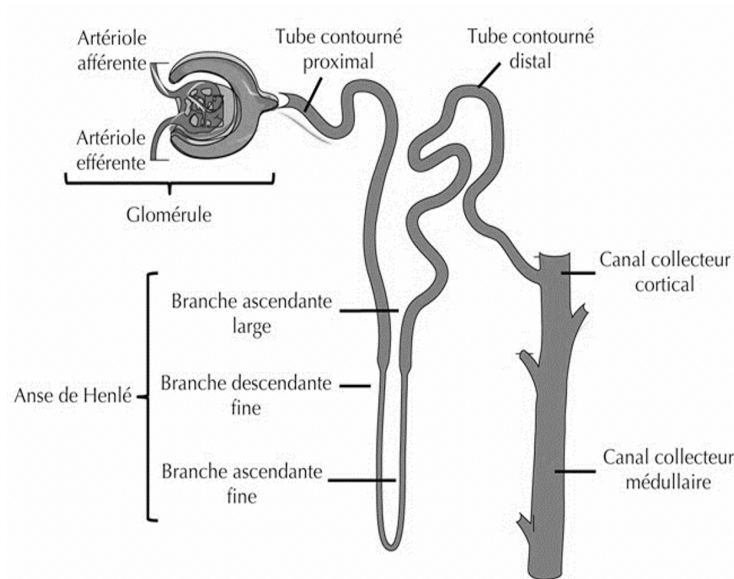
Structure de la membrane de filtration

- **Le tube rénal**

La capsule de Bowman se prolonge avec un tube qui présente trois segments :

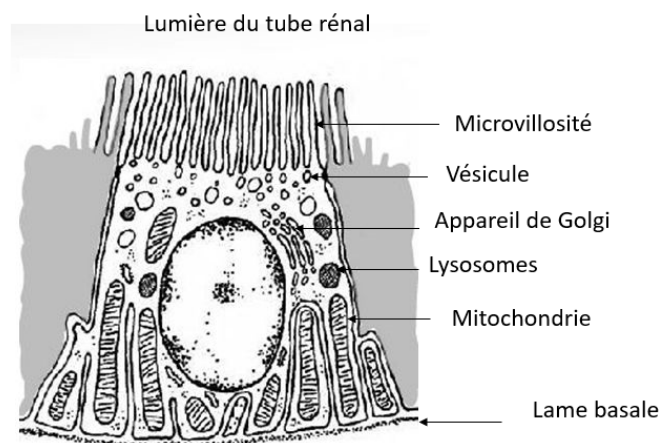
- **Le tube proximal** ou tube contourné proximal : Il commence à l'ouverture de la capsule de Bowman et récupère l'urine primitive. Tout comme le glomérule il est présent dans la région corticale et descend vers la médulla.
- **L'anse de Henlé** : Il a une forme caractéristique en forme de U et est présent au niveau de la médulla au sein des pyramides de Malpighi.

- **Le tube distal** ou tube contourné distal : Il remonte de la médulla vers la région corticale afin de remonter à proximité du glomérule. Il est relié au canal collecteur soit au niveau cortical soit au niveau médullaire.



Anatomie du néphron

Les cellules de l'épithélium du tube rénal sont les **néphrocytes**. Ces **cellules prismatiques** sont polarisées et possèdent au pôle apical une **bordure en brosse** (ensemble de microvillosités). Ces microvillosités multiplient la surface par 20. Leurs faces latérales présentent de nombreuses jonctions intercellulaires, tandis que leur pôle basal comporte un nombre important de mitochondries, ainsi que des replis irréguliers de la membrane.

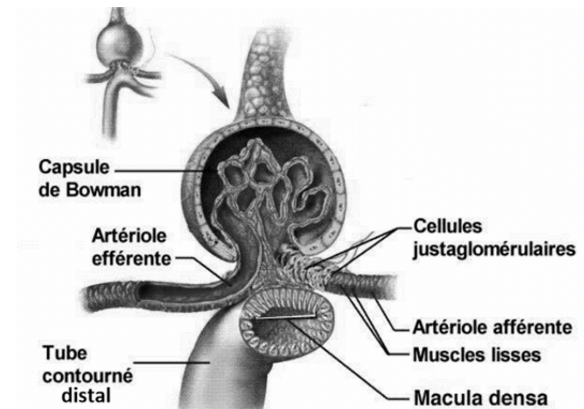


Structure d'un néphrocyte

- L'appareil juxtaglomérulaire :

L'appareil juxtaglomérulaire est la région où le tube distal remonte au contact du glomérule. Dans cette région, les cellules de l'artériole afférente, mésangium (le tissu conjonctif) et de l'épithélium du tube distal communiquent entre eux afin de détecter les variations de la pression artérielle et à la teneur en sodium de l'urine et pouvoir répondre à ces changements.

- **Au niveau du tube distal** se trouve les **cellules de la macula densa**. Celles-ci possèdent des chimiorécepteurs capables de détecter la concentration en sodium de l'urine et ainsi la pression osmotique ou dilution des urines.
- **Au niveau de l'artériole afférente** se trouve **les cellules juxtaglomérulaires** ou « cellules granuleuses». Ce sont des cellules musculaires lisses spécialisées dans la fonction endocrine. Elles possèdent des **barorécepteurs** capables de mesurer la pression artérielle. Lors d'une diminution de la pression artérielle et d'une augmentation de la concentration en sodium des urines, elles sont capables de libérer une hormone **la rénine** permettant la régulation de la volémie et pression artérielle.
- **Au niveau du mésangium** se trouve les **cellules mésangiales extra glomérulaires** dites cellules du lacis. Elles sont en contact à la fois avec les cellules de la macula densa et les cellules juxtaglomérulaires et permettent de **transmettre les signaux** entre les différentes cellules.



L'appareil juxtaglomérulaire

2- Physiologie de la synthèse des urines

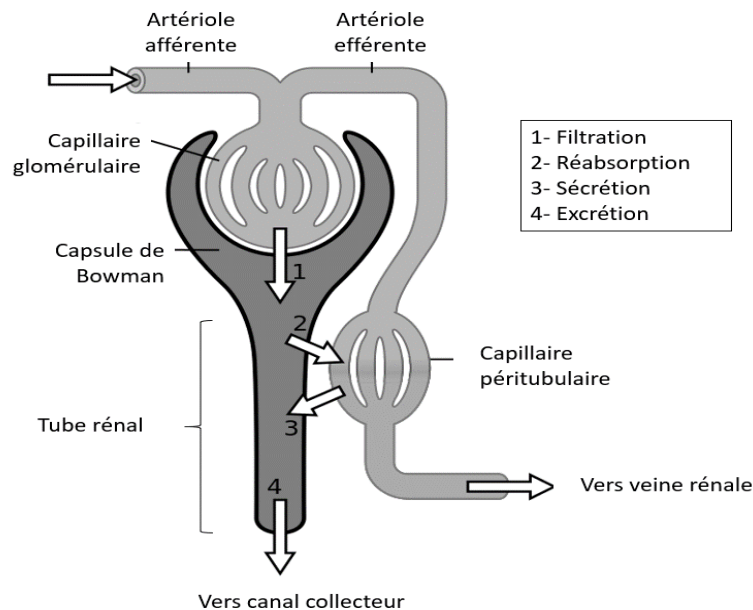
Les reins sont responsables de **l'homéostasie hydroélectrolytique**. En d'autres termes ils permettent de maintenir une volémie constante (quantité d'eau plasmatique) et une concentration en ions circulants constante. Ils permettent aussi **d'épurer le plasma des différents déchets hydrosolubles** comme par exemple l'urée.

C'est en faisant varier la quantité d'eau et de différents constituants du plasma éliminés dans l'urine (par filtration et sécrétion) ou alors retenus dans l'organisme (par réabsorption) que

les reins maintiennent l'équilibre hydroélectrolytique dans les très étroites limites compatibles avec la vie. La composition de l'urine est donc variable.

La formation de l'urine est le résultat de actions complémentaires :

- La filtration du plasma sanguin dans le glomérule avec obtention de l'**urine primitive**
- La modification de la composition de l'urine primitive en **urine définitive** dans le tube rénal par l'action de réabsorption et sécrétion.



Fonctionnement du néphron

1) Filtration rénale

Le plasma est filtré au niveau de la **membrane de filtration** constitué du capillaire fenêtré, lame basale et feuillet interne de la capsule de Bowman.

Ensemble ces trois couches forment un fin tamis (un peu comme un filtre à café) qui **laisse filtrer l'eau et les petites molécules** dissoutes mais **empêche le passage des cellules sanguines, des protéines plasmatiques et lipoprotéines** de taille trop conséquentes pour franchir les fenestrations et les fentes de filtration. Le trajet des substances filtrées est donc complètement **passif et extracellulaire**,

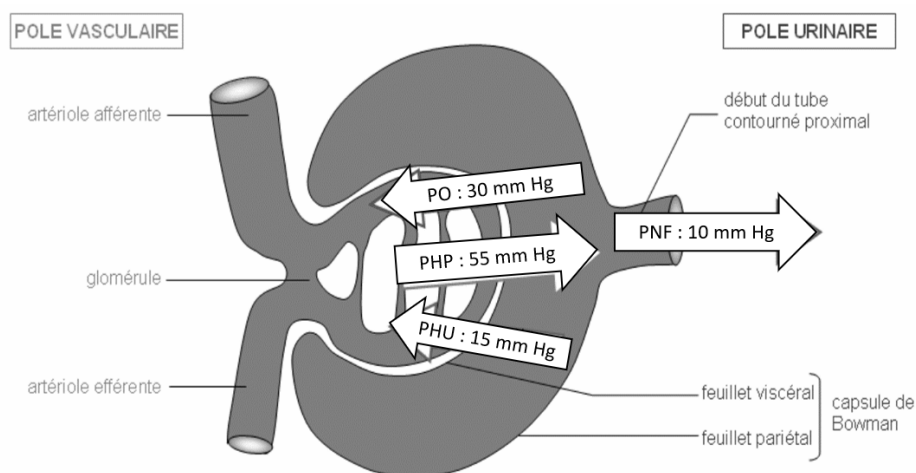
On retrouve donc d'un côté de la membrane le plasma et de l'autre côté l'urine primitive.

3 forces s'appliquent sur cette membrane et leur somme permettent la pression nette de filtration (PNF) dans le sens plasma – urine :

- **La pression hydrostatique plasmatique (PHP)** (ou glomérulaire) correspond à la pression qu'exerce le plasma sur la paroi du capillaire glomérulaire. Elle a une valeur de 55 mm Hg dans le sens plasma-urine
- **La pression oncotique (PO)** (ou colloïde osmotique) correspond à la force d'attraction de l'eau par les protéines plasmatiques. Elle a une valeur de 30 mm Hg dans le sens urine-plasma
- **La pression hydrostatique urinaire (PHU)** (ou capsulaire) dans la capsule de Bowman. Elle a une valeur de 10 mm Hg dans le sens urine-plasma

La pression nette de filtration est donc la somme de ces trois forces :

$$PNF = PHP + PO + PHU = 55 - 30 - 15 = 10 \text{ mm Hg}$$



Physiologie de la filtration rénale

Les variations de la pression sanguine peuvent donc directement impacter la capacité de filtration. Si la pression artérielle est trop basse, la filtration ne pourra plus avoir lieu.

La clairance rénale est un indicateur de la capacité du rein à épurer une substance du plasma sanguin. Elle correspond au volume de plasma totalement "nettoyé" de cette substance par unité de temps, généralement exprimée en mL/min. Elle permet d'évaluer si une substance est filtrée, réabsorbée ou sécrétée par le néphron. **Le débit de filtration glomérulaire (DFG)**, quant à lui, représente le volume de liquide filtré par les glomérules rénaux chaque minute. Il est un paramètre central de la fonction rénale, estimé en clinique grâce à des marqueurs comme la créatinine. Un DFG normal chez l'adulte est d'environ 120 mL/min, et sa diminution est un signe précoce d'insuffisance rénale.

Afin d'assurer un débit de filtration constant, le débit sanguin rénal est maintenu dans des limites relativement constantes sur une plage de pression artérielle moyenne allant de 60 à 110 mmHg phénomène appelé "autorégulation" grâce à la vasomotricité de l'artériole afférente. En deçà et au-delà de ces valeurs, le débit sanguin rénal est très dépendant du niveau de pression artérielle perfusant les reins et nécessite une régulation supplémentaire. Lorsque la pression de filtration diminue, cela est ressenti par des barorécepteur et le rein libère la **rénine** dans le sang. Cette hormone enzymatique est capable de scinder une protéine circulante, l'**angiotensinogène**, en **angiotensine I**. Cette dernière est rapidement activée par une autre enzyme, la convertase (produite par le poumon) en **angiotensine II**.

L'angiotensine II est une hormone qui permettra alors :

- **La vasoconstriction de l'artériole afférente**, ce qui augmente la pression de filtration.
- **La vasoconstriction systémique** qui augmente la pression artérielle, ce qui favorise également la filtration.
- **La synthèse d'aldostérone** dans les glandes surrénales, l'aldostérone stimule la réabsorption de sodium et d'eau dans le tube rénal, ce qui induit l'augmentation de la volémie, l'augmentation de la pression sanguine et celle de la filtration glomérulaire.

Ce système, très performant, est le principal garant d'une fonction rénale constante, malgré les fluctuations assez importantes de la pression artérielle. Il est connu sous le nom de **système rénine-angiotensine-aldostérone** ou système **RAA**.

La filtration concerne en moyenne 20% du flux de plasma qui traverse le glomérule, ce qui représente 180 litres par jour. Sachant que la production d'urine est de 1 à 1,5 L par jour on peut tout de suite réaliser l'efficacité du mécanisme de réabsorption de l'eau au niveau du tube rénal.

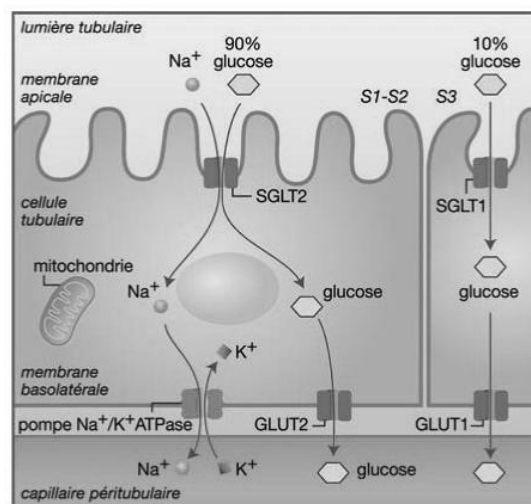
2) Réabsorption par le tubule rénal

Tous les constituants du plasma, à l'exception des protéines, sont filtrés de façon non sélective dans les urines primitives. Outre les déchets et les substances excédentaires à éliminer, l'urine primitive contient des nutriments, des électrolytes et d'autres substances qui sont essentiels pour l'organisme et dont la perte serait dommageable.

Le retour dans l'organisme de ces molécules essentielles est accompli par la réabsorption tubulaire, c'est-à-dire par le transfert de ces substances de la lumière du tube aux capillaires péri-tubulaires.

La réabsorption obligatoire a lieu au niveau du tube proximal et anse de Henlé

- **Au niveau du tube proximal** sera réabsorbé tous **les nutriments** (oses, acides aminés) et **une partie de l'eau (70 %) et des ions**.
- Au niveau de **l'anse de Henlé** par **partie descendante** permet la **réabsorption de l'eau** (29 %) et la **partie ascendante** est **imperméable à l'eau** mais permet un **transport actif de nombreux ions** en particulier le Na^+ afin de créer une **pression osmotique** forte et faciliter la réabsorption de l'eau au niveau de la partie descendante.
- **La réabsorption facultative** a lieu au niveau du **tube distal**. Ce dernier est généralement imperméable aux molécules mais **selon les besoins de l'organisme** et **sous contrôle hormonal** peut réabsorber de l'eau (sous contrôle de l'aldostérone) et des ions (par exemple le calcium sous contrôle de la PTH).



Réabsorption du glucose par les néphrocytes du tube rénal

Les mécanismes de ces transports sont très proches de ceux utilisés par les entérocytes :

- Le transport du glucose et des acides aminés est couplé au transport du sodium et est ATP dépendant
- Le transport des ions par transport actif simple ou cotransport.

Les reins jouent un rôle essentiel dans le maintien de l'homéostasie, notamment grâce à la réabsorption sélective de l'eau, du sodium (Na^+) et des bicarbonates (HCO_3^-). Le sodium, filtré en grande quantité au niveau du glomérule, est réabsorbé activement tout au long du tubule rénal, principalement dans le tubule proximal, puis régulé finement dans le tube distal et le tube collecteur. Cette réabsorption du Na^+ entraîne un gradient osmotique qui permet la réabsorption passive de l'eau, participant ainsi au maintien du volume sanguin et de la

pression artérielle. Ce processus est contrôlé par des hormones comme l'aldostérone (qui augmente la réabsorption du Na^+) et l'ADH (qui favorise la réabsorption d'eau dans les tubes collecteurs). Parallèlement, les bicarbonates (HCO_3^-), qui jouent un rôle clé dans le maintien du pH sanguin, sont presque intégralement réabsorbés dans le tubule proximal. Ce processus permet de compenser les pertes acides et de réguler l'équilibre acido-basique de l'organisme. Ainsi, la réabsorption de ces éléments contribue à l'équilibre hydrique, électrolytique et acido-basique, éléments fondamentaux de l'homéostasie corporelle.

3) Sécrétion par le tubule rénal

La sécrétion des ions H^+ , K^+ et NH_4^+ par le néphron joue un rôle essentiel dans le maintien de l'homéostasie, en particulier pour l'équilibre acido-basique et électrolytique. Les ions H^+ sont sécrétés principalement dans le tubule proximal, le tubule distal et le tube collecteur, via des pompes à protons (H^+ -ATPases) et des échanges Na^+/H^+ . Cette sécrétion permet l'élimination de l'acidité en excès et participe à la régulation du pH sanguin, en parallèle à la réabsorption des bicarbonates (HCO_3^-).

Les ions K^+ sont sécrétés principalement dans le tubule distal et le tube collecteur par des canaux potassiques sensibles à l'aldostérone, qui augmente leur excrétion en réponse à une hyperkaliémie. Cette sécrétion assure le maintien de la kaliémie, crucial pour l'activité neuromusculaire et cardiaque.

Le tube distal est également impliqué dans la sécrétion des déchets. Il est, en plus d'être imperméable à l'eau, aussi imperméable à l'urée (capable de diffuser normalement au travers des membranes). Il est capable de capter les déchets n'ayant pas pu être filtré (car seul 20 % de l'eau plasmatique est filtrée) et de les transporter activement dans la lumière du tube distal.

Enfin, l'excrétion des ions ammonium (NH_4^+) résulte de la désamination des acides aminés dans les cellules tubulaires, un mécanisme important en situation d'acidose. Le NH_4^+ agit comme un tampon urinaire en éliminant des charges acides, contribuant ainsi à la régulation de l'équilibre acido-basique, particulièrement lors d'un stress métabolique.

4) Excrétion de l'urine définitive

L'urine définitive se présente comme un liquide jaunâtre, de pH acide (5,8). Ce pH acide est possible grâce à une sécrétion active d'ion H^+ tout au long du tube rénal. Le volume d'urine éliminée est en moyenne de 1,5 L par jour, répartis en plusieurs mictions. L'urine est une solution aqueuse plus ou moins diluée, contenant principalement des ions et des produits

azotés, notamment l'urée. Dans des conditions normales, elle ne contient ni glucose, ni protéines, ni cellules. Parmi les composants organiques, les plus importants sont l'urée, l'acide urique et la créatinine.

Le canal collecteur récupère les urines définitives afin de les transporter jusqu'à la papille rénale vers les voies urinaires. Il présente un épithélium avec deux types de cellules :

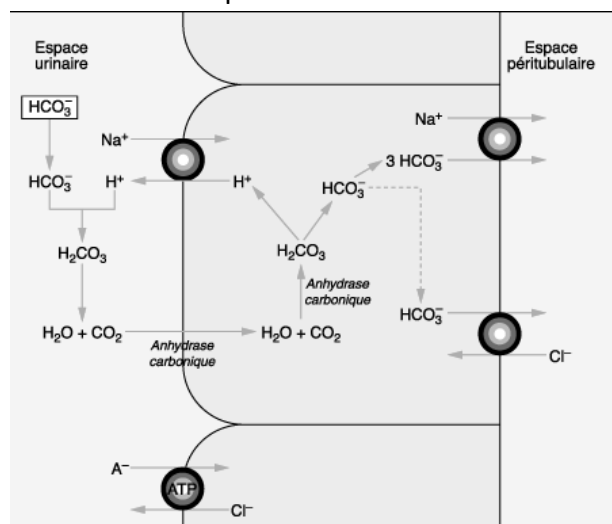
- Les cellules principales, responsables de la réabsorption d'eau sous l'action de l'ADH
- Les cellules intercalaires, qui sécrètent des protons par transport actif. L'activité de ces cellules est fondamentale pour le maintien de l'équilibre acidobasique de l'organisme. La perméabilité à l'eau de ce segment est dépendante de l'ADH.

3- Les autres rôles du rein

1) Maintien de l'équilibre acido-basique

Le rein contrôle l'équilibre acidobasique de l'organisme par :

- L'excrétion des ions H^+ tout au long du tube rénal et canal collecteur
- La production d'ions HCO_3^- lors de l'élimination de l'ammoniac (NH_3) sous forme d'ions ammonium (NH_4^+) par le tube distal. Cette production est liée à une enzyme appelée anhydrase carbonique catalysant la réaction $H_2O + CO_2 \rightarrow HCO_3^- + H^+$
- La réabsorption des ions HCO_3^- par le tube distal



Équilibre acido-basique

2) Fonction endocrine

Le parenchyme rénal est le siège de trois sécrétions endocrines :

La rénine : produite en réponse à une diminution de la pression artérielle, à une baisse du sodium dans le tubule distal ou à une stimulation sympathique. Elle initie la cascade du système rénine–angiotensine–aldostérone (SRAA). La rénine transforme l'angiotensinogène hépatique en angiotensine I, qui sera convertie en angiotensine II, une molécule vasoconstrictrice qui stimule également la sécrétion d'aldostérone. Ce système permet d'augmenter la pression artérielle et la volémie.

La vitamine D / calcitriol : les reins assurent l'activation de la vitamine D en sa forme active, le calcitriol (1,25-dihydroxyvitamine D₃), sous l'action de la 1-alpha-hydroxylase dans le tubule proximal. Le calcitriol stimule l'absorption intestinale du calcium et du phosphate, ainsi que leur réabsorption rénale, contribuant au maintien de l'équilibre phosphocalcique et à la minéralisation osseuse.

L'érythropoïétine (EPO) : synthétisée principalement par les cellules interstitielles péri-tubulaires du cortex rénal, l'EPO est libérée en réponse à une hypoxie tissulaire (baisse de la pression partielle en O₂). Elle stimule la moelle osseuse à produire davantage de globules rouges (érythrocytes), augmentant ainsi la capacité de transport de l'oxygène dans le sang.

4- Bilan

Fonction rénale	Mécanismes physiologiques	Résultats / Objectifs
Filtration glomérulaire	Filtration passive du plasma sanguin au niveau du glomérule selon un gradient de pression (DFG $\approx$ 125 mL/min).	Formation de l'urine primitive. Élimination des déchets. Maintien du volume plasmatique.
Réabsorption tubulaire	Transport actif et passif des substances utiles (eau, Na^+ , glucose, acides aminés, HCO_3^- ...) dans le tubule.	Récupération des nutriments, de l'eau et des ions. Maintien de l'équilibre hydrique et électrolytique.
Sécrétion tubulaire	Élimination active d'ions ou substances du sang vers la lumière tubulaire (H^+ , K^+ , NH_4^+ , médicaments...).	Régulation acido-basique, élimination des substances toxiques ou en excès.
Concentration de l'urine	Réabsorption d'eau sous l'effet de l'ADH dans les tubes collecteurs, via le gradient cortico-médullaire.	Concentration/dilution de l'urine. Adaptation aux besoins hydriques de l'organisme.
Régulation de la PA (SRAA)	Sécrétion de rénine $\rightarrow$ angiotensine II $\rightarrow$ sécrétion d'aldostérone $\rightarrow$ réabsorption de Na^+ /eau.	Maintien de la pression artérielle et de la volémie.
Régulation phosphocalcique	Activation de la vitamine D en calcitriol.	Augmentation de l'absorption intestinale de calcium et de phosphate.
Régulation de l'érythropoïèse	Sécrétion d'érythropoïétine (EPO) en cas d'hypoxie.	Stimulation de la production de globules rouges par la moelle osseuse.
Régulation acido-basique	Réabsorption de HCO_3^- et sécrétion de H^+ / NH_4^+ selon le pH sanguin.	Maintien du pH sanguin autour de 7,4.
Fonction d'excrétion	Élimination dans les urines des produits azotés (urée, créatinine, acide urique), toxines, médicaments.	Détoxification de l'organisme. Maintien de l'équilibre métabolique.