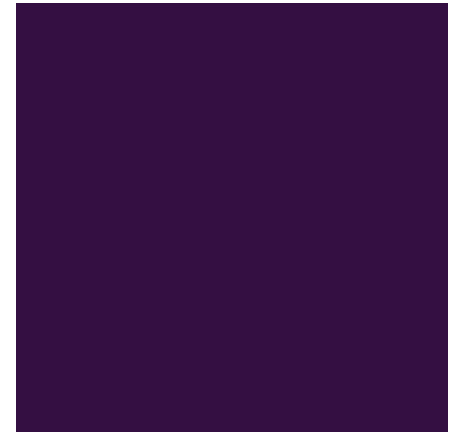
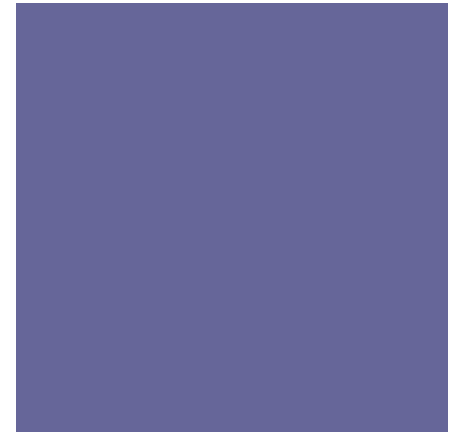




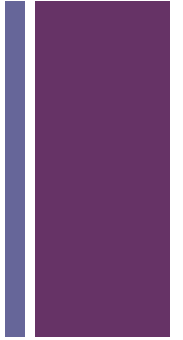
Physiologie Le système urinaire

EPSN – Janvier 2017

Matthieu Steimer Ostéopathe diplômé CDS

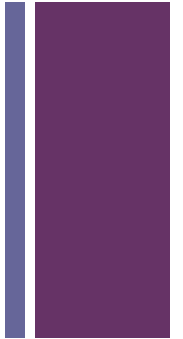


Introduction



- Le but de ce cours est de comprendre les implications des systèmes d'élimination du corps. Malheureusement, il m'est impossible de vous expliquer le fonctionnement du foie, parce que celui-ci me dépasse complètement
- Il fait appel à des notions avancées de biochimie complexes qu'en comparaison que quelques biologistes maîtrisent
- Comme nous l'avons défini à plusieurs reprises, le foie est l'organe du métabolisme, c'est à dire qu'il anabolise et catabolise à chaque instant des milliers de molécules, soit dans le but de les transformer pour les éliminer, soit de les transformer pour les utiliser ensuite dans le corps

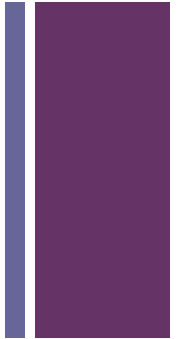
+ Introduction (suite)



- Il faut donc toujours comprendre que, pour qu'une substance soit éliminée par le système urinaire, cette dernière a été métabolisée par le foie
- La principale action du foie est de rendre solubles les substances à éliminer afin qu'elles puissent être facilement excrétées par les voies urinaires
- Ce cours est en rapport avec le livre de physiologie Tortora



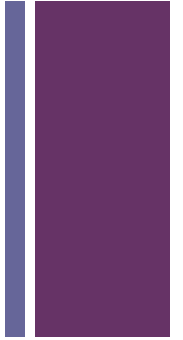
Glossaire



- **Dysurie:** La dysurie est la difficulté à l'évacuation de la vessie. Elle est souvent méconnue car indolore et d'installation progressive. On décrit la dysurie d'attente, initiale au début de la miction, et la dysurie de poussée, parfois terminale.
- **Péritoine:** Le péritoine est une membrane séreuse continue (formée par une couche simple de cellules épithéliales), qui tapisse l'abdomen et ses viscères délimitant l'espace virtuel de la cavité péritonéale.
- **Diurèse:** La diurèse est l'élimination de l'urine dans son ensemble, de façon qualitative et quantitative
- **Oligurie:** L'oligurie est une raréfaction du volume des urines chez un individu. L'absence quasi complète des urines étant une anurie.
- **Polyurie:** La polyurie est un symptôme ou une maladie caractérisée par des urines abondantes, fréquemment rencontrée dans le cas du diabète insipide et du diabète sucré.



Anatomie du système urinaire



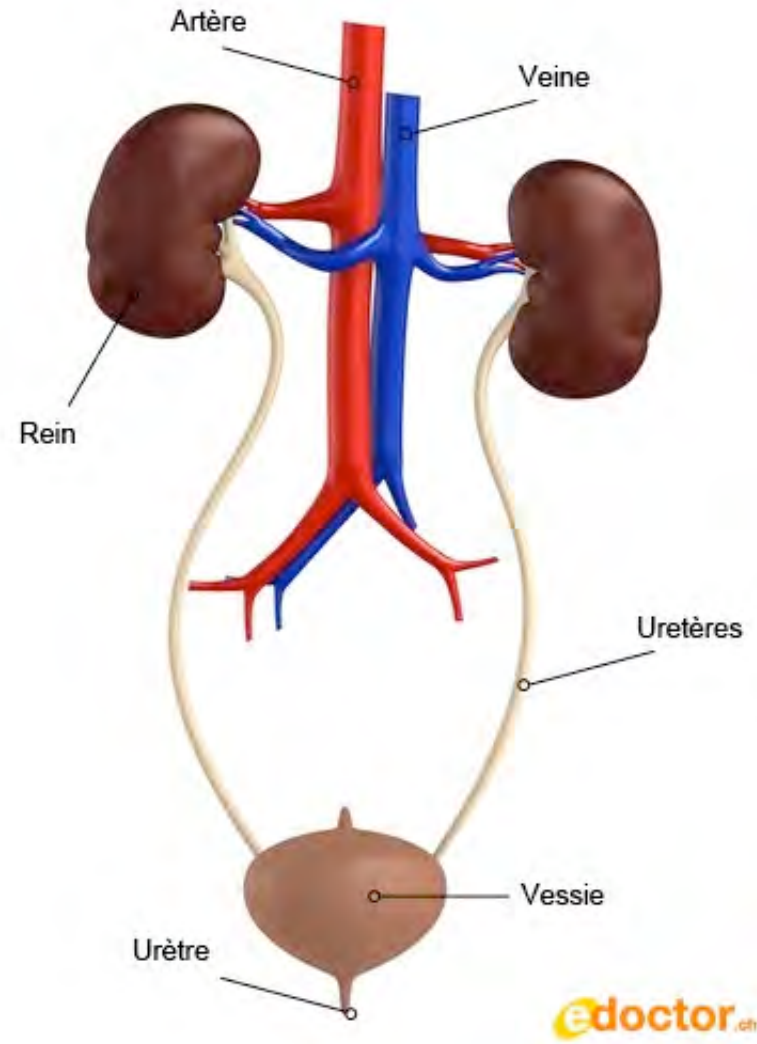
- L'uretère, la vessie et l'urètre ne sont que des prolongements anatomiques de la voie d'élimination qui commence dans les reins. Cet ensemble anatomique est appelé bas appareil urinaire
- La première étape de cette élimination est une filtration du plasma sanguin
- Le but de cette filtration est de conserver les éléments utiles et nécessaires du sang (cellules sanguines, protéines plasmatiques, vitamines, anticorps, oligoéléments, glucides, lipides...) dans le plasma, alors que les déchets métaboliques doivent être extraits du plasma



Organe du système urinaire

Le système urinaire est composé de:

- Deux reins (droit et gauche)
- Deux uretères (droit et gauche)
- De la vessie
- De l'urètre



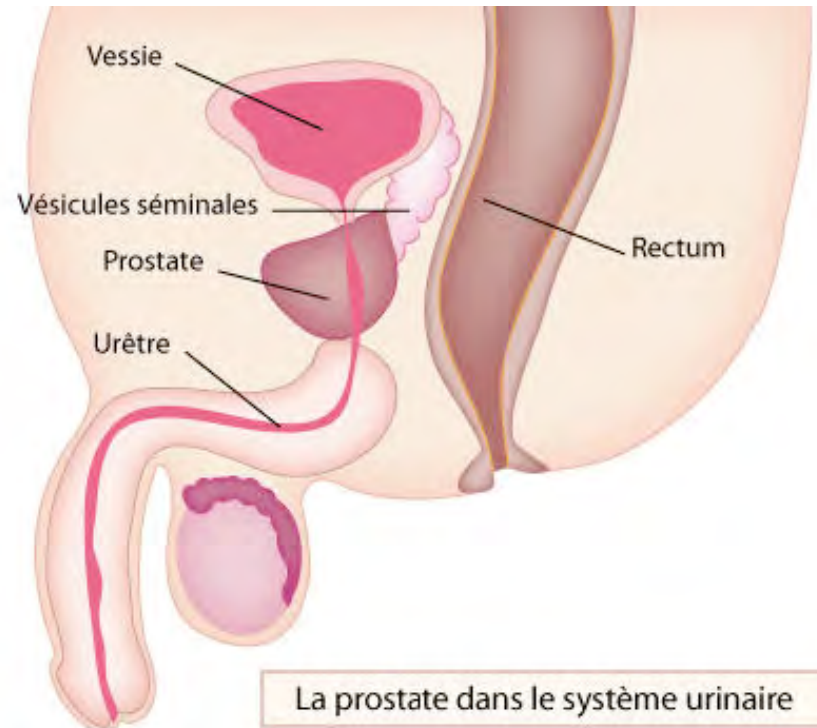
+ Rapport viscéraux





Système urinaire et système génital

- Chez l'homme le système urinaire est en rapport direct avec le système génital
- Même si la prostate ne participe pas à la physiologie du système urinaire, les pathologies de celle-ci ont très souvent une répercussion sur la miction. C'est le cas de l'hypertrophie bénigne de la prostate qui entraîne des dysuries





Urographie intraveineuse (UIV)

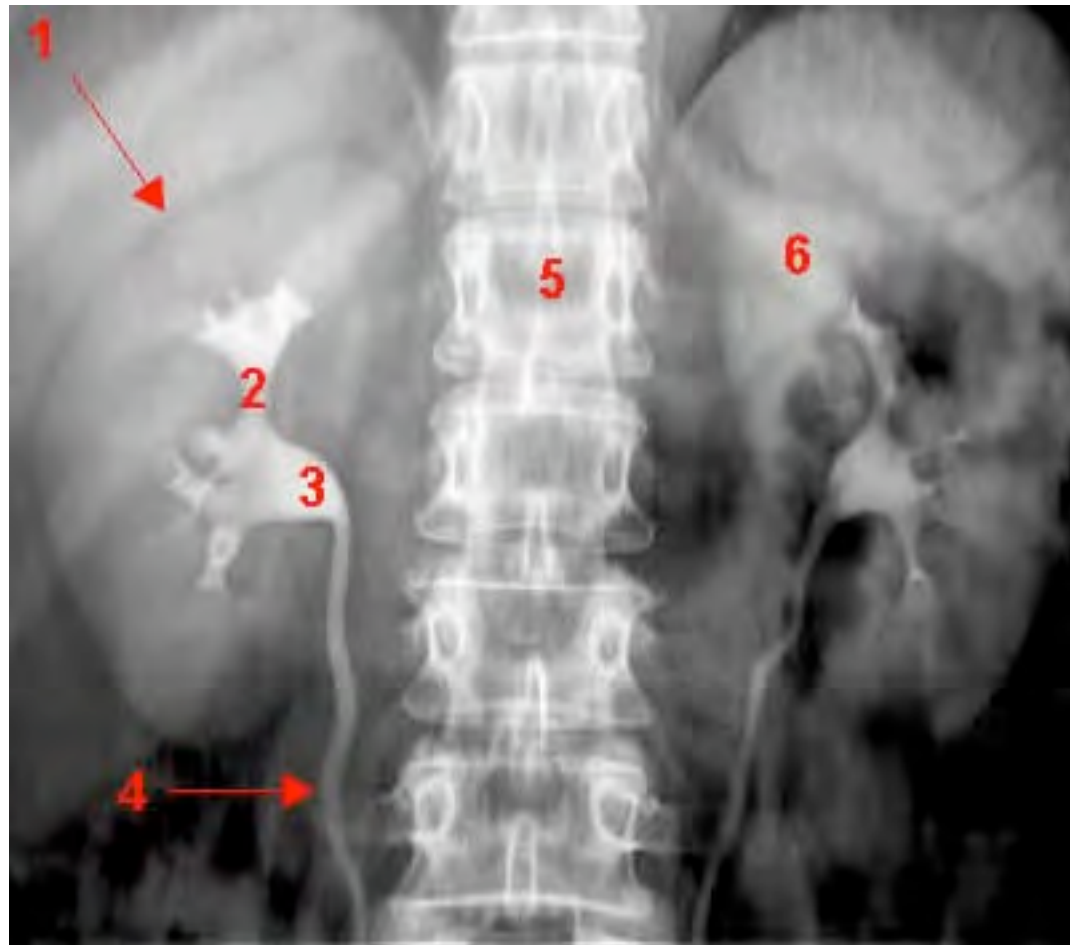
- On injecte un liquide de contraste dans le système urinaire afin que ce dernier ressorte à la radiographie
- 1: rein gauche
- 2: rein droit
- 3: uretères D et G
- 4: vessie
- 5: sterilet





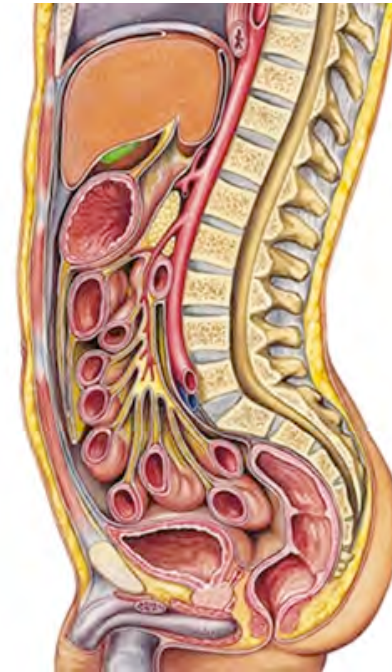
Urographie intraveineuse (UIV)

- 1 Contour du rein droit
- 2 Grand calice
- 3 Bassinet
- 4 Urètre
- 5 Colonne vertébrale
- 6 Rein gauche



+ Anatomie des reins

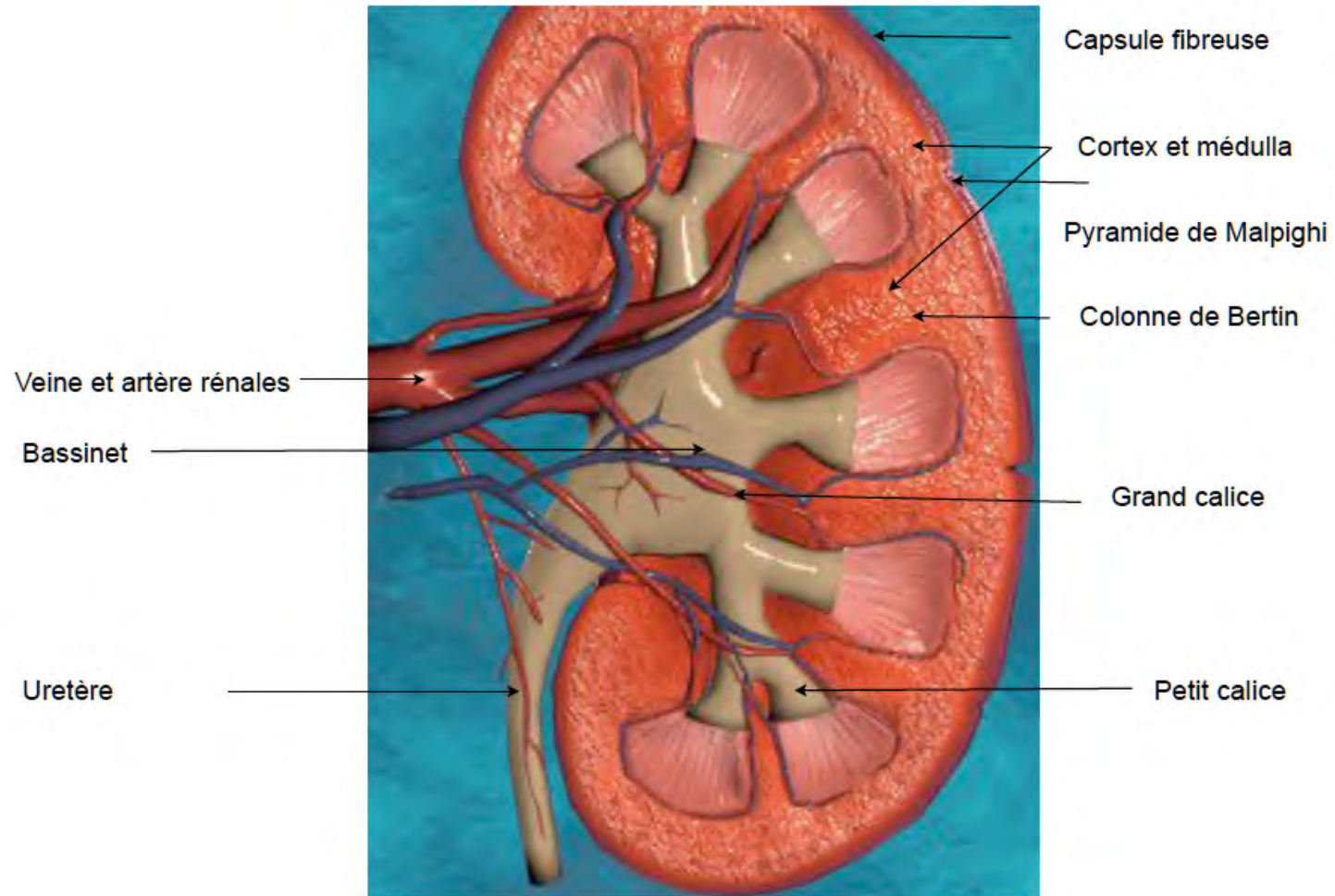
- Les reins au nombre de deux, sont situés dans une capsule qui adhère au péritoine pariétal postérieur
- Le péritoine est une enveloppe qui protège et entoure les organes de la cavité abdominale. Les reins sont donc séparés des organes digestifs par un épais et résistant tissu sur lequel ils adhèrent intimement. Pour cette raison ils sont décrits comme **rétro péritonéaux**





Anatomie propre du rein

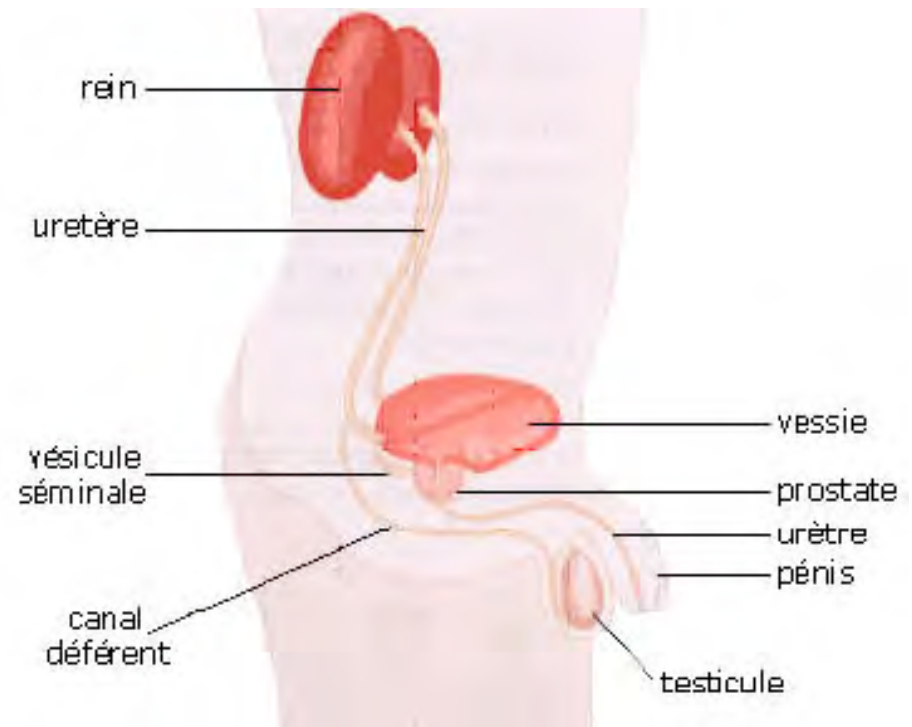
Anatomie du rein





Les organes de l'élimination

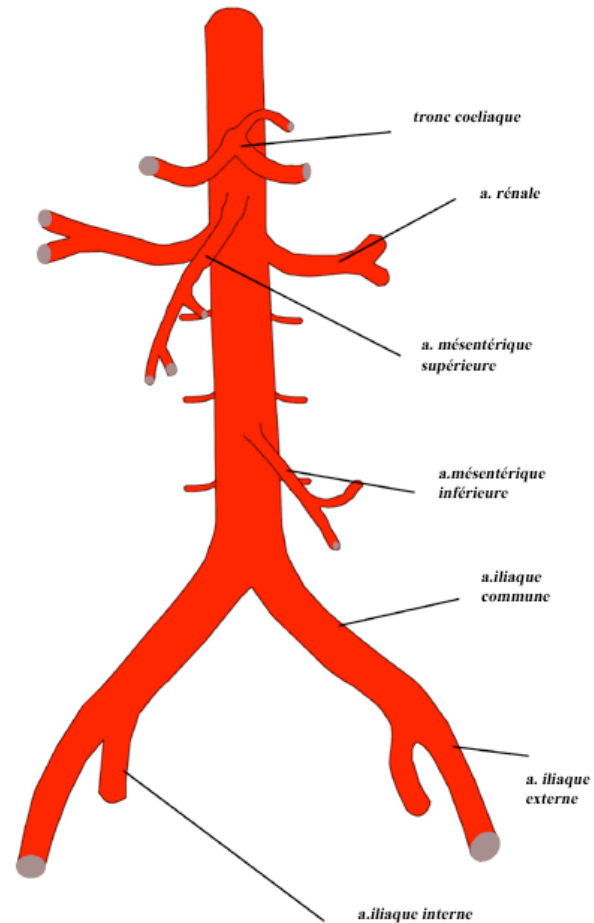
- Ils se prolongent vers le bas pour atteindre la paroi postérieure de la vessie. La vessie est un lieu de stockage de l'urine. Elle est constituée des trois couches histologiques communes. La couche médiane est pourvue d'un riche réseau musculaire permettant la vidange
- Le conduit terminal de l'appareil urinaire est l'urètre, très court chez la femme et qui parcourt toute la verge chez l'homme





Les reins

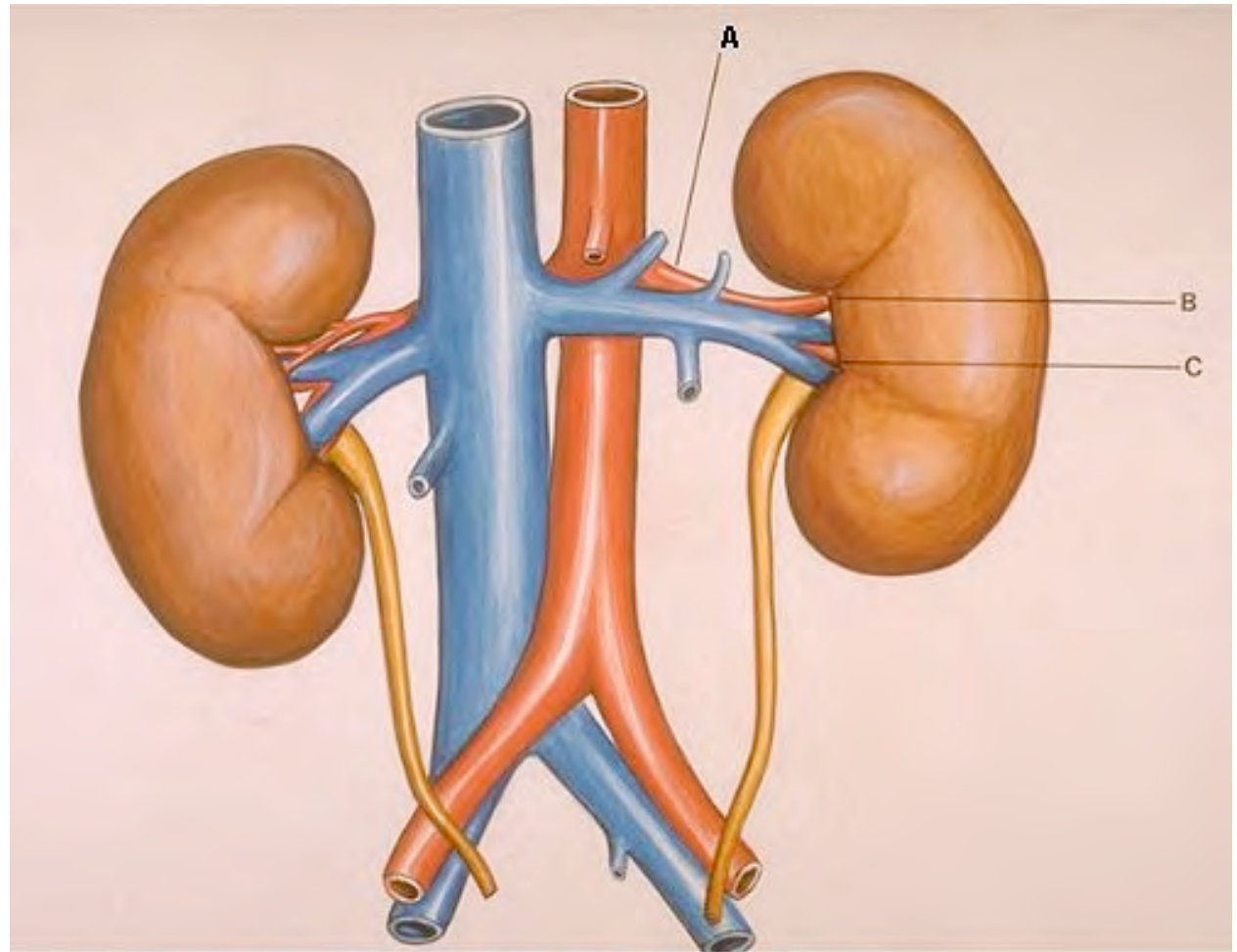
- Pour effectuer le travail de filtration du sang les reins sont richement vascularisés par deux artères, une propre à chaque rein
- Ces deux artères rénales droite et gauche proviennent directement de l'aorte abdominale, au niveau de la première vertèbre lombaire. Elles acheminent le sang dans les glomérules rénaux (filtre rénal), et donnent quelques ramifications pour les glandes endocrines surrénales
- Les veines rénales contribuent à la formation de la veine cave inférieure qui se jette directement dans l'oreillette droite



Aorte abdominale et ses branches

+ Vascularisation rénale

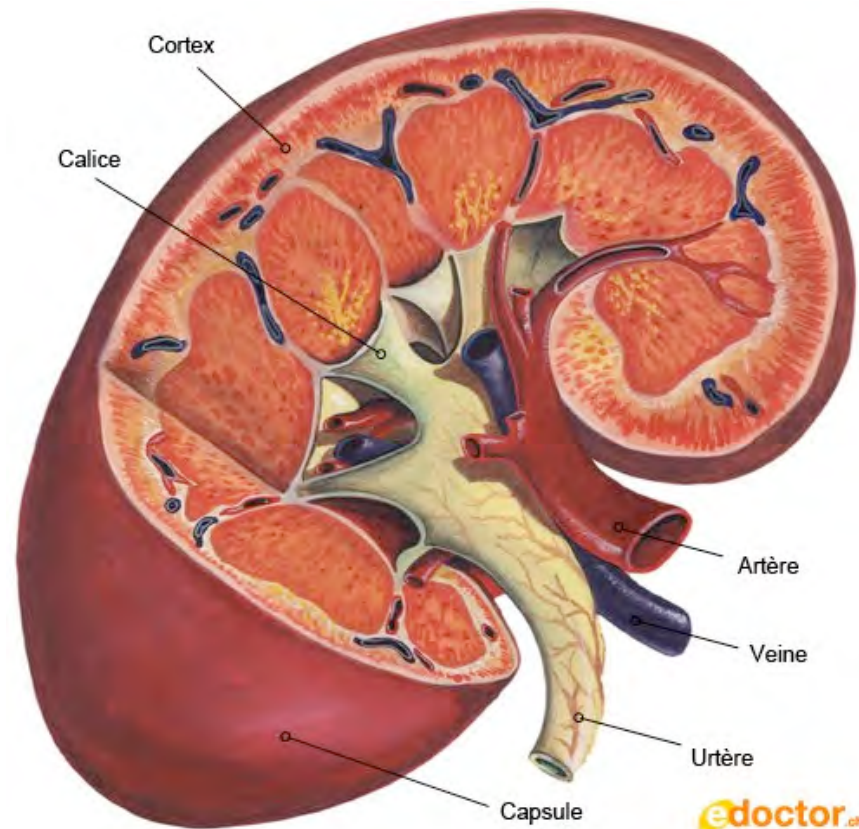
- En rouge l'artères aorte en regard de la première vertèbre L1
- En bleu le système veineux
- A: art rénale gauche
- B et C représente le hile rénal gauche





Les reins

- Les reins ont une forme de croissant
- Leur pôle supérieur est protégé par la partie inférieure du grill costal au niveau de la 12^{ème} vertèbre dorsale
- À cause de l'emplacement du foie, le rein droit est plus bas que le gauche
- Le centre du croissant se prolonge par le bassinet ou calice (en jaune sur le schéma de droite), point de départ de l'uretère.

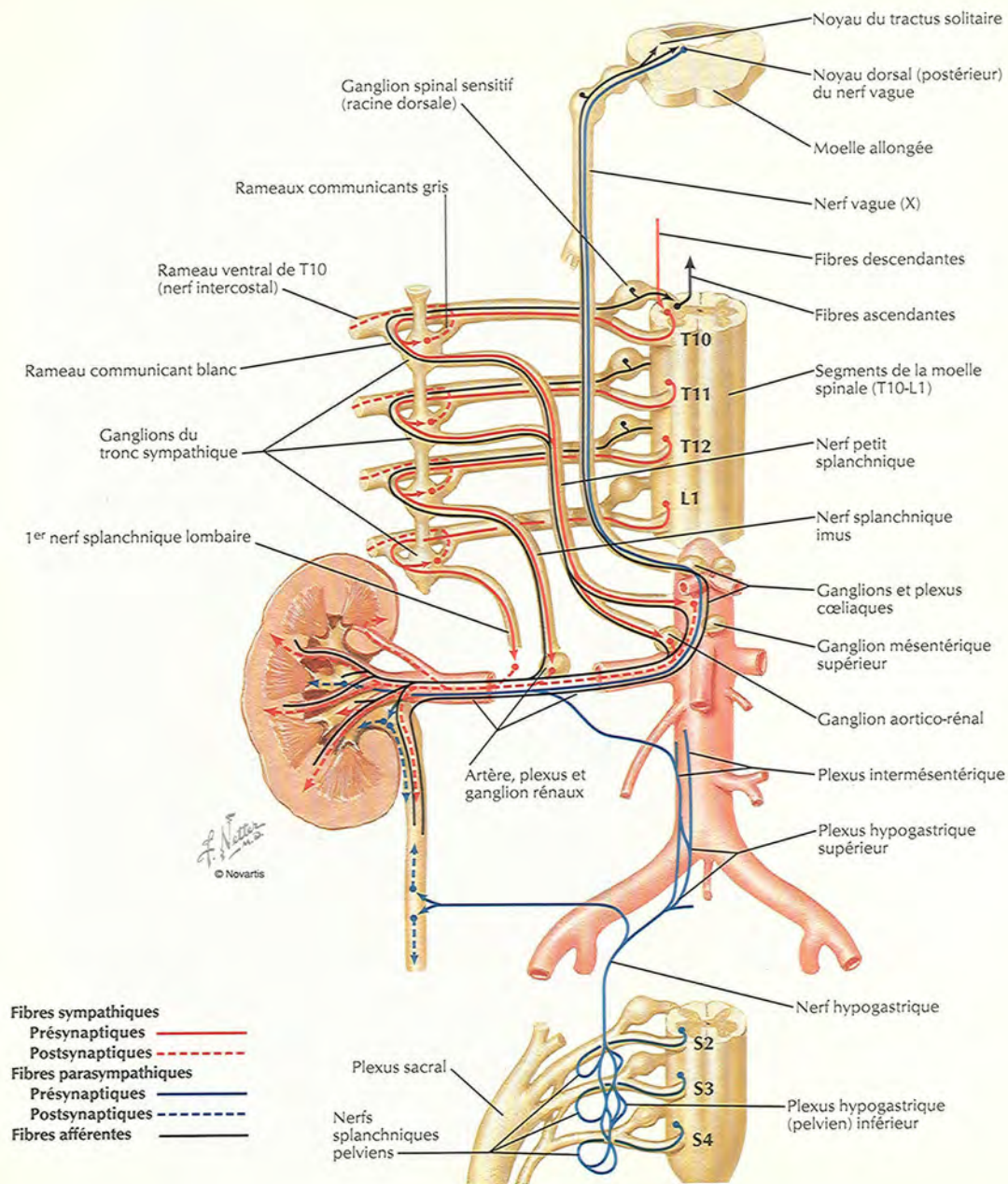




Innervation rénale



- Parasympathique:
 - Innervation cholinergique par le nerf X
 - Plexus hypogastrique
- Réflexe réno-rénal
 - Distension de l'uretère augmente le débit dans l'artère rénale contralatérale
- Sympathique
 - Contrôle du débit rénal
 - La noradrénaline a une action vasoconstrictive sur les artérioles afférentes et efférentes
- Douleurs rénales
 - Dans les dermatomes D10 – L1

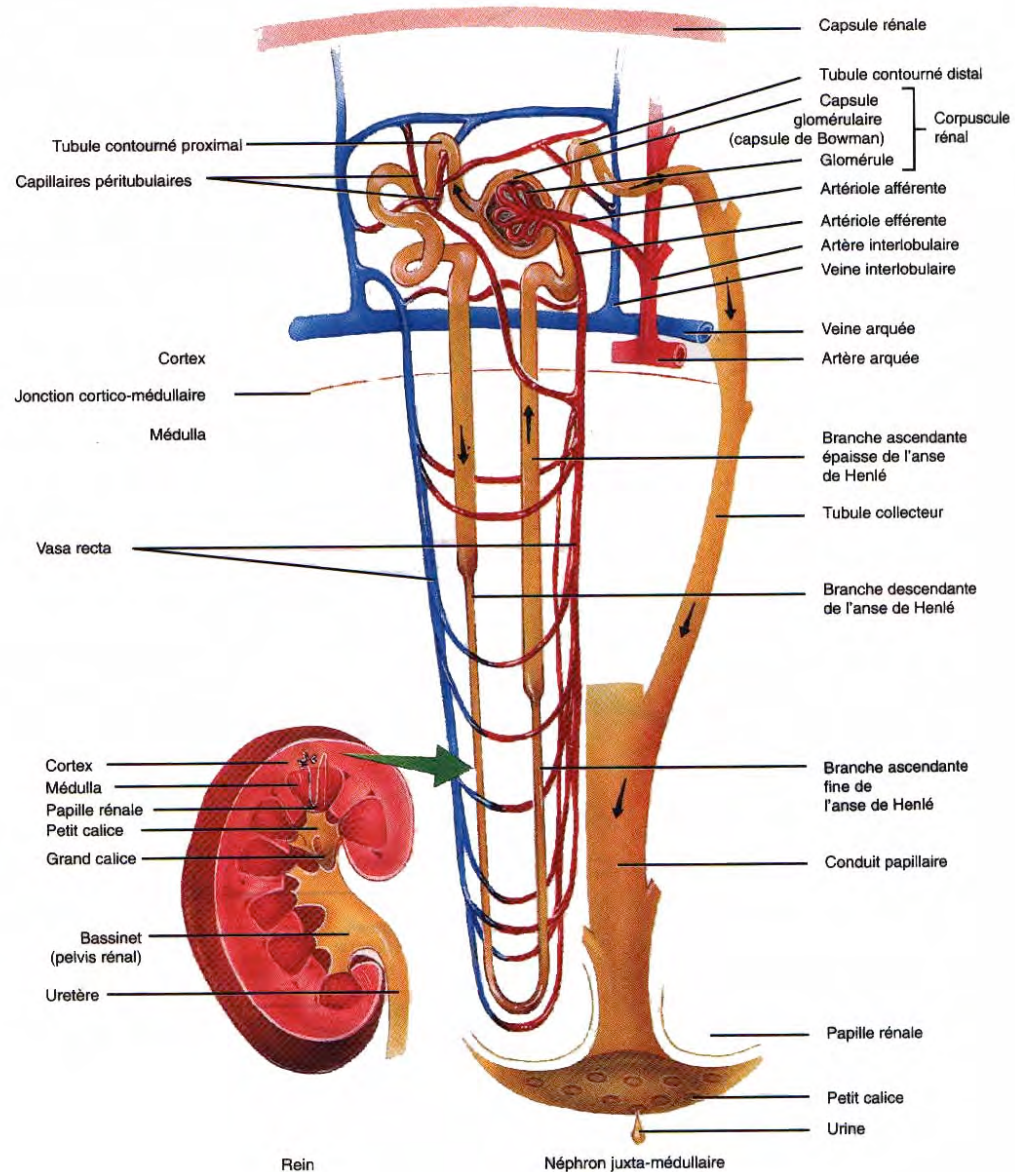


Innervation rénale



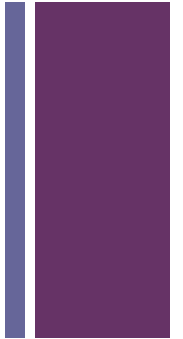
Le néphron

- Le néphron est l'unité physiologique du rein
- Nous étudierons donc le néphron pour comprendre le fonctionnement global du rein
- Mais il faut bien garder à l'esprit que le rein est constitué de plus d'un million de néphrons pour effectuer son activité physiologique





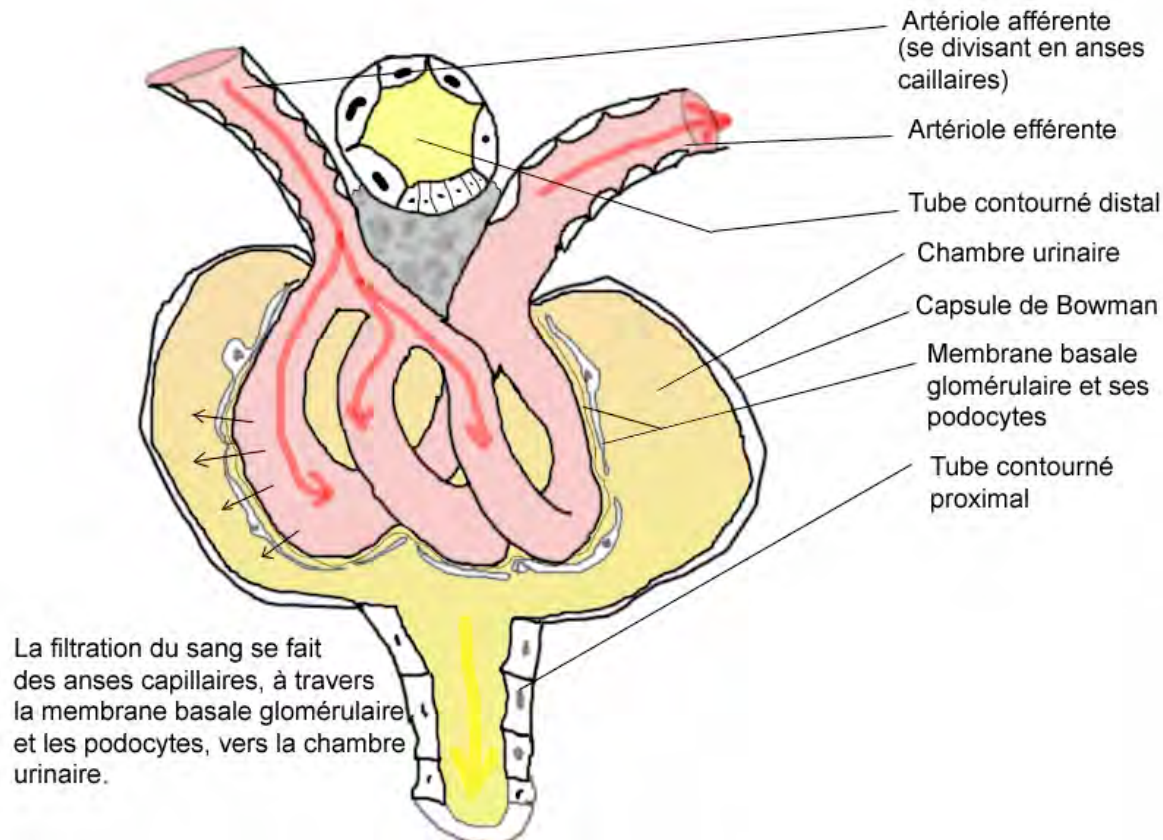
Le néphron



- Le néphron est constitué d'un corpuscule et d'un tubule rénal. Le corpuscule correspond à la partie vasculaire dont le but est d'amener le sang et de le filtrer alors que le tubule rénal est un conduit contenant le filtrat qui deviendra ensuite l'urine
- 85% des corpuscules sont contenus dans la partie corticale du rein. Chaque néphron est constitué d'une suite de tubules qui s'enfoncent profondément dans la médulla rénale
- L'appareil juxta-glomérulaire est à la jonction entre le cortex et la médulla. Nous reviendrons sur le fonctionnement de cette structure dans le paragraphe lui correspondant

+ Le corpuscule rénal

- Le corpuscule est une vésicule composée de la capsule glomérulaire rénale (capsule de Bowman) et d'un bouquet de petits vaisseaux artériels (capillaires artériels), les **glomérules rénaux**



+ La capsule de Bowman

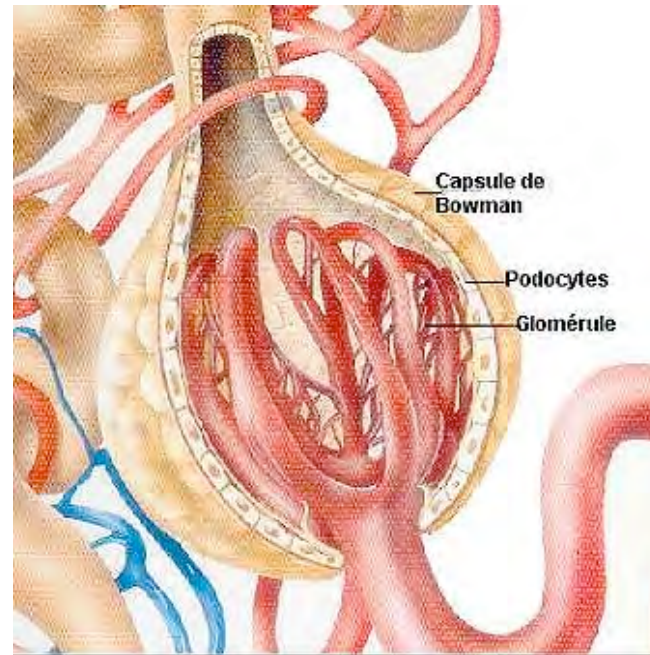
- La capsule entoure complètement le glomérule. Elle joue un rôle de protection, mais constitue aussi par quelques prolongements, des parties de la membrane de filtration
- Le corpuscule est donc constitué des artères afférentes et efférentes, de la membrane de filtration (prolongement de la capsule) qui ouvre sur la chambre de filtration. Cette structure est protégée par une capsule qui par son élasticité protège et maintient les liquides sous pression

+ La capsule de Bowman

- Comme pour les poumons, elle est composée d'un fascia pariétal (plèvre pour le poumon) qui délimite la structure externe et isole les néphrons les uns des autres, et d'un fascia viscéral attaché aux capillaires glomérulaires qui acheminent le sang depuis les artères afférentes pour que celui-ci soit filtré
- Ce tissu élastique très solide se prolonge par des podocytes (cellules à pied) qui forment une partie de la membrane de filtration glomérulaire. Le terme de « glomérule » est à rattacher à la partie vasculaire dont le but est d'acheminer le sang pour la filtration ainsi que la chambre de filtration. Le terme « corpuscule » englobe toute la partie anatomique du néphron qui s'occupe de la filtration. Dans la littérature, les deux termes sont souvent utilisés et mélangés

+ Filtrat glomérulaire

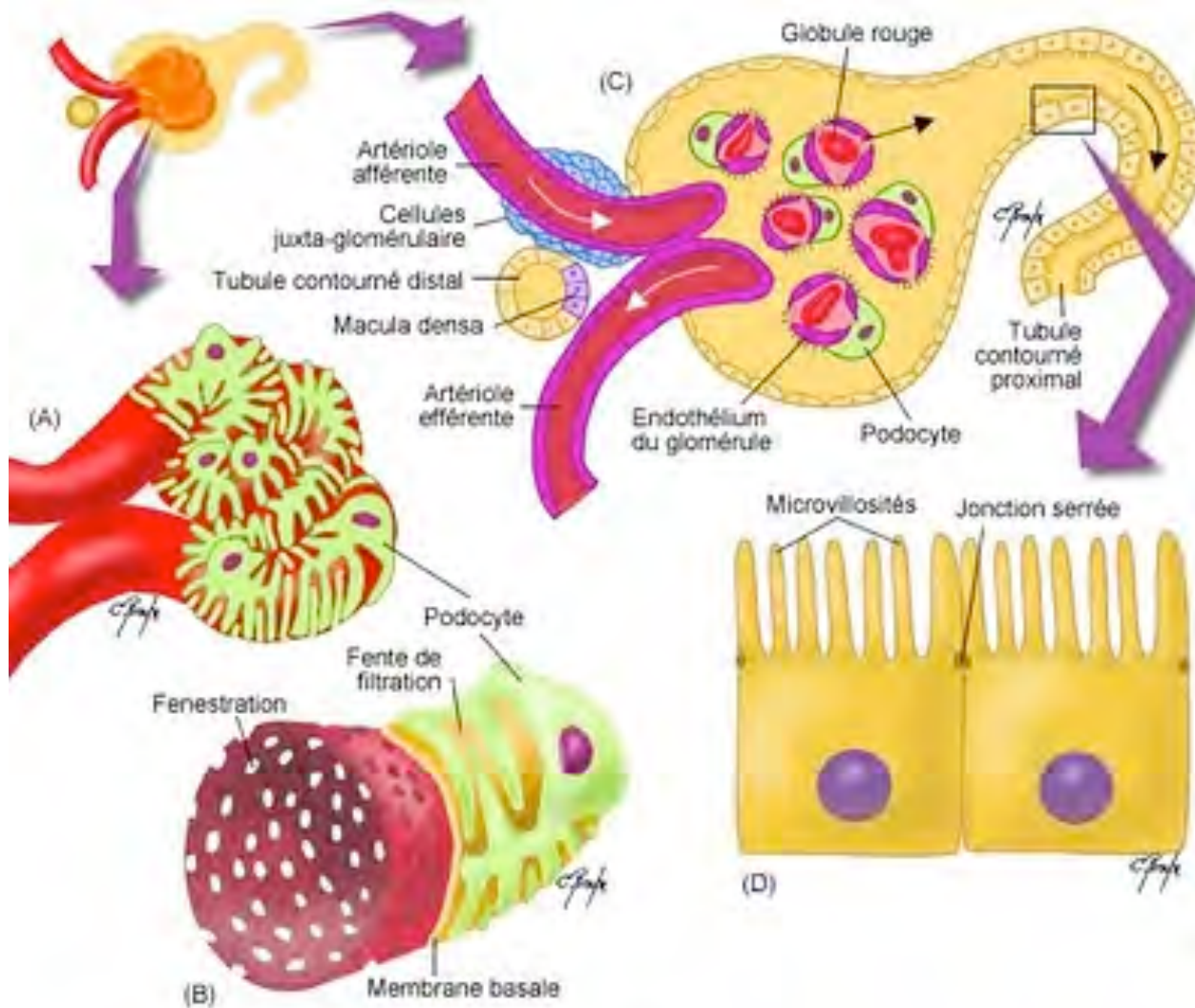
- L'endothélium (couche interne) des capillaires est fenestré (en forme de fenêtre) par des fentes de filtrations, extrêmement poreuse, laissant ainsi passer une grande quantité de liquide dans la chambre glomérulaire du corpuscule rénal. Le liquide qui passe ainsi la membrane de filtration est appelé **filtrat glomérulaire**. Il est riche en solutés (substances dissoutes dans le filtrat)



*Schéma anatomique du corpuscule rénal.
Les capillaires sanguins sont contenus à
l'intérieur de la capsule de Bowman*



Schéma du corpuscule rénal





Le tubule rénal

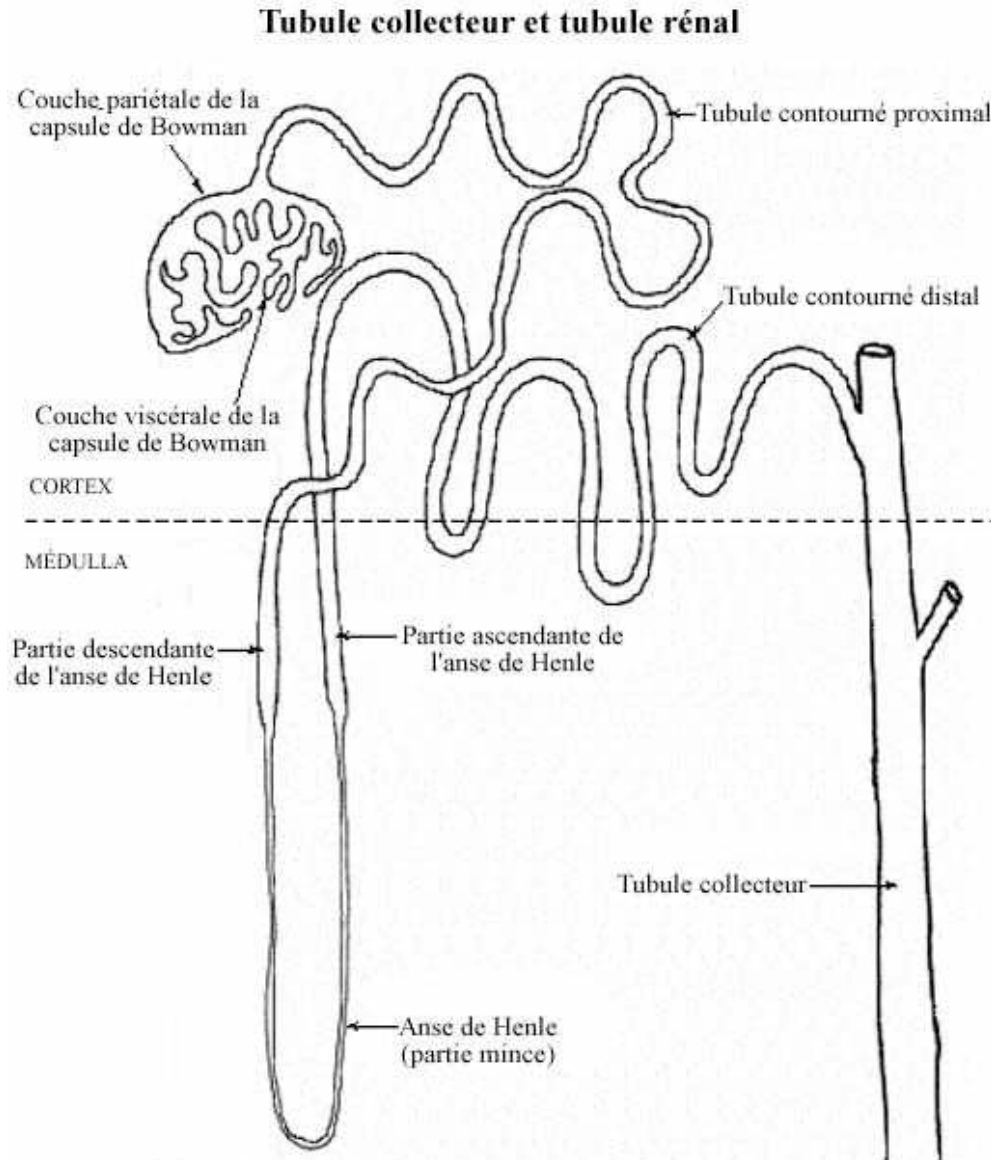
Le tubule rénal fait suite au corpuscule du néphron. Il mesure environ 3 cm. C'est un conduit sinueux divisé en quatre parties :

- Le tubule contourné proximal
- L'anse de Henlé
- Le tubule contourné distal
- Le tubule rénal collecteur. La fonction physiologique du tubule rénal est de réabsorber les substances vitales qui sont passées au travers de la membrane de filtration et se retrouvent ainsi dans le filtrat glomérulaire avec les produits du métabolisme cellulaire (principalement des dérivés azotés). Nous ne donnons ici qu'une description anatomique et histologique. Leur fonction physiologique sera définie par la suite.



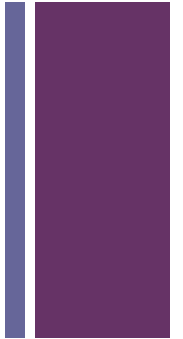


Schéma des tubules rénaux





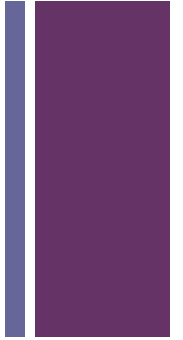
Fonction du tubule rénal



- La fonction physiologique du tubule rénal est de réabsorber les substances vitales qui sont passées au travers de la membrane de filtration et se retrouvent ainsi dans le filtrat glomérulaire avec les produits du métabolisme cellulaire (principalement des dérivés azotés)
- Nous ne donnons ici qu'une description anatomique et histologique. Leur fonction physiologique sera définie par la suite



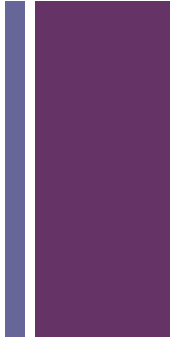
Le tubule contourné proximal



- La lumière du tubule contourné proximal est tapissée de cellules épithéliales cubiques
- Son principal rôle est de réabsorber activement les substances encore utilisables (ions, sucres, anticorps,...) qui se trouvent dans le filtrat glomérulaire
- Comme dans l'intestin grêle, de grosses villosités font saillie dans la lumière du tubule pour faciliter le contact et la réabsorption
- Le tubule est le prolongement de la chambre de filtration. Il contient donc le filtrat glomérulaire



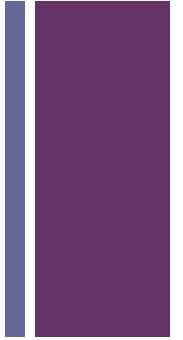
L'anse de Henlé



- L'anse de Henlé fait suite au tubule contourné proximal. Elle est composée de deux parties. Une partie descendante et l'autre montante
- La partie descendante est constituée d'un épithélium pavimenteux simple qui est perméable à l'eau (l'eau peut donc sortir de l'anse)
- La partie montante est recouverte elle d'un épithélium cubique ou cylindrique qui est imperméable (attention influence de l'ADH) à l'eau (l'eau ne peut donc pas sortir du tubule)
- Nous verrons plus en avant l'utilité physiologique de ce système pour concentrer l'urine et diminuer les pertes d'eau. L'anse se termine au tubule contourné distal



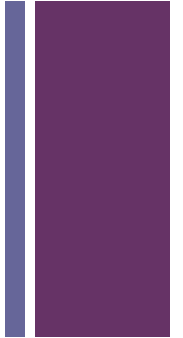
Le tubule contourné distal



- Comme son homonyme proximal, le tubule contourné distal est recouvert d'un épithélium cubique imperméable à l'eau en dehors de sécrétion hormonale d'ADH
- Son diamètre est inférieur puisqu'une grande partie de l'eau et des solutés ont été réabsorbées dans les portions proximales.
- Il est dépourvu de microvillosité



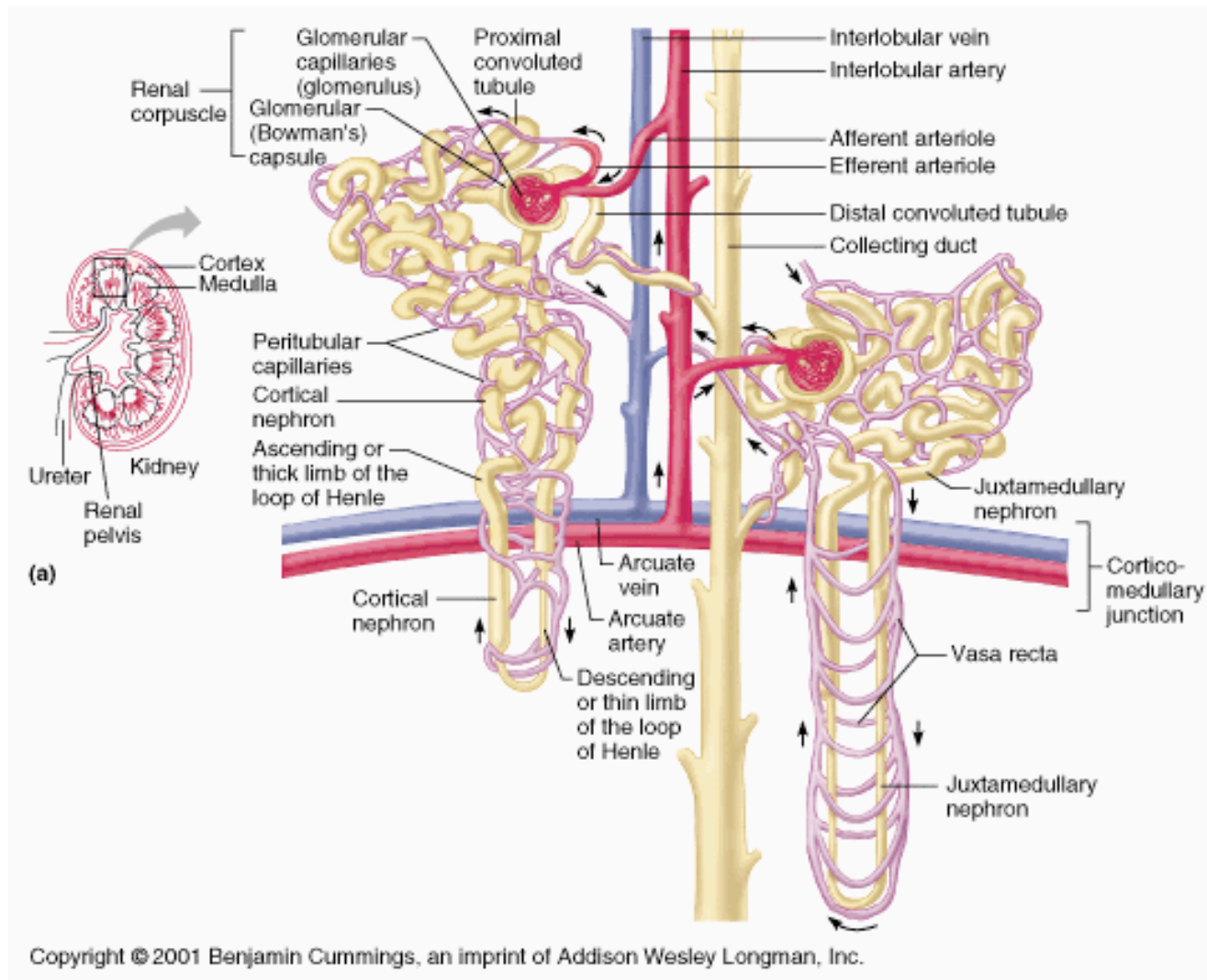
Le tubule rénal collecteur



- Il collecte le filtrat glomérulaire de nombreux néphrons afin d'acheminer vers le bassinet rénal ce qui va devenir l'urine
- A son approche, le tubule collecteur s'élargit et forme le conduit papillaire et déverse l'urine dans le calice mineur. C'est la partie terminale du néphron, même s'il collecte le filtrat glomérulaire de plusieurs néphrons

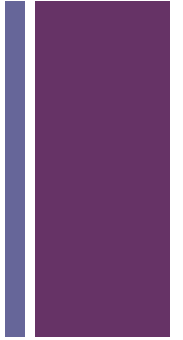


Lits capillaires du néphron





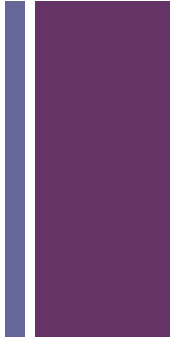
Fonction du lit capillaire



- Pour assurer sa fonction de filtration du sang, le néphron est entouré de deux lits de capillaires artériels
- Le premier lit capillaire est alimenté par les artéριοles glomérulaires afférentes (qui viennent aux glomérules) et efférentes (qui partent du glomérule)
- Ces deux artéριοles sont séparées par ce lit capillaire où se passe la filtration rénale



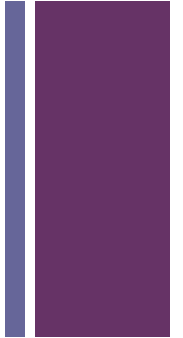
Fonction du lit capillaire



- Le sang de ces capillaires glomérulaires provient des artères rénales qui se subdivisent en artères lobaires dont le diamètre diminue de plus en plus jusqu'à devenir des artérioles afférentes
- Le diamètre des artérioles afférentes est supérieur à celui des artérioles efférentes
- La musculature lisse contenue dans les parois des artérioles (cf. chapitre : histologie des vaisseaux sanguins) permettent par vasoconstriction et vasodilatation de maintenir une pression constante dans le lit capillaire
- Cette pression est essentielle pour que la filtration se maintienne



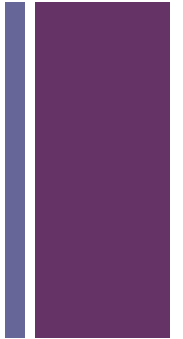
Vasa recta



- Le second lit est dit péritubulaire. Il est principalement composé d'artérioles glomérulaires efférentes qui s'enfoncent dans la médulla en entourant l'anse de Henlé et le tubule contourné proximal afin de récupérer les substances du filtrat glomérulaire réabsorbées activement. Ces vaisseaux artériels se jettent dans les veinules du réseau veineux rénal (faible pression)
- Leurs parois sont poreuses, ce qui permet de capter facilement les solutés et l'eau. Le réseau vasculaire suit donc intimement le tubule qui s'enfonce dans le rein afin de récupérer toutes les substances réabsorbées par les tubules rénaux. Ces vaisseaux sont appelés vasa recta (vaisseau droit)



L'appareil juxta-glomérulaire



- Les vaisseaux de l'appareil juxta-glomérulaire sont parallèles aux anses de Henlé. Leur paroi est mince et permet, grâce à des barocepteurs, de mesurer la pression qui règne dans les parties tubulaires des néphrons. Ils agissent sur la vasoconstriction et la vasodilatation des artérioles afférentes et efférentes pour maintenir une pression constante dans les lits capillaires
- Prenons un exemple : une foule est dense et désire entrer dans un lieu public. Pour canaliser ce flux les organisateurs ont placé des barrières en entonnoir. La pression va augmenter pour les personnes à l'entrée de l'entonnoir. Ce sont les artérioles afférentes. Plus l'angle de l'entonnoir est petit, plus la pression va augmenter

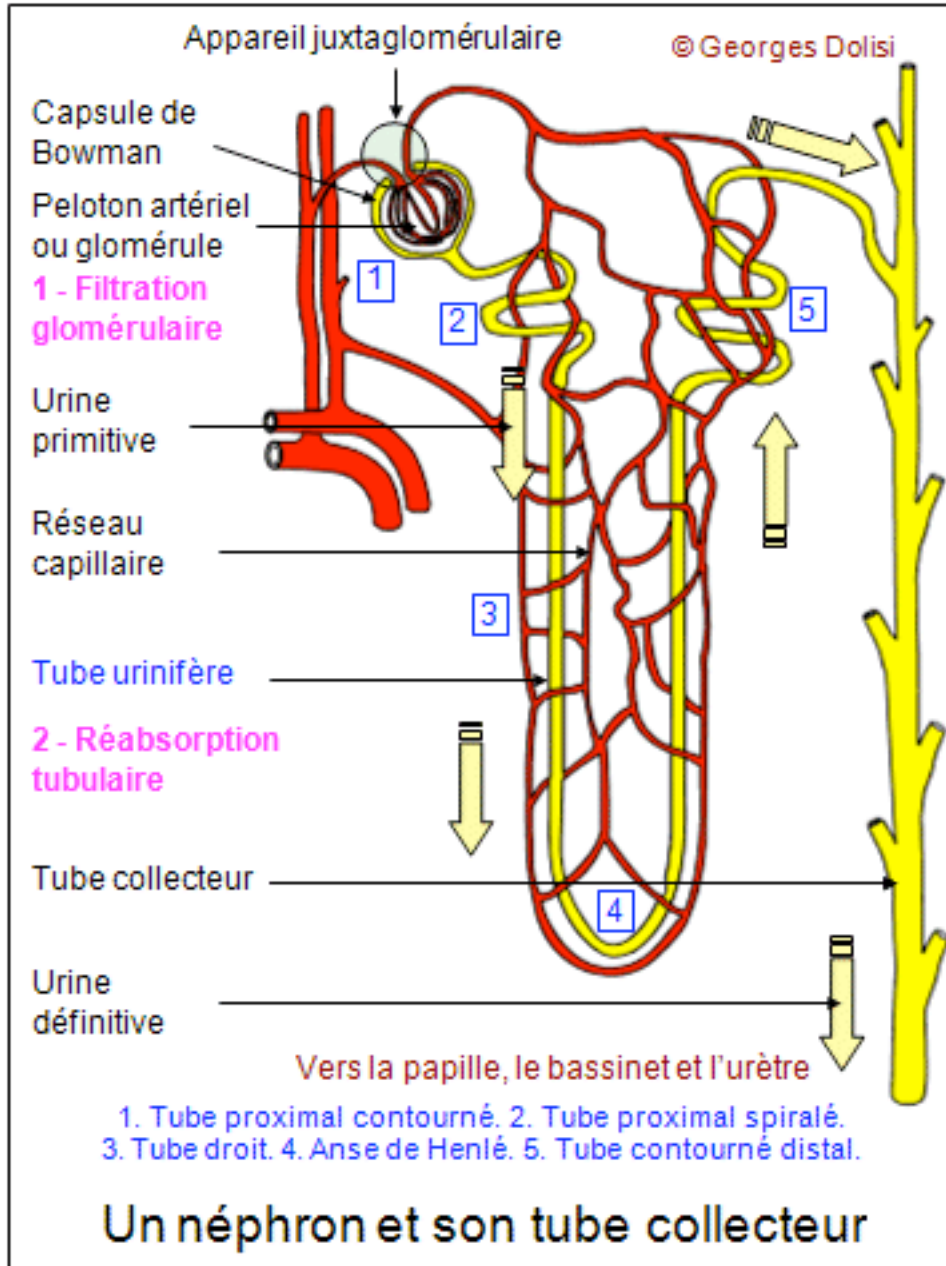
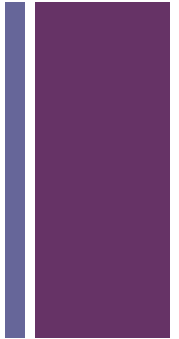
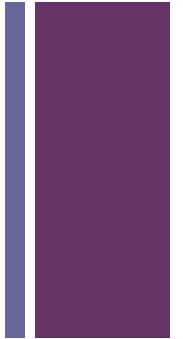


Schéma de l'appareil juxta-glomérulaire



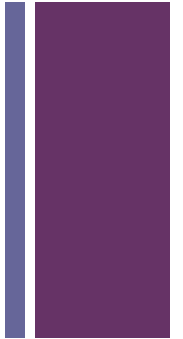
L'appareil juxta-glomérulaire



- Une fois passé le goulet d'étranglement, la pression diminue et la vitesse augmente, les personnes circulent librement à vitesse constante. Ils arrivent dans le lieu public, une grande place. La pression diminue encore. Ils sont dans le lit capillaire
- Si le nombre de personnes augmente sur la place, la pression va augmenter. Pour diminuer la pression, il faut augmenter le diamètre à la sortie de la place, pour permettre aux personnes de pouvoir sortir plus facilement. Dans ce cas là, c'est le diamètre des artérioles efférentes que l'appareil juxta-glomérulaire va changer. Si le diamètre de sortie est petit, la pression dans le lit capillaire augmente et inversement



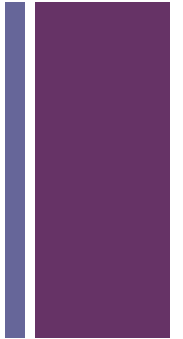
L'appareil juxta-glomérulaire



- L'appareil juxta-glomérulaire est donc une petite partie du tubule contourné distal du néphron qui vient s'appuyer sur l'artériole afférente (qui alimente le glomérule)
- La paroi de l'artériole afférente contient des cellules juxta-glomérulaires ou myo-épithéliocytes. Ce sont des cellules musculaires lisses qui agissent comme barocepteurs
- Si la pression augmente dans le tubule, les fibres musculaires sont étirées, la cellule est inhibée. A l'inverse, si la pression chute, les fibres sont moins étirées



L'appareil juxta-glomérulaire



- Les conséquences sont une libération de rénine (hormone rénale, voir système rénine angiotensine) afin de réguler la pression artérielle
- Nous reviendrons sur ce mécanisme plus en avant. Il existe d'autres récepteurs chimiques (chémo- et osmo- récepteurs) dans la macula densa (tache dense) qui analysent en permanence la concentration en solutés
- La macula densa se trouve elle aussi dans les parois du tubule contourné distal du néphron juxta-glomérulaire. Nous avons déjà vu un système identique dans le système digestif. En effet, il existe des récepteurs dans le duodénum qui analysent la pression et le contenu du chyme

+ Physiologie du rein

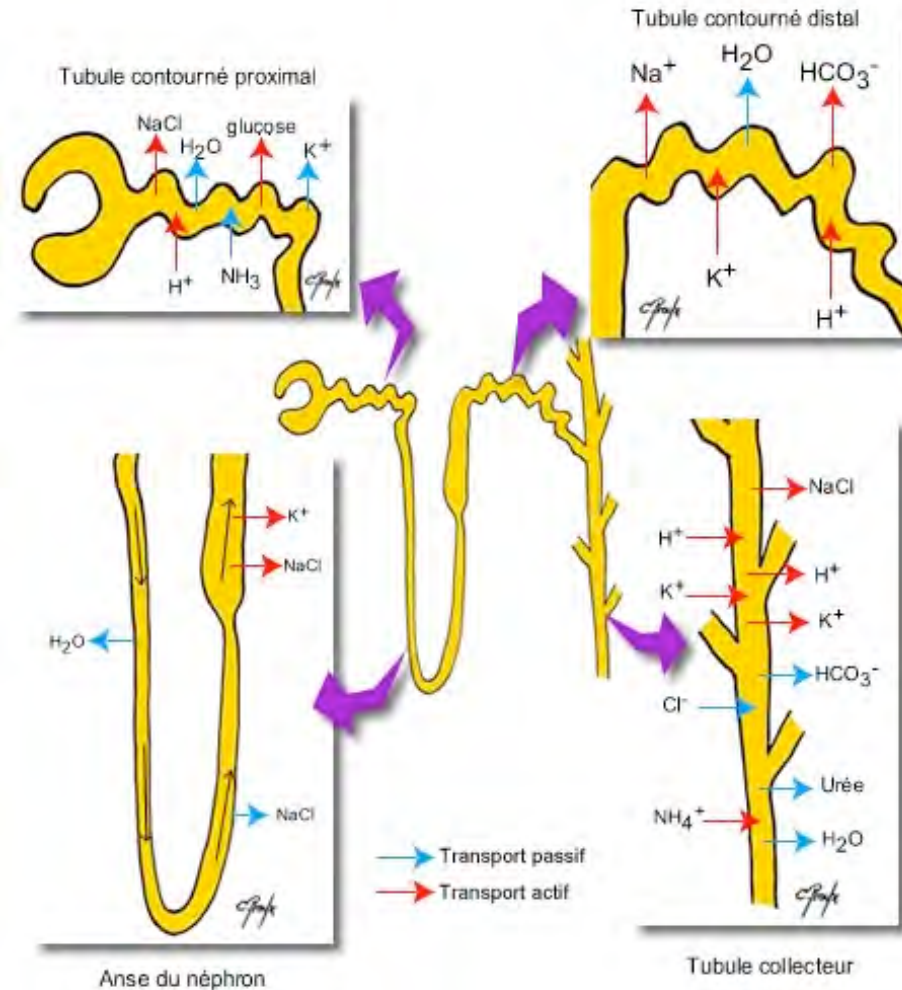
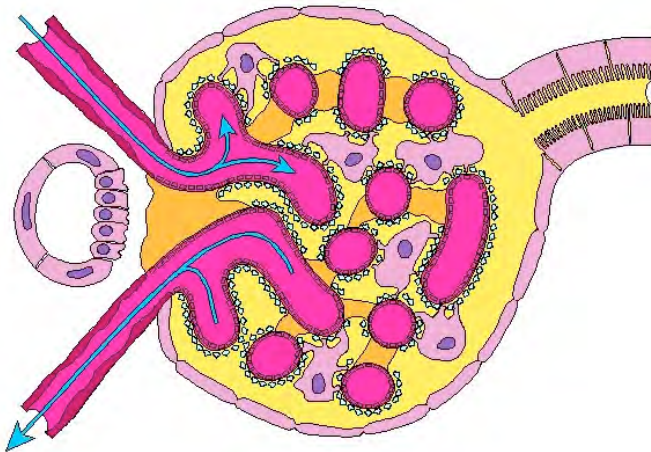
Quelques chiffres...

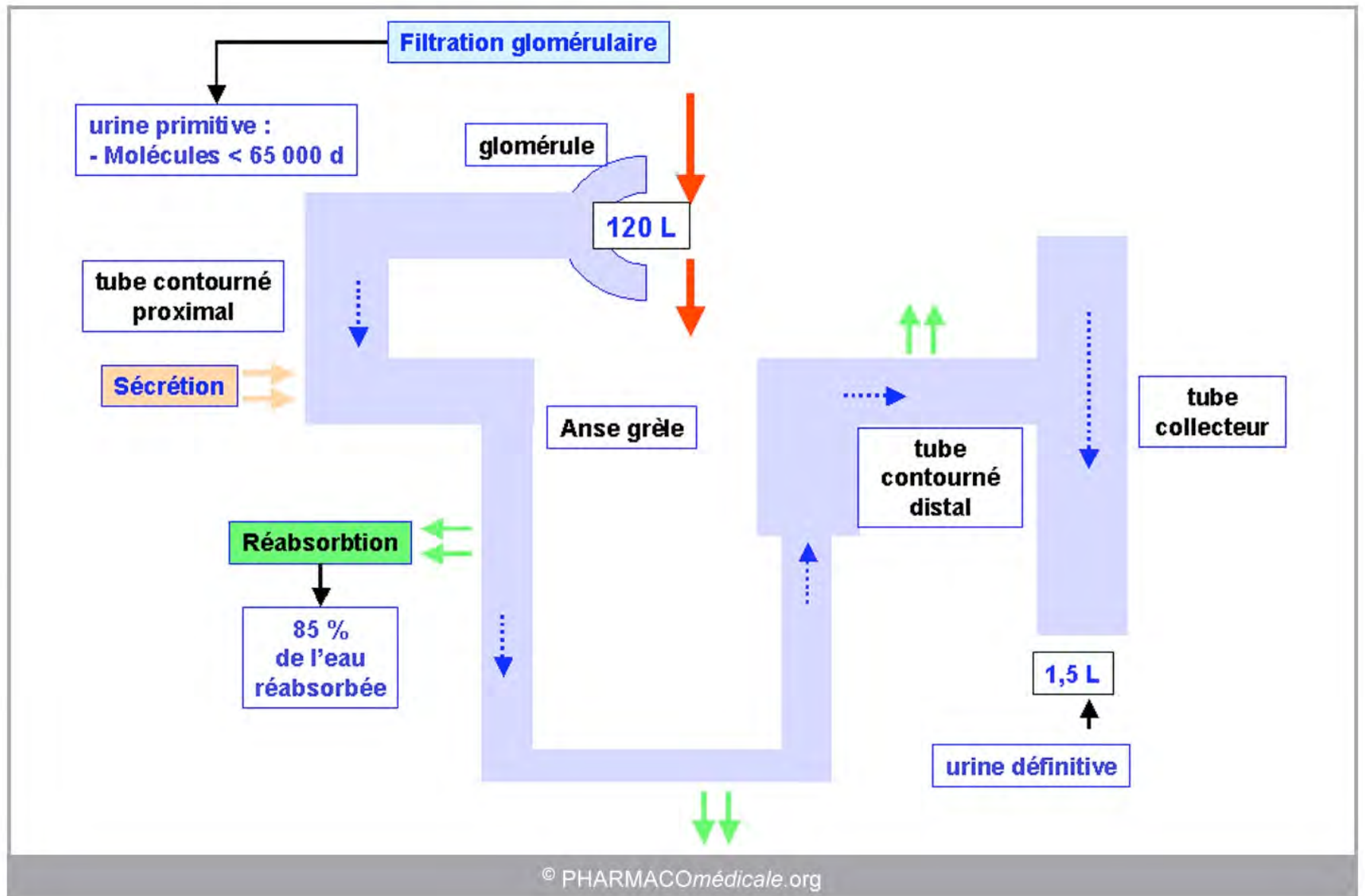
- La principale fonction du rein est donc la formation d'urine, pour éliminer du corps des déchets azotés qui proviennent du métabolisme cellulaire
- Les reins traitent quotidiennement environ 180 litres de sang. Seulement 1% est éliminé sous forme d'urine ce qui correspond à environ 1,5 litre d'urine par jour
- 1000-1200 ml de sang passent dans les reins par minute. Cela représente 650 ml de plasma. 20% de ce plasma passe au travers du filtre glomérulaire. Le plasma est donc filtré plus de 60 fois par jour

+ Physiologie du rein

Il existe trois phases dans le néphron :

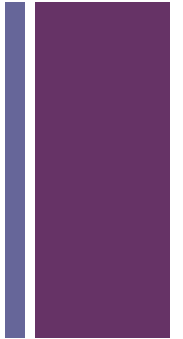
- filtration glomérulaire
- réabsorption tubulaire
- sécrétion tubulaire







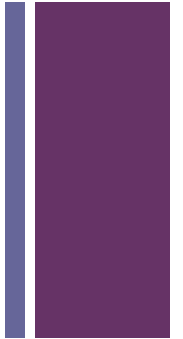
La filtration glomérulaire



- La filtration glomérulaire est un processus passif non sélectif qui dépend principalement de la pression dans le lit capillaire et de la qualité du filtre
- Les liquides ainsi que les solutés sont poussés par la pression hydrostatique (qui dépend de la pression artérielle) à travers une membrane dans la chambre glomérulaire
- La pression dans les lits capillaires du rein est plus élevée que dans les autres lits capillaires du corps. La membrane de filtration est donc perméable et la quantité de liquide qui la traverse dépend de la pression sanguine
- Cette pression est nommée **pression nette de filtration**



La membrane de filtration

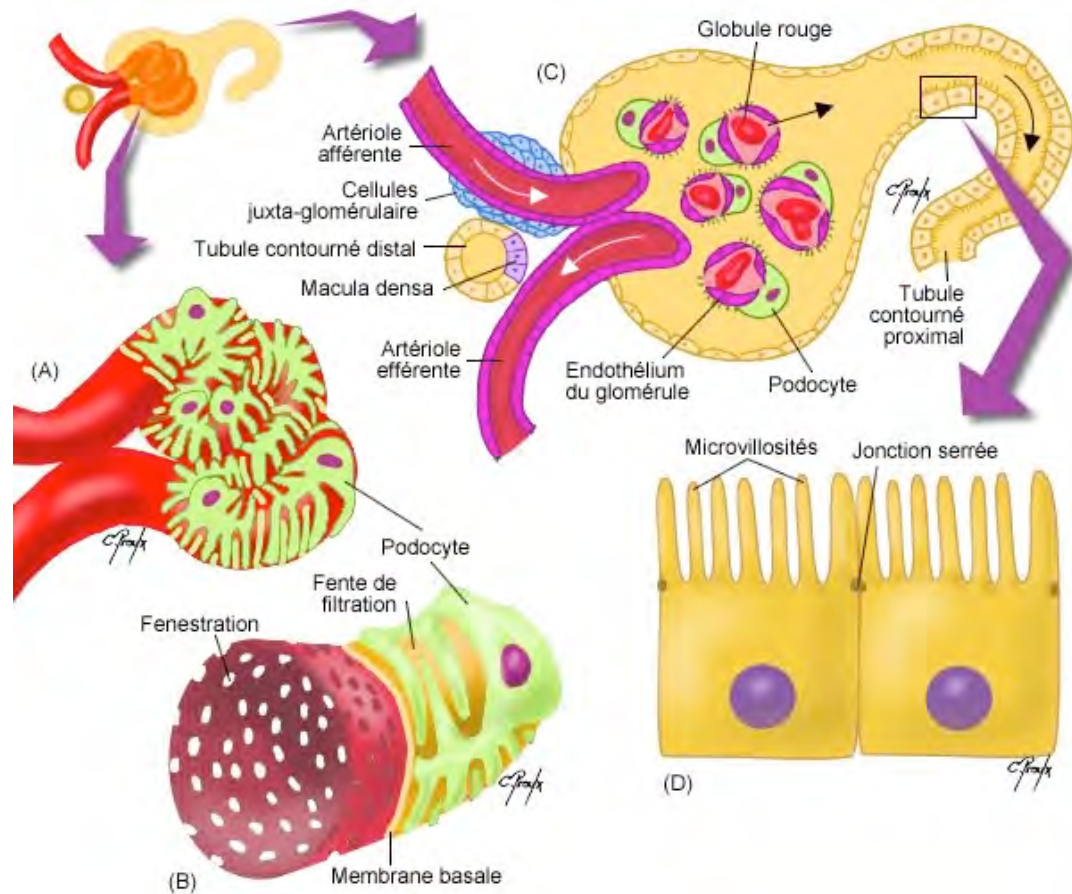


- Le but de la membrane de filtration est de laisser passer les liquides (plasma) ainsi que les petits solutés dont la taille est inférieure aux protéines plasmatiques
- Comme nous l'avons vu dans le système digestif, les protéines attirent l'eau (pression oncotique). Si elles passaient la membrane de filtration, la pression oncotique augmenterait de manière importante dans la chambre glomérulaire, ce qui attirerait une grande quantité d'eau
- Le rein doit éliminer les déchets de l'organisme, mais en utilisant le moins d'eau possible afin de préserver l'équilibre hydrique. Les pores de la membrane de filtration sont donc suffisamment petits pour ne pas laisser passer les protéines plasmatiques.

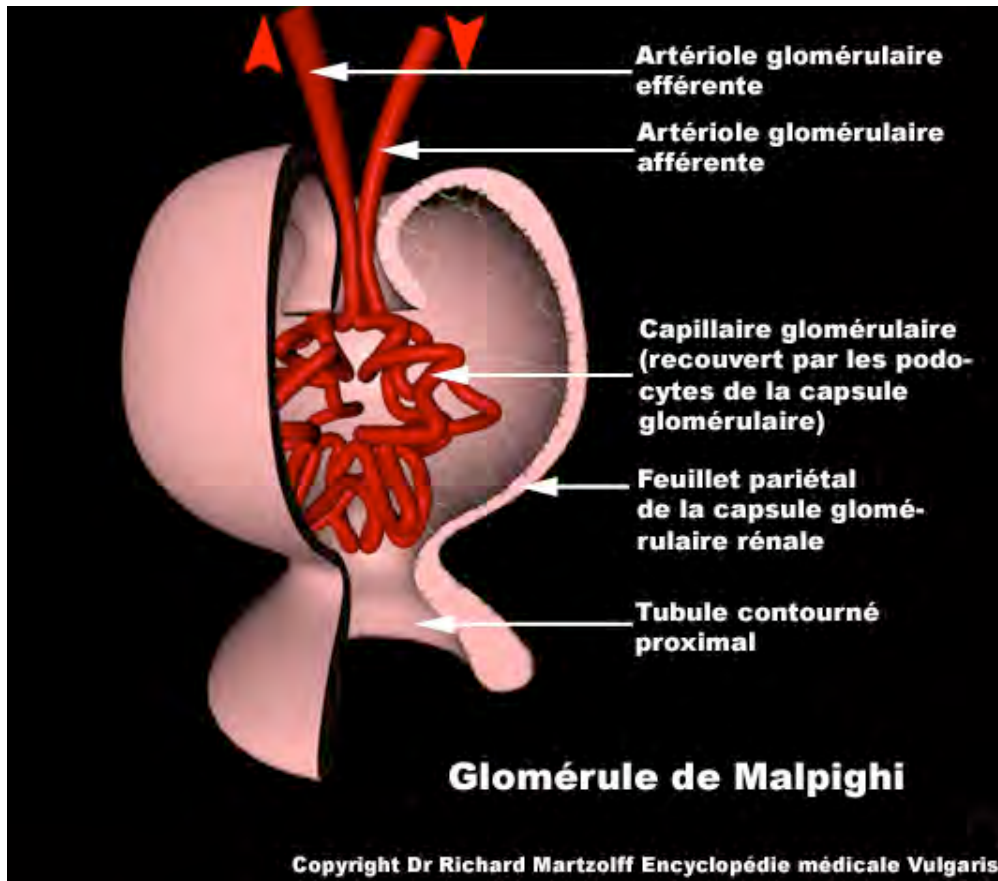


La membrane de filtration

- Comme nous l'avons vu dans la description de la capsule du rein, le feuillet viscéral de la capsule glomérulaire (podocytes) contribue à la formation de cette membrane. Elle est aussi composée d'un épithélium capillaire fenestré et d'une membrane basale
- Tout comme les protéines, les globules sanguins (blancs, rouges, plaquettes) ne peuvent pas traverser le filtre



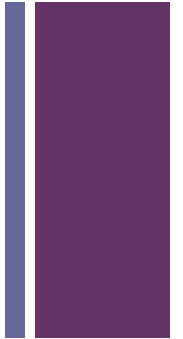
+ La membrane de filtration



- Les molécules < 3 nm : eau, glucose, acides aminés, déchets azotés, substances dissoutes dans le plasma passent aisément la membrane de filtration.
- Les molécules entre 3 et 7 nm : traversent la membrane avec difficulté
- Les molécules > 7 nm : ne passent pas, sauf en cas d'atteintes pathologiques (donc protéinuries)



Charge électrolytique de la membrane



- Les petites protéines qui peuvent passer à travers la membrane sont souvent chargées négativement. Elles vont donc repousser les ions négatifs dans les capillaires et attirer les ions positifs (K^+ , Na^+ , ...). Le filtrat glomérulaire est donc légèrement positif. Nous comprendrons plus loin l'utilité de la présence de ces ions positifs dans le filtrat glomérulaire
- Comme les grosses protéines plasmatiques (principalement l'albumine) restent dans le plasma et ne passent pas la membrane, elles vont engendrer une pression oncotique qui va empêcher tout le plasma de passer dans la chambre glomérulaire

+ La pression nette de filtration (PNF)

La pression nette de filtration (PNF) est la quantité de liquide qui va passer au travers de la membrane de filtration :

- $PNF = \text{Pression sanguine} - (\text{pression oncotique} + \text{pression capsulaire}) = 100 \text{ mm Hg (mercure)}$
- La pression sanguine dépend de la tension artérielle et de la vasoconstriction-vasodilatation de l'artériole afférente. La pression oncotique provient des protéines plasmatiques qui ne passent pas la membrane et la pression capsulaire est simplement la résistance élastique de la chambre glomérulaire
- Le débit de filtration glomérulaire est la quantité de sang qui passe dans la chambre glomérulaire en une minute.



La pression nette de filtration

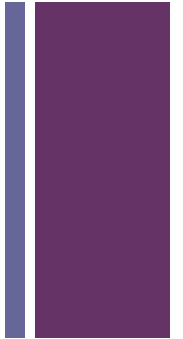
Elle dépend de trois facteurs :

- La surface consacrée à la filtration
- La perméabilité de la membrane de filtration
- La pression nette de filtration





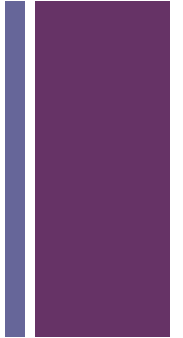
La pression nette de filtration



- La perméabilité des capillaires glomérulaires est très importante, tout comme les surfaces consacrées aux échanges. La pression nette de filtration ne doit donc pas être trop importante pour que la fonction physiologique du rein soit assurée (10 mm de mercure (Hg) suffisent pour assurer la physiologie)
- Une quantité importante de sang passe à chaque instant dans la chambre glomérulaire pour former le filtrat glomérulaire. Comme nous l'avons vu précédemment, la pression nette de filtration dépend de la pression systémique



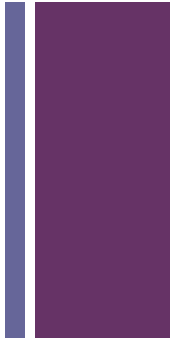
Influence du cœur sur la PNF



- Une diminution de 15% de la pression artérielle arrête complètement la filtration
- En cas de déshydratation, la concentration de protéines plasmatiques va augmenter, ce qui aura pour conséquence une augmentation de la pression oncotique
- L'eau va rester dans le plasma et ne plus traverser la membrane de filtration. Il s'en suivra une diminution importante de la formation du filtrat glomérulaire. Le débit de filtration dépend donc des différences de pressions artérielles glomérulaires
- Ces différences sont soumises à une régulation intrinsèque et extrinsèque.



Régulation de la filtration glomérulaire



- Le débit de filtration doit être constant. Il existe donc un système de régulation de la pression artérielle glomérulaire
- Si le débit de filtration augmente : l'écoulement de plasma se fait trop rapidement pour permettre la réabsorption et certaines substances habituellement réabsorbées sont éliminées
- Si le débit de filtration diminue : le filtrat est peu abondant et plus lent. Toutes les substances auront le temps d'être réabsorbées, même certaines qui doivent être éliminées
- Un ajustement précis doit donc se faire en tout temps et pour chaque néphron. Cet ajustement se fait par l'intervention de deux types de mécanismes qui agissent sur le diamètre des artéioles

+ Régulation de la filtration glomérulaire

Mécanismes intrinsèques (autorégulation rénale)

- Le système d'autorégulation rénale s'effectue par les cellules de musculature lisse vasculaire
- Si la pression artérielle systémique augmente, la musculature lisse vasculaire va s'étirer, provoquant la vasoconstriction des artérioles afférentes, diminuant ainsi la pression dans les capillaires vasculaires et donc dans la chambre de filtration puis dans les tubules
- Si la pression artérielle systémique diminue, la musculature lisse vasculaire se dilate, augmentant ainsi le débit sanguin

+ Régulation de la filtration glomérulaire

Mécanismes intrinsèques (autorégulation rénale)

- De plus, il y a un système de régulation dirigé par les cellules de la macula densa (tache dense) de l'appareil juxta-glomérulaire
- Ces cellules sont sensibles aux variations de pression, mais aussi, aux variations osmotiques (Na^+ , Cl^-)
- Une diminution du débit sanguin ou une faible osmolalité va provoquer une vasodilatation; une augmentation du débit ou forte osmolalité provoque une vasoconstriction des artérioles afférentes

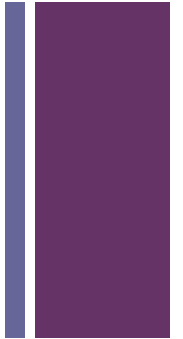
+ Régulation de la filtration glomérulaire

Mécanismes extrinsèques (nerveux et hormonaux)

- Le système nerveux peut prendre le dessus sur le système d'autorégulation rénale
- En cas de stress, le sang doit être acheminé vers le cœur, l'encéphale et les muscles
- Le second système régulateur (hormonal) est le **système rénine angiotensine** qui va lui influencer la pression systémique qui joue un rôle essentiel dans le maintien d'une pression optimale dans le glomérule rénal
- La libération de rénine puis d'angiotensine II va conduire à une vasoconstriction périphérique, ce qui va conserver le sang vers les organes cibles



Le système rénine angiotensine

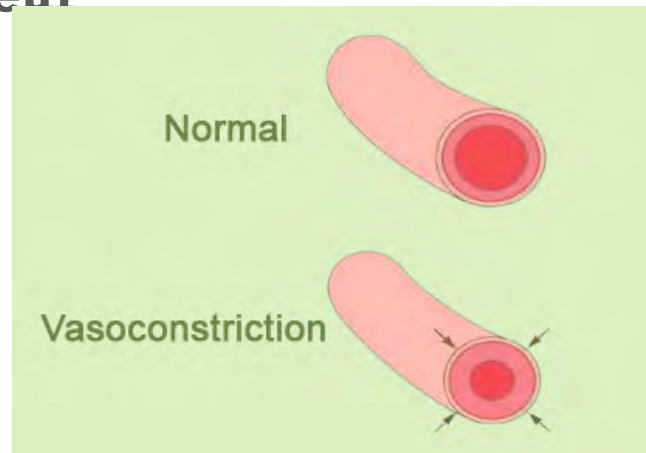


- Lorsque la pression artérielle passe en dessous des 80mm Hg (mercure), les cellules de la macula densa de l'appareil juxta-glomérulaire relâchent une hormone appelée la rénine
- Ces mêmes cellules vont provoquer la contraction des artéioles afférentes. Elles sont aussi sous l'influence du système nerveux sympathique. La rénine a donc un effet hypertenseur
- Il est donc normal que son relâchement soit sous la coupole du système nerveux sympathique. En cas de stress, l'organisme passe sous la dominance sympathique qui va préparer le corps pour une réponse : la lutte ou la fuite. Il s'en suivra obligatoirement une augmentation de la pression artérielle



Le système rénine angiotensine

- Une fois libérée dans la circulation sanguine, la rénine va activer des angiotensinogènes (précurseurs de l'angiotensine synthétisée dans le foie) présents dans le plasma
- L'angiotensinogène va après être clivé en angiotensine I, puis dans le poumon en angiotensine II qui est un puissant **vasoconstricteur**





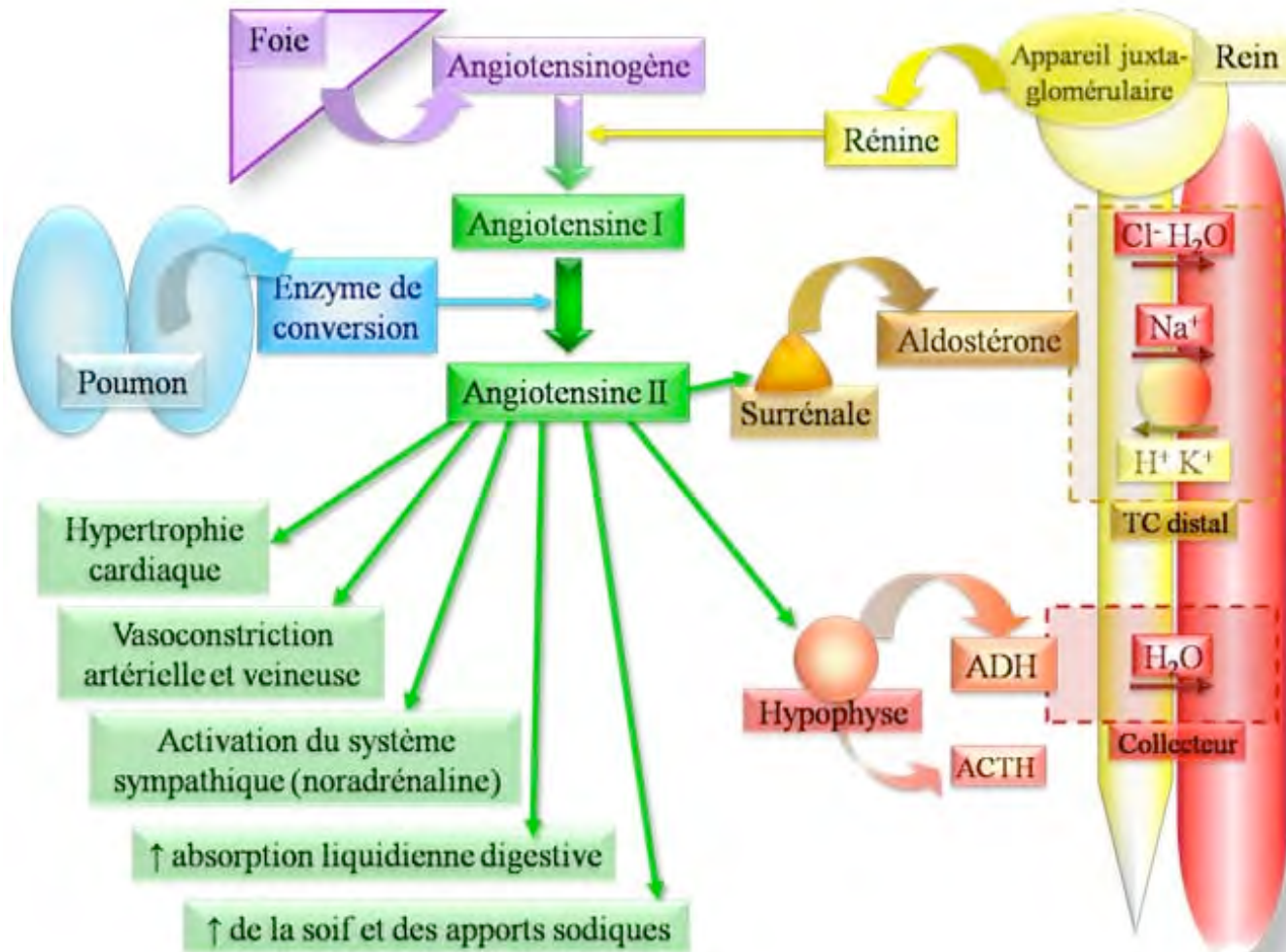
L'angiotensine

L'angiotensine va avoir essentiellement trois actions physiologiques dont le but est une augmentation de la tension artérielle.

- Action sur les glandes corticosurrénales et **libération d'aldostérone**. L'aldostérone est une hormone qui agit sur les tubules rénaux et retient le Na^+ et donc par osmose l'eau, ce qui fait augmenter la pression sanguine. Nous verrons son action plus en détail dans le dernier paragraphe
- **Vasoconstriction de la musculature lisse vasculaire périphérique**, ce qui aura pour conséquence une augmentation de la résistance périphérique. La pression systémique va augmenter
- **Constriction des artérioles glomérulaires efférentes**, ce qui implique une augmentation de la pression dans les capillaires glomérulaires et une augmentation du débit de filtration (ce dernier point est soumis à controverse)
- Le système rénal maintient une pression constante dans les glomérules pour autant que la tension artérielle se maintienne entre 80 et 180 mm Hg. Si la tension artérielle chute en dessous de 50 mm Hg, il n'y a plus de filtration possible. Le corps commence à ne plus éliminer ses déchets



+ Schéma du système rénine angiotensine



+ La réabsorption tubulaire

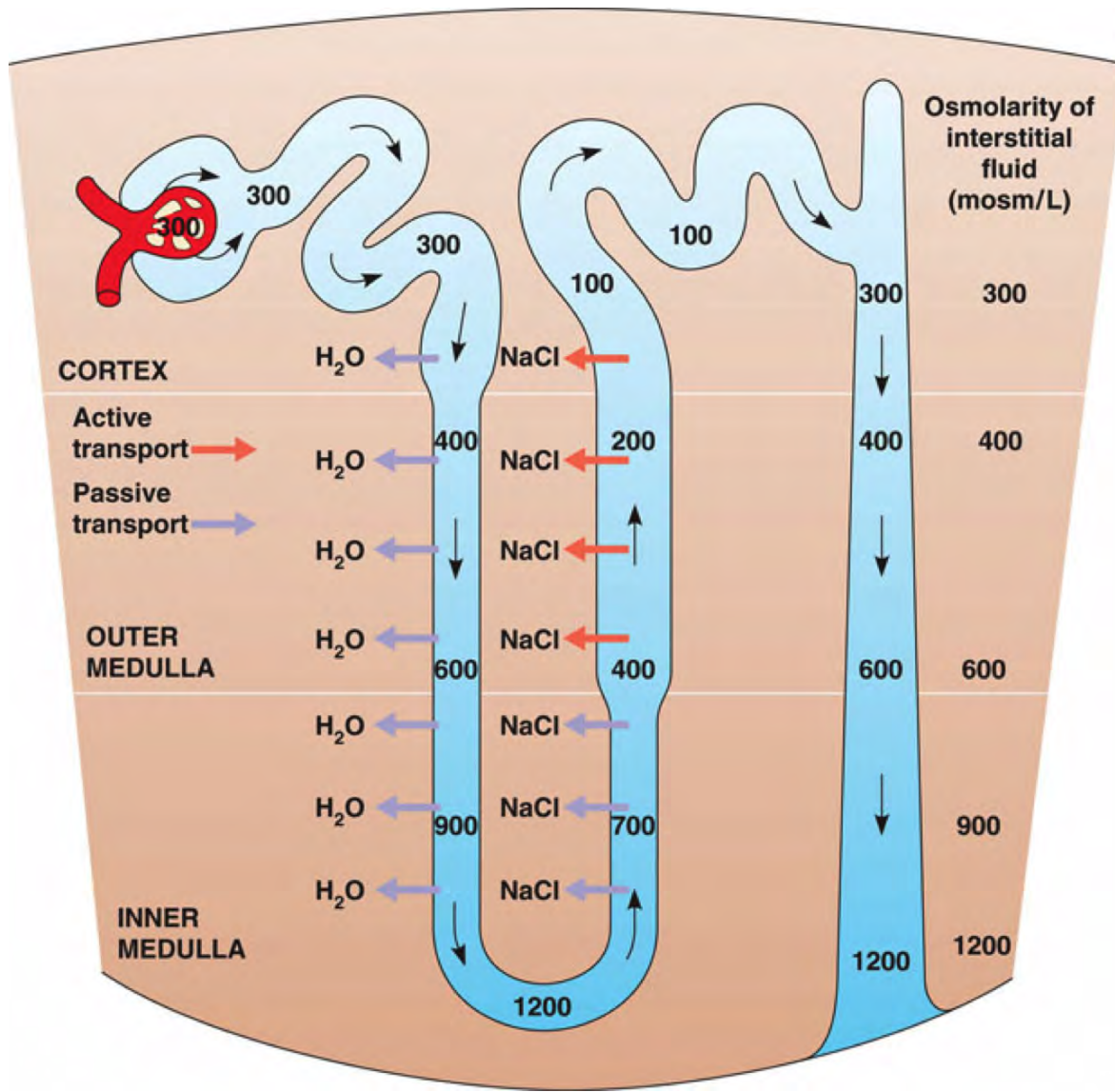
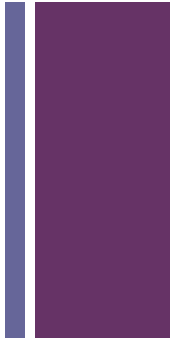


Schéma du corpuscule rénal et du mécanisme qui mène à la concentration des urines dans les tubules rénaux. L'eau peut sortir uniquement dans la partie descendante de l'anse de Henlé. La concentration (osmolarité) augmente du cortex à la médulla. Les vasa recta sanguins n'ont pas été représentés sur ce schéma.



La réabsorption tubulaire



- Comme nous l'avons déjà cité, la réabsorption tubulaire, qu'elle soit active ou passive, a pour but d'empêcher l'élimination des solutés présents dans le filtrat glomérulaire qui sont utiles pour l'organisme
- Les reins sains réabsorbent presque tous les nutriments de l'organisme (glucose, acides aminés,...)
- La réabsorption de l'eau et des ions est principalement sous la coupole du système hormonal



La réabsorption tubulaire

La réabsorption active



- Comme tous les mécanismes actifs, la réabsorption active nécessite de l'ATP et va contre le gradient de concentration ou la force de répulsion due à une charge électrique
- Comme nous l'avons vu à plusieurs reprises dans ce cours, la nature tend toujours vers un équilibre. Les substances vont toujours diffuser passivement de la concentration la plus importante vers la moins importante
- Généralement, les substances diffusent passivement du filtrat vers le cytoplasme des cellules de la muqueuse des tubules rénaux



La réabsorption tubulaire

La réabsorption active



- Par contre, l'éjection dans le liquide interstitiel se fait par transport actif. Pour finir, le passage dans le sang se fait par diffusion simple
- Nous rappelons ici que les protéines n'ont pas traversé la membrane de filtration. Il existe donc une pression oncotique importante dans les capillaires artériels (vasa recta) qui entourent les tubules rénaux
- Celle-ci est due à la propriété des protéines d'avoir une légère charge négative
- La pression hydrostatique qui règne à l'intérieur de ces vaisseaux est faible n'opposant que peu de résistance à la réabsorption d'eau



La réabsorption tubulaire

La réabsorption active



- Le glucose, les acides aminés, l'acide lactique, les vitamines et les ions nécessitent un transporteur spécifique pour pouvoir être réabsorbés
- Ces substances se fixent sur un récepteur protéique de la membrane plasmique qui les transporte en même temps que les ions sodium (Na^+)
- Comme déjà mentionné, le filtrat est légèrement chargé positivement (plus de ions positifs Na^+ , K^+ , ...)
- 80% de l'énergie utilisée pour le transport actif est pour la réabsorption de ces ions positifs, qui sont indispensables pour la réabsorption des autres substances



La réabsorption tubulaire

La réabsorption active



- Il existe un taux maximal de réabsorption qui est proportionnel aux nombres de protéines de transport présentes sur la membrane plasmatique
- En général, les substances qui sont indispensables pour l'organisme ont une grande quantité de transporteurs, alors que ceux-ci sont rares pour les substances qui doivent être éliminées
- Nous comprenons ici l'influence du temps de passage du filtrat dans les tubules
- Si ce temps est important, les transporteurs ont le temps de se régénérer, ce qui a pour conséquence une réabsorption des substances qui devraient être éliminées.



La réabsorption tubulaire

La réabsorption active



- Les reins participent donc aussi au maintien de la concentration plasmatique des éléments du sang
- Si la glycémie (taux de sucre dans le sang) est trop importante, une quantité importante de glucose va se trouver dans le filtrat
- Les transporteurs, une fois saturés, ne pourront plus réabsorber les sucres qui vont être éliminés dans l'urine, ce qui va abaisser la glycémie



La réabsorption tubulaire

La réabsorption passive



- La réabsorption des Na^+ par transport actif instaure un gradient électrochimique qui favorise la diffusion passive des ions négatifs HCO_3^- et Cl^- puisque les charges positives attirent les charges négatives
- Pour que l'équilibre des charges électriques se maintienne l'eau doit suivre le Na^+ par osmose. Ce qu'il est important de retenir, c'est que l'eau suit toujours le Na^+ et les protéines
- Une diminution de l'eau contenue dans la lumière des tubules rénaux va augmenter la concentration des substances présentes. La concentration sera plus importante dans les tubules que dans les cellules de la muqueuse



La réabsorption tubulaire

La réabsorption passive

- Les substances (liposolubles) comme les acides gras, les médicaments, mais aussi certains toxiques vont donc diffuser passivement vers la muqueuse puis dans le plasma sanguin, afin de maintenir un équilibre
- Les substances qui ne sont pas réabsorbées n'ont pas de transporteur, ou ne sont pas liposolubles ou sont trop grosses pour passer la membrane. Ces substances sont les produits azotés (nitrates, nitrites) comme l'urée, l'acide urique et la créatine.



+ Capacités d'absorption des différentes parties du tubule rénal

Le tubule contourné proximal

- Les cellules du tubule contourné proximal sont les plus actives. Le glucose et les acides aminés sont réabsorbés en totalité alors que Na^+ ne l'est qu'à 80%
- Les ions K^+ (potassium) et l'acide urique sont totalement réabsorbés pour être ensuite à nouveau sécrétés dans la lumière du tubule rénal
- Comme nous le verrons plus loin, l'ensemble des mécanismes de captage de certains ions est sous le contrôle du système endocrinien

+ Capacités d'absorption des différentes parties du tubule rénal

L'anse de Henlé

- La perméabilité est la capacité d'une membrane à laisser passer un liquide. La perméabilité dans l'anse de Henlé varie suivant ses portions anatomiques
- Dans la partie descendante, l'eau peut sortir de la lumière du tubule, mais pas dans la partie ascendante. Elle est dite imperméable. Par contre, la partie montante est richement pourvue de pompes à ions qui captent les ions Na^+ et Cl^- sans que l'eau puisse s'échapper
- Ce système permet de concentrer l'urine en fonction des besoins. Nous reviendrons sur ces mécanismes ultérieurement. La réabsorption dans le tubule contourné distal est fortement liée au système hormonal, alors que dans le tubule proximal, elle dépend essentiellement de la vitesse et de l'abondance du filtrat ainsi que du nombre de transporteurs protéiques.

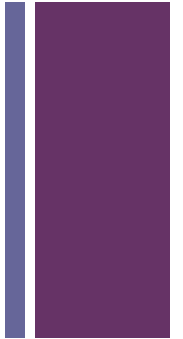
+ Capacités d'absorption des différentes parties du tubule rénal

L'anse de Henlé

- Au besoin, sur libération importante d'aldostérone, la totalité du Na^+ et de l'eau peut être réabsorbée dans cette portion du tubule. L'aldostérone va donc stimuler les cellules du tubule contourné distal à produire des protéines de transport pour le Na^+
- S'il existe une quantité importante de pompe à Na^+ , une grande quantité de Na^+ va être réabsorbée par le corps. L'eau suit le Na^+ , ce qui aura pour conséquence une concentration de l'urine
- Une très faible quantité de Na^+ est perdue dans l'urine. L'aldostérone est vitale pour l'organisme, car sinon les pertes en eau dans les urines seraient bien trop importante pour le maintien de l'homéostasie.



Capacités d'absorption des différentes parties du tubule rénal

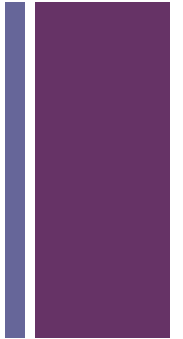


- La réabsorption de Na^+ est associée à la sécrétion de K^+ et de H^+ . Les pompes sont des pompes Na^+/K^+
- Lorsqu'un ion sodium est absorbé, deux potassiums sont relâchés dans la lumière du tube, ainsi qu'un certain nombre de ions acides
- L'aldostérone joue donc un rôle dans le maintien de la concentration plasmatique de sodium (natriémie) et de potassium (kaliémie)
- Finalement, le facteur natriurétique auriculaire (que nous avons vu dans le système cardiovasculaire) et l'ADH joue un rôle important sur la réabsorption d'eau dans les tubules rénaux. L'ADH (Anti Diurétique Hormone) est libérée dans l'hypophyse.

+ Sécrétion tubulaire

- La sécrétion se fait principalement dans le tubule contourné proximal et le tubule rénal collecteur. Il faut éliminer les substances qui ont été réabsorbées comme l'urée et une partie de l'acide urique, certains médicaments liposolubles
- Le potassium ainsi que les ions acides (H^+) doivent aussi être éliminés de l'organisme
- Le rein joue donc un rôle dans le maintien des équilibres acido-basique (pH) et électrolytiques (ions) du sang. Pour diminuer le pH sanguin, le rein va absorber beaucoup de ions H^+ qui seront accompagnés de ions chlorure Cl^-

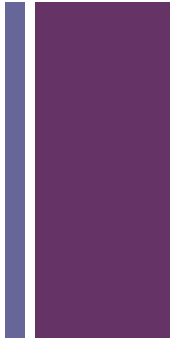
+ Sécrétion tubulaire



- En contrepartie, il libérera des ions bicarbonates (HCO_3^-)
- Pour augmenter le pH sanguin, le rein va libérer des ions H^+ au niveau urinaire, tandis que K^+ et HCO_3^- seront retenus dans l'organisme
- Il existe donc en tout temps un équilibre entre ces différents ions. Le pH sanguin est donc régulé par les reins, mais aussi par les poumons
- La sécrétion rénale est aussi importante dans l'élimination des déchets que la filtration. En effet, certaines substances toxiques ne sont pas filtrées dans le glomérule mais sont directement excrétées dans le tubule collecteur pour être ensuite éliminées dans les urines
- C'est le cas de la péniciline



Eau, le sodium et le chlore



- Les glomérules rénaux filtrent quelques 180 litres de plasma par 24 heures qui contiennent 1,5 kg de chlorure de sodium (NaCl ou sel de cuisine)
- A la fin de son trajet dans les tubules rénaux, 99% de cette eau a été réabsorbée, 1% est excrétée
- Cette proportion peut fortement varier en fonction des conditions internes: urine concentrée/diluée, déshydratation, hyperhydratation, diarrhée, vomissement, hémorragie,...



Eau, le sodium et le chlore

Parcours dans le glomérule rénal

- Dans le glomérule rénal, le sodium et le chlore sont totalement filtrés

Dans le tubule contourné proximal

- 75% du sodium est réabsorbé de manière active
- La réabsorption de chlore est couplée avec celle du sodium
- L'eau suit naturellement le sodium
- La concentration du filtrat glomérulaire augmente



Eau, le sodium et le chlore



Dans l'anse de Henlé

- Dans la branche descendante:
- Le sodium n'est pas réabsorbé à ce niveau
- De même pour le chlore
- Seule élément du tubule qui ne réabsorbe pas le sodium, ce qui contribue à maintenir un gradient de concentration entre le cortex et la médulla rénale

Dans l'anse de Henlé

- Dans la branche ascendante
- Le sodium est activement réabsorbé, tout comme le chlore
- Cette partie de la branche est imperméable à l'eau



Eau, le sodium et le chlore

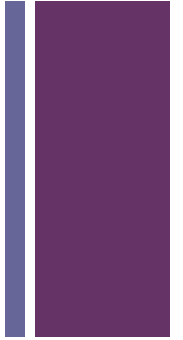
Parcours dans le tubule distal et collecteur



- L'urine qui parvient au tube contourné distal contient 10 à 20% de sodium, l'urine est donc diluée
- À cet endroit, le transport actif de sodium par la création de pompe Na/K ATP est sous le contrôle de l'aldostérone
- La perméabilité du tube à l'eau est sous le contrôle de l'ADH
- C'est à cet endroit qu'en fonction de besoins interne, le corps va décider de concentrer l'urine en libérant massivement de l'aldostérone et de l'ADH ou de diluer cette dernière en inhibant la libération d'ADH
- Le facteur le plus déterminant de ce phénomène est le bilan hydrique de la personne. La personne est-elle bien hydratée?



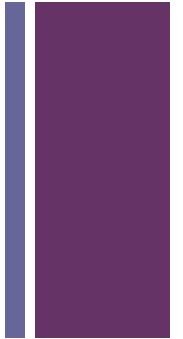
Physiopathologie du sodium et de l'hypertension



- En cas de régime hypersodé la concentration du filtrat glomérulaire va être trop importante, ayant pour conséquence une entrée d'eau dans les tubules. L'urine sera fortement diluée avec un risque important de perte d'eau massive
- Les reins vont répondre à cela en réabsorbant totalement le sodium intra tubulaire, sous l'effet de l'aldostérone libérée en grande quantité. L'eau va suivre, augmentant ainsi le volume circulant, menant inévitablement à une hypertension artérielle si cette augmentation de l'apport de sodium devient habituelle



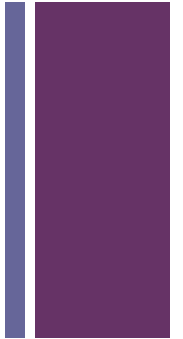
Influence de la kaliémie (concentration du ion potassium)



- La concentration sanguine de potassium, kaliémie varie très peu dans des conditions normales
- C'est un élément essentiel pour le maintien de la physiologie des neurones qui ont besoin pour leur dépolarisation et la transmission de l'information de sodium et de potassium dans des valeurs constantes
- Ainsi une augmentation de kaliémie peut provoquer des troubles de la contraction musculaire, dangereux au niveau cardiaque, ainsi que des signes d'irritabilité et de spasmes musculaires
- Une diminution a elle aussi un retentissement sur le psyché de la personne: dépression, atonie
- Les pompes créées par l'aldostérone échangent un sodium contre deux potassiums, ainsi le potassium est excrété en plus grande quantité que le sodium. Rappelons que nous sommes les seuls mammifères à avoir inversé la proportion du régime alimentaire entre le sodium et le potassium

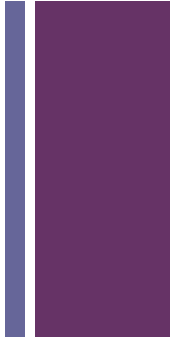


Influence de la calcémie (concentration de calcium)



- Le rein participe de façon importante à l'équilibre du bilan calcique
- Une baisse de la calcémie entraîne une augmentation de l'excitabilité neuromusculaire
- Le calcium est filtré puis réabsorbé au niveau du tubule proximal
- La réabsorption est sous l'influence de la parathormone (libérée dans les glandes parathyroïdes) qui va stimuler aussi la résorption de calcium au niveau osseux en cas de baisse de la calcémie
- Une augmentation de la calcémie est éliminée dans les urines

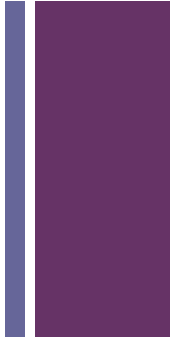
+ L'urée



- Les déchets protéiques sont transportés dans le sang sous forme de molécules d'ammoniac (NH_3)
- En raison de leur toxicité, les molécules sont transformées en urée dans les cellules
- L'urée est ensuite éliminée dans les urines
- Une partie de l'urée est réabsorbée dans le tube collecteur, le pourcentage de réabsorption est variable selon l'état de l'hydratation et la diurèse



Les ions H^+



- Comme nous l'avons vu, une grande partie des acides est éliminée au niveau du système pulmonaire lors de l'élimination du gaz carbonique et des ions bicarbonates
- Dans des conditions normales, les reins sont capables d'excréter une grande quantité de ions H^+
- Une diminution du pH sanguin entraîne une libération d'acides dans l'urine et inversement
- Dans certaines pathologies, la production d'acide peut mener à un dépassement de la capacité d'excrétion du rein. Le corps bascule en acidose
- Le corps stocke cet excès d'acide dans les tissus basiques, c'est à dire les tendons et les ligaments



Fonction endocrine du rein

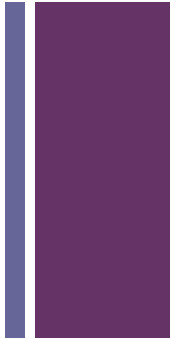
En plus de leur fonction excrétrice, les reins assurent une fonction endocrine importante

- La **rénine**: hormone indispensable pour le maintien de la tension artérielle
- **L'érythropoïétine (EPO)**: agit sur la moelle osseuse et sur la formation de globules rouges
- La **forme active de la vitamine D**: indispensable pour l'absorption du calcium au niveau de l'intestin et inhibe l'excrétion calcique au niveau rénal
- Les **prostaglandines**: ce sont des substances importantes que l'on trouve dans de nombreux tissus du corps (prostate, testicules, foie, tube digestif,...). Elles jouent un rôle fondamental dans les phénomènes d'inflammation chronique. Au niveau du rein, elles semblent assurer une fonction de vasodilatation





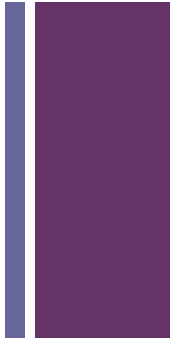
Clairance rénale



- La clairance d'une substance donnée est la quantité de plasma complètement épuré de cette substance en une minute
- La clairance de la créatine est égale à son taux de filtration glomérulaire soit 120 ml/min, puisque cette substance n'est pas du tout réabsorbée
- Cette mesure permet en clinique de mesurer la qualité de filtration rénale. Si la clairance de créatine augmente d'un coup, cela signifie que le rein est atteint, très souvent par une infection qui endommage la qualité du filtre



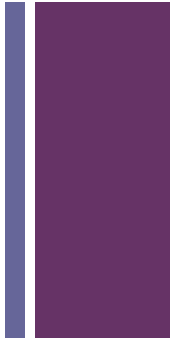
Régulation de la concentration et du volume urinaire



- Pour comprendre le chapitre qui va suivre, il faut toujours garder à l'esprit que la concentration en ions Na^+ ne cesse d'augmenter, du cortex rénal aux profondeurs de la médulla. La fonction de ce gradient de concentration (osmolarité variant de 300 à 1200 mmol/kg du cortex à la médulla) est de maintenir l'eau dans l'organisme
- Comme nous l'avons vu, le tubule contourné proximal est perméable à l'eau. Le filtrat est encore abondant à cet endroit
- La concentration en eau est plus importante dans le tubule. L'eau va diffuser passivement hors du tubule en s'enfonçant dans la médulla rénale. Au niveau du coude, L'osmolarité du filtrat est maximum.



Régulation de la concentration et du volume urinaire

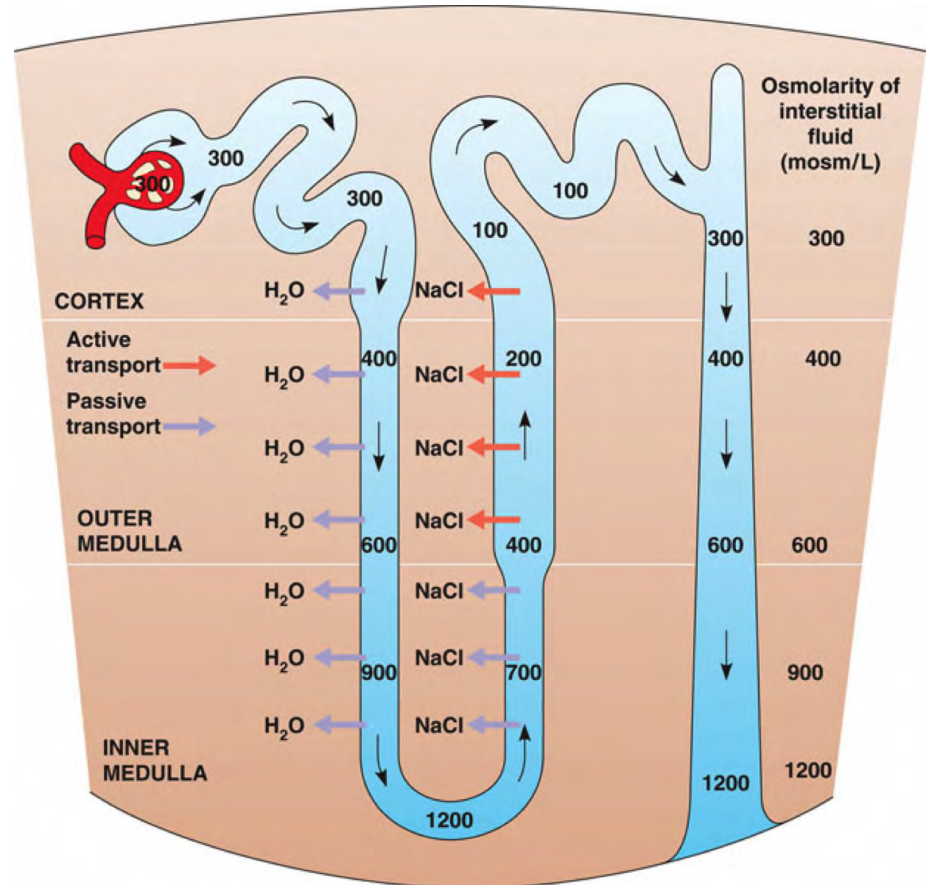


- Dans la partie distale, l'eau ne peut pas sortir ni rentrer. La concentration en Na^+ et Cl^- est très importante. Les ions vont être transportés activement par les pompes Na/K stimulées par la libération d'aldostérone
- La concentration des ions Na^+ et Cl^- va donc augmenter en dehors du tubule. Comme ces ions sont en plus grand nombre dans le coude, ils seront réabsorbés en plus grande quantité à ce niveau, ce qui va contribuer à l'augmentation de la concentration dans les reins
- L'eau qui suit toujours le sodium, va sortir plus facilement du tubule contourné proximal. La boucle est fermée (voir schéma). Le filtrat en haut du tubule distal va être de très faible concentration (hypoosmotique)



Régulation de la concentration et du volume urinaire

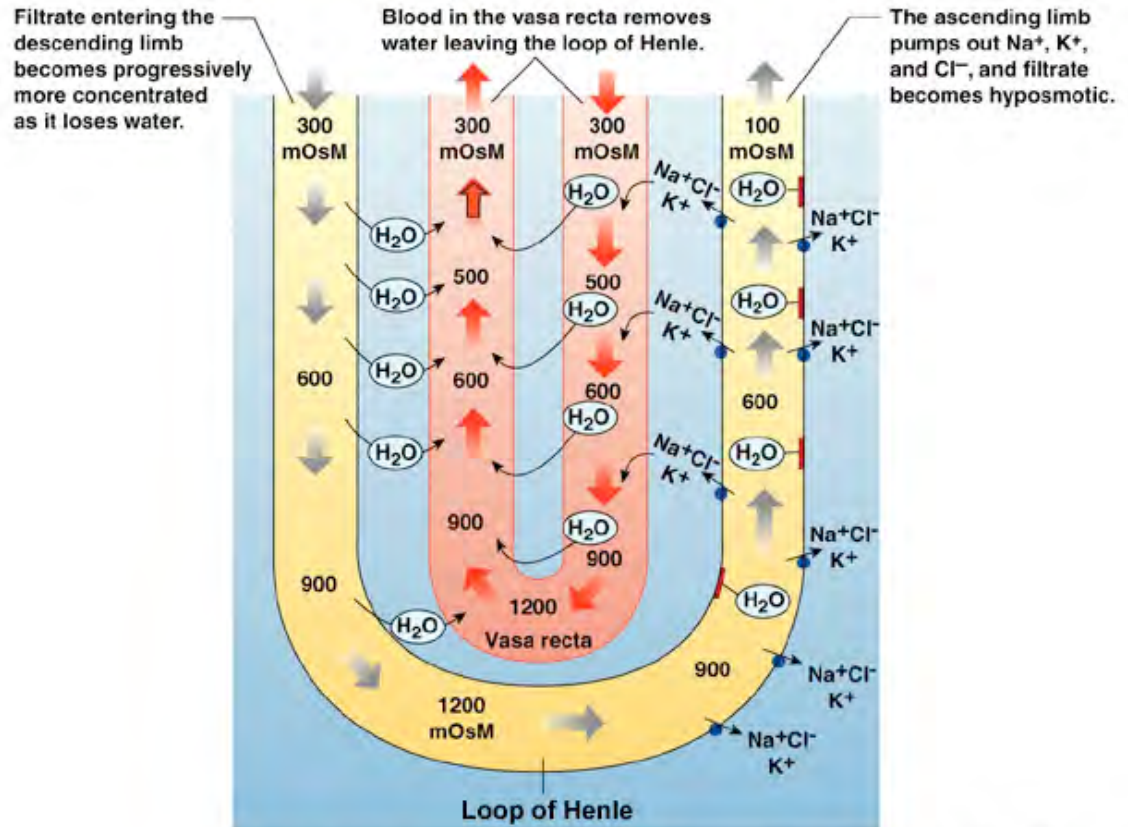
- Les parties ascendantes et descendantes sont assez proches pour influencer leurs échanges respectifs
- La quantité d'eau réabsorbée dépend donc de la quantité de Na^+ transportée activement dans la partie ascendante





Régulation de la concentration et du volume urinaire

- Les vasa recta contribuent eux aussi au maintien du gradient osmotique de la médulla
- La circulation sanguine y est lente. Les parois sont perméables aux ions sodium qui vont diffuser passivement à l'intérieur des vaisseaux dans les profondeurs de la médulla

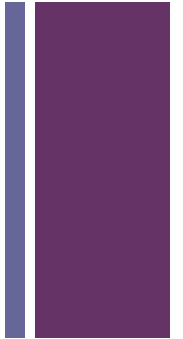


Copyright © 2007 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings

Fig. 20-10



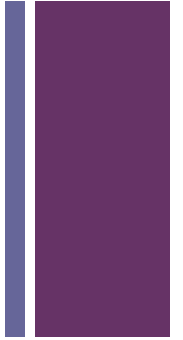
Régulation de la concentration et du volume urinaire



- L'eau va elle diffuser vers l'extérieur, vu que la concentration de Na^+ y est plus importante. Dans la partie ascendante du tubule, l'inverse va se produire
- L'osmolarité est très importante dans le tubule, elle va attirer l'eau graduellement
- Ces échanges se passent en tout temps. Il est important de comprendre que la concentration sanguine est la même à l'entrée du vasa recta qu'à sa sortie. La finalité de ces vasa recta est de récupérer l'eau qui sort du tubule contourné proximal ainsi que toutes les autres substances réabsorbées.



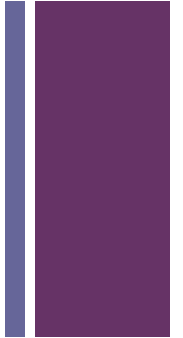
Urine diluée



- Comme nous l'avons vu, l'urine se dilue dans la partie ascendante
- Les reins n'ont donc qu'à la laisser poursuivre son chemin dans les bassinets
- C'est ce qui se passe lorsque la neurohypophyse ne produit pas d'hormone ADH. Les tubules contournés distaux et collecteurs, restent imperméables à l'eau et ne la réabsorbent pas



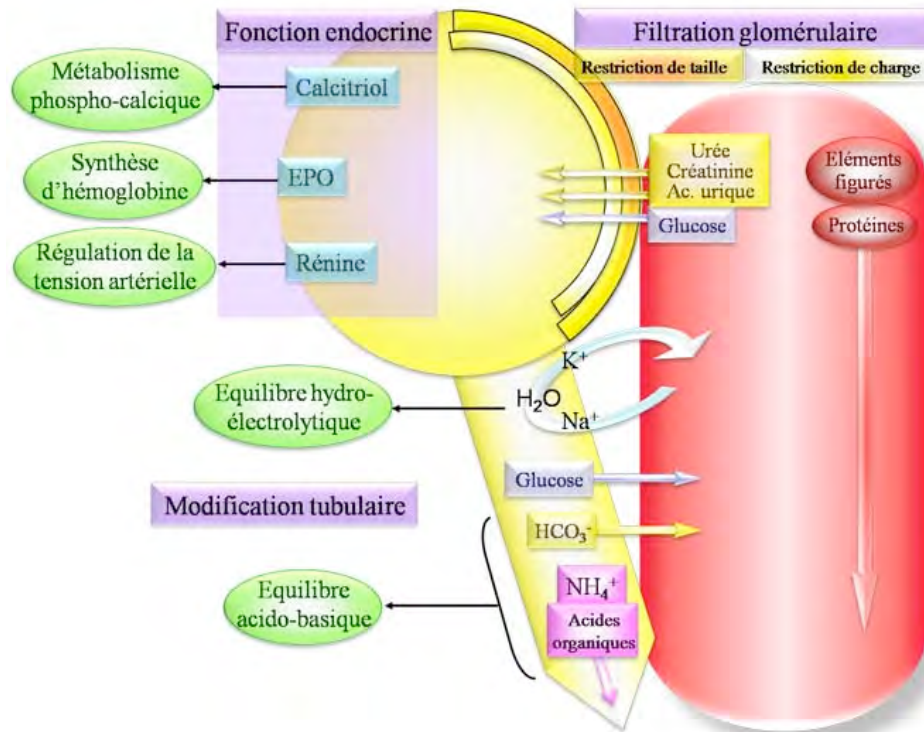
Urine concentrée



- L'ADH augmente le nombre de canaux à eau dans le tubule contourné distal et collecteur. L'eau passe aisément dans le liquide interstitiel et l'urine se concentre. La concentration du filtrat peut atteindre les 1200 mmol/kg (identique à celle de la médulla), en fonction de la libération d'ADH. En temps normal, 99% de l'eau passe du tubule collecteur vers le sang. Lors de diarrhée ou d'hypovolémie (saignement), l'ADH est libérée en grande quantité
- L'aldostérone va plutôt jouer un rôle important pour l'équilibre des concentrations des ions dans le sang, même si elle travaille souvent de concert avec l'ADH



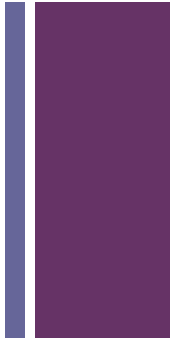
Schéma sur la formation d'urine



- L'excrétion tubulaire n'a pas été représentée ici comme moyen d'élimination de certaines substances toxiques pour le corps
- Nous n'avons pas parlé de l'effet de la Calcitonine (calcitriol) dans le cours. C'est une hormone qui agit sur le métabolisme osseux.



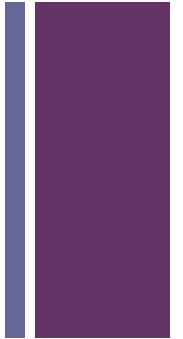
Miction



- La miction est la vidange vésicale qui permet l'évacuation de l'urine
- L'ensemble du bas appareil urinaire est recouvert d'un épithélium qui libère un mucus qui protège contre l'érosion de certains composés urinaires
- Il existe deux sphincters placés autour d'un segment qui comprend la partie terminale de la vessie et l'urètre
- Le sphincter urétral interne, constitué de fibres musculaires lisses, est placé à la base de la vessie
- Le sphincter urétral externe, constitué de fibres musculaires striées, entoure l'urètre



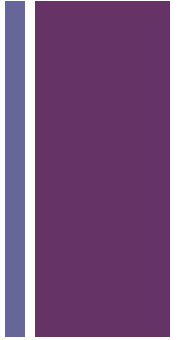
Mécanisme général de la miction



- A mesure que la vessie se remplit d'urine, elle augmente de volume
- La capacité normale de la vessie est de 250 à 300 ml. Cette capacité peut être augmentée jusqu'à 700, voire 800 ml mais demande une contraction volontaire, donc de la volonté!!! La capacité maximale est de 1500 et 2000 ml
- La miction est donc le relâchement successif des deux sphincters lisses et striés de la base de la vessie. Le contrôle de ces sphincters nécessite un apprentissage
- Il existe donc des barocepteurs à l'intérieur de la vessie qui informent le SNC de la quantité d'urine présente et de la nécessité de vidange



Physiopathologie



- En cas de lésion de la moelle épinière, les voies volontaires sont souvent touchées ramenant la miction à la fonction réflexe identique à celle du nourrisson
- La diurèse est le terme qui désigne l'élimination de l'urine d'un point de vue quantitatif et qualitatif
- On précède souvent à un examen de diurèse sur 24 heures permettant de collecter les urines du jour et de les analyser :
 - Une urine insuffisante est appelée oligurie
 - Une absence d'urine est appelée anurie
 - Un excès d'urine est appelé polyurie