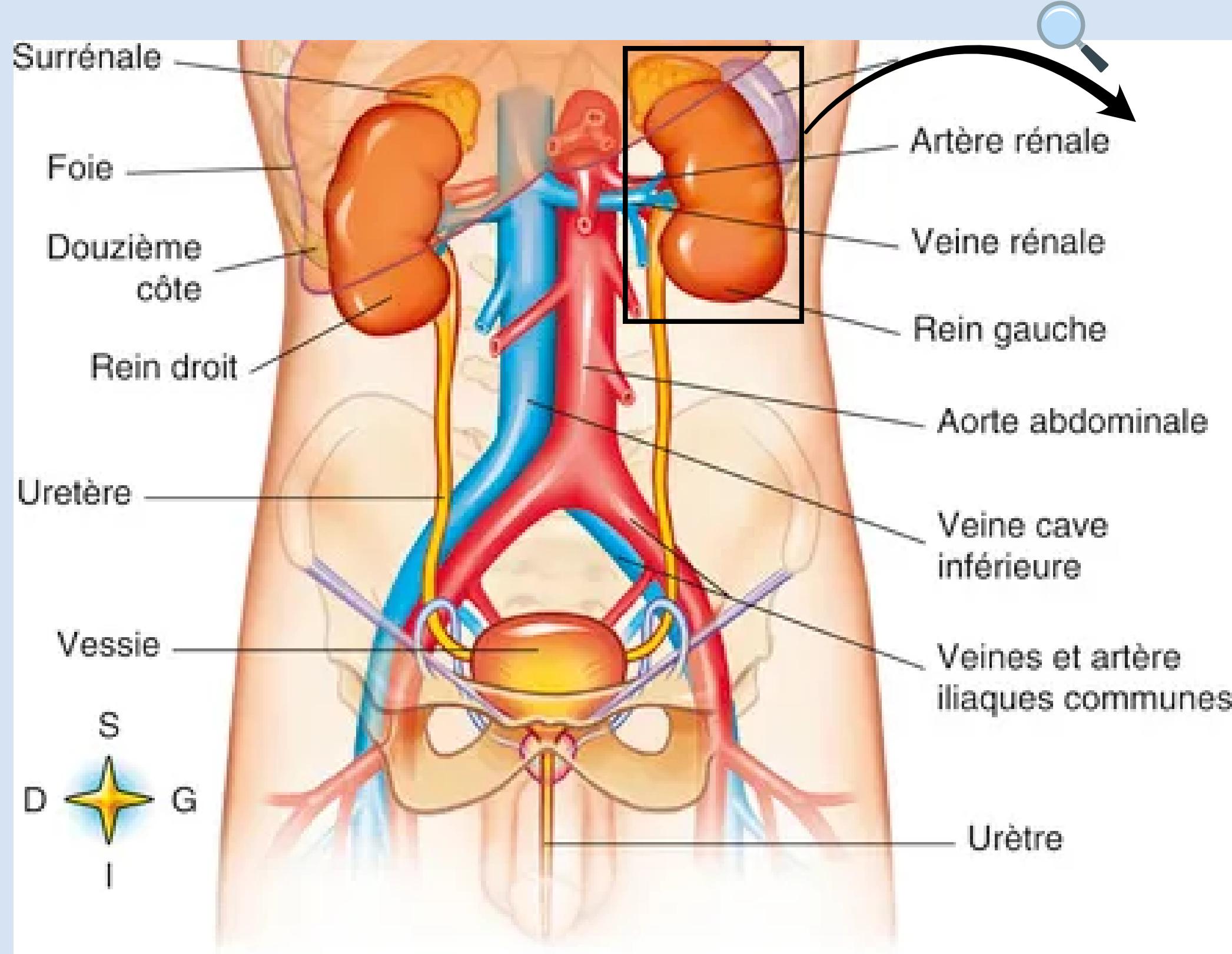


# **Physiologie rénale**

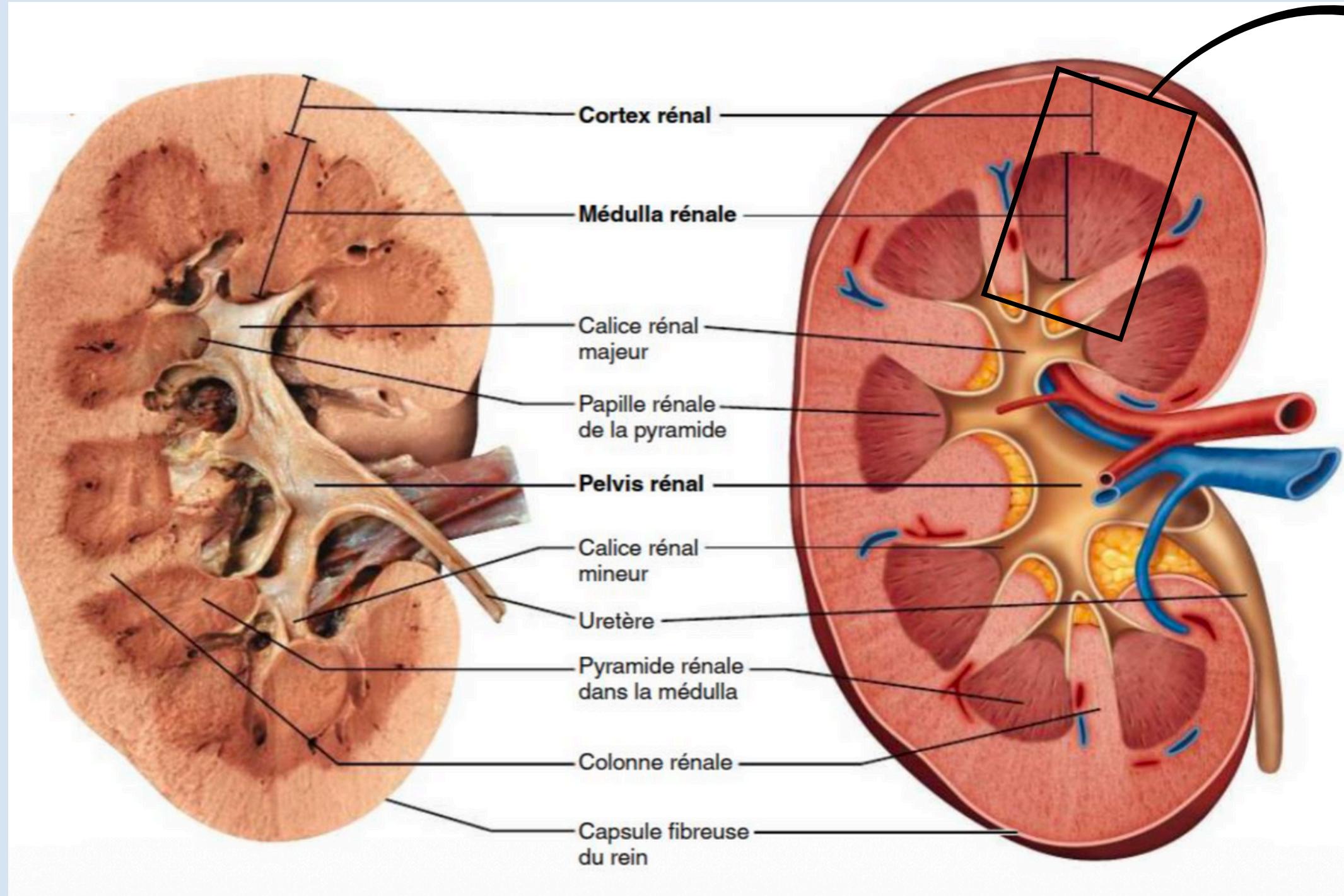
**Hortense Meyjonnaude - DFASM2**  
**Année 2025-2026**

# L'appareil urinaire



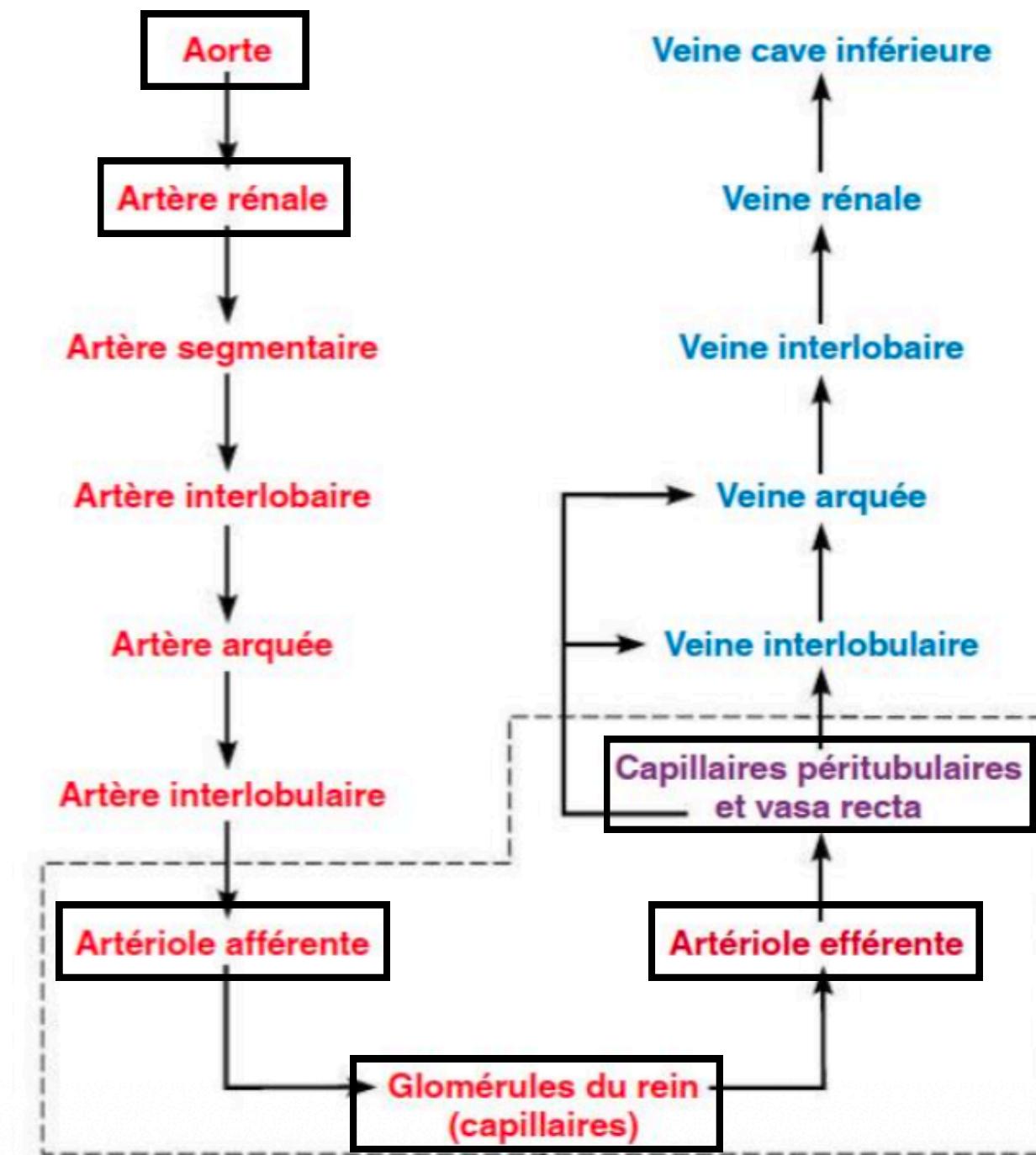
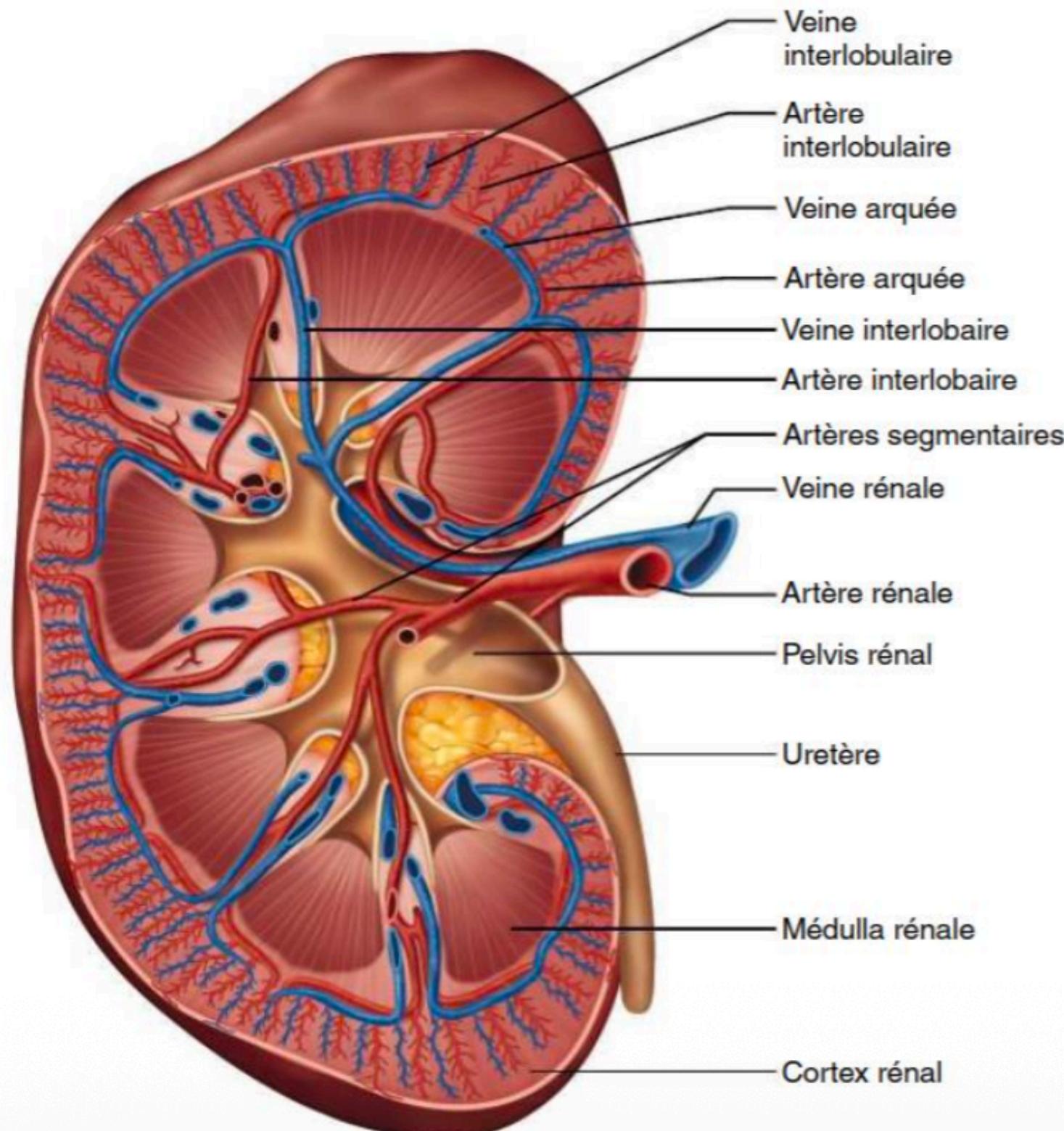
- **2 reins : Production** de l'urine
- **2 uretères : Transport** de l'urine
- **1 vessie : Stockage** de l'urine
- **1 urètre : Élimination** de l'urine

# Le rein



- **Cortex** forme les **colonnes rénales**
- **Médulla** forme les **pyramides rénales**

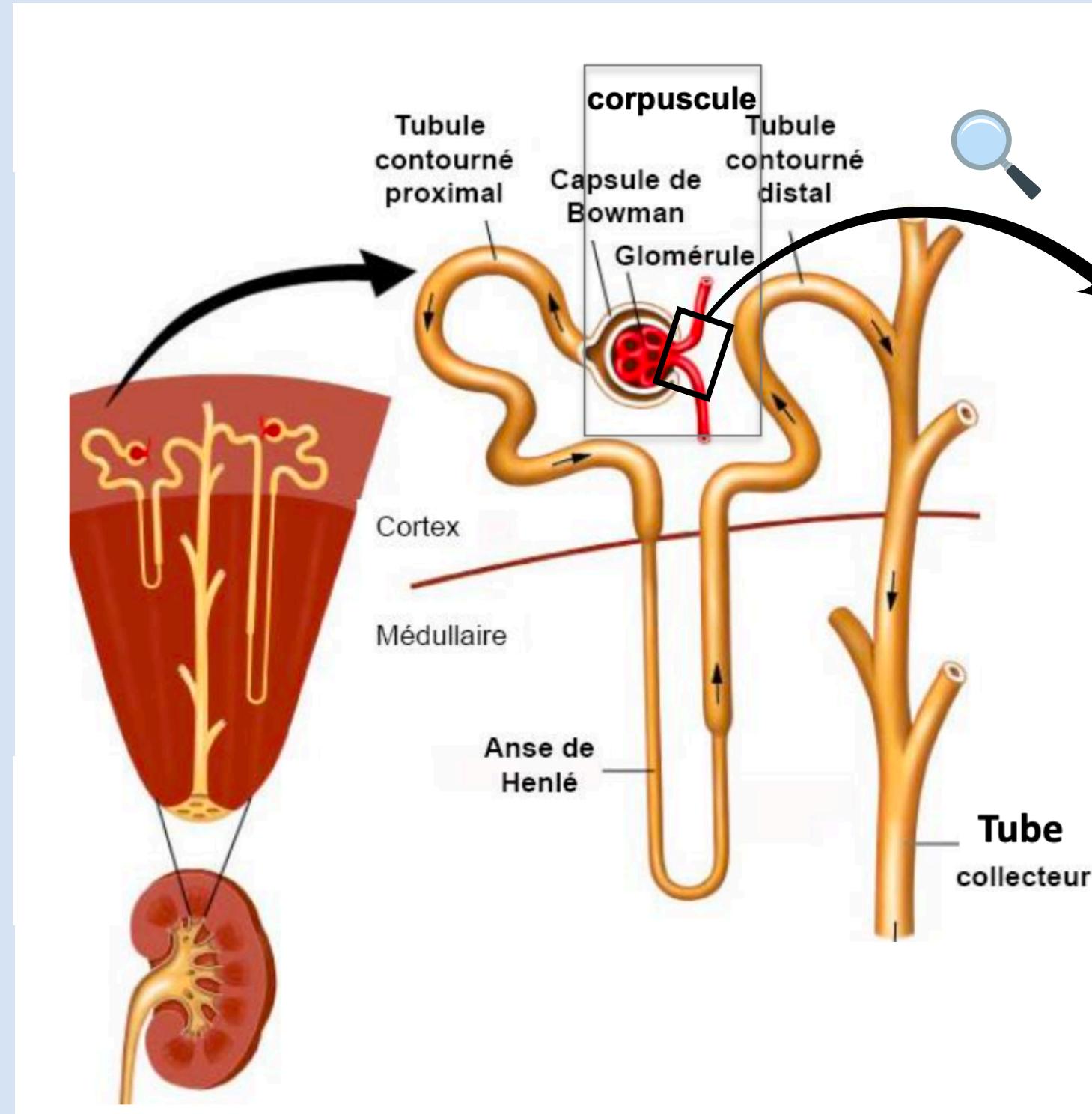
Papilles → Calices mineurs  
/majeurs → Pelvis → Uretère





Il y a 1 million  
de néphrons  
par rein !

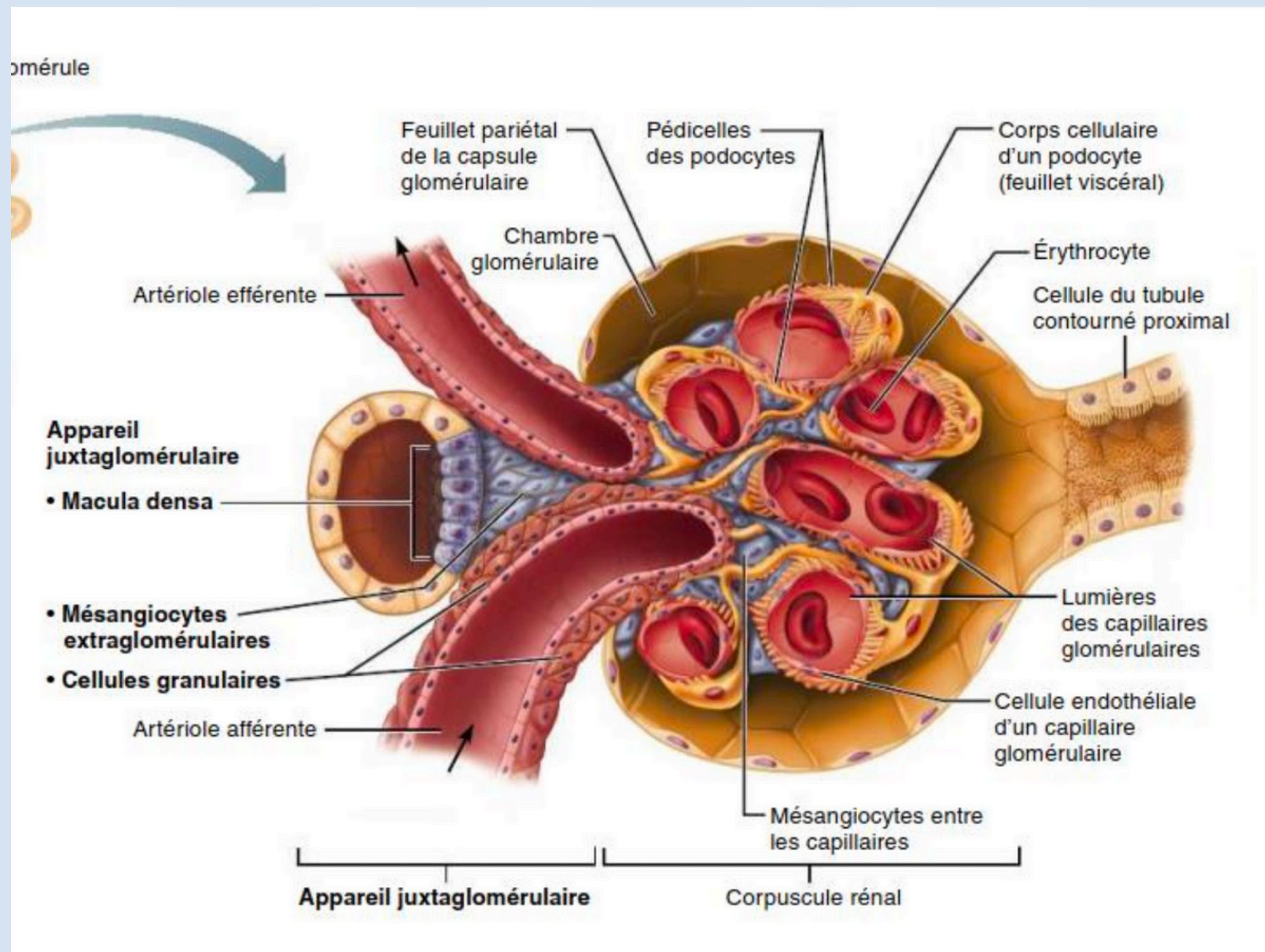
# Le néphron, unité fonctionnelle du rein



- **Corpuscule rénal (Corpuscle de Malpighi)**
  - Glomérule
  - Capsule de Bowman
- **Tubule**
  - TCP
  - AH
  - TCD
  - TC

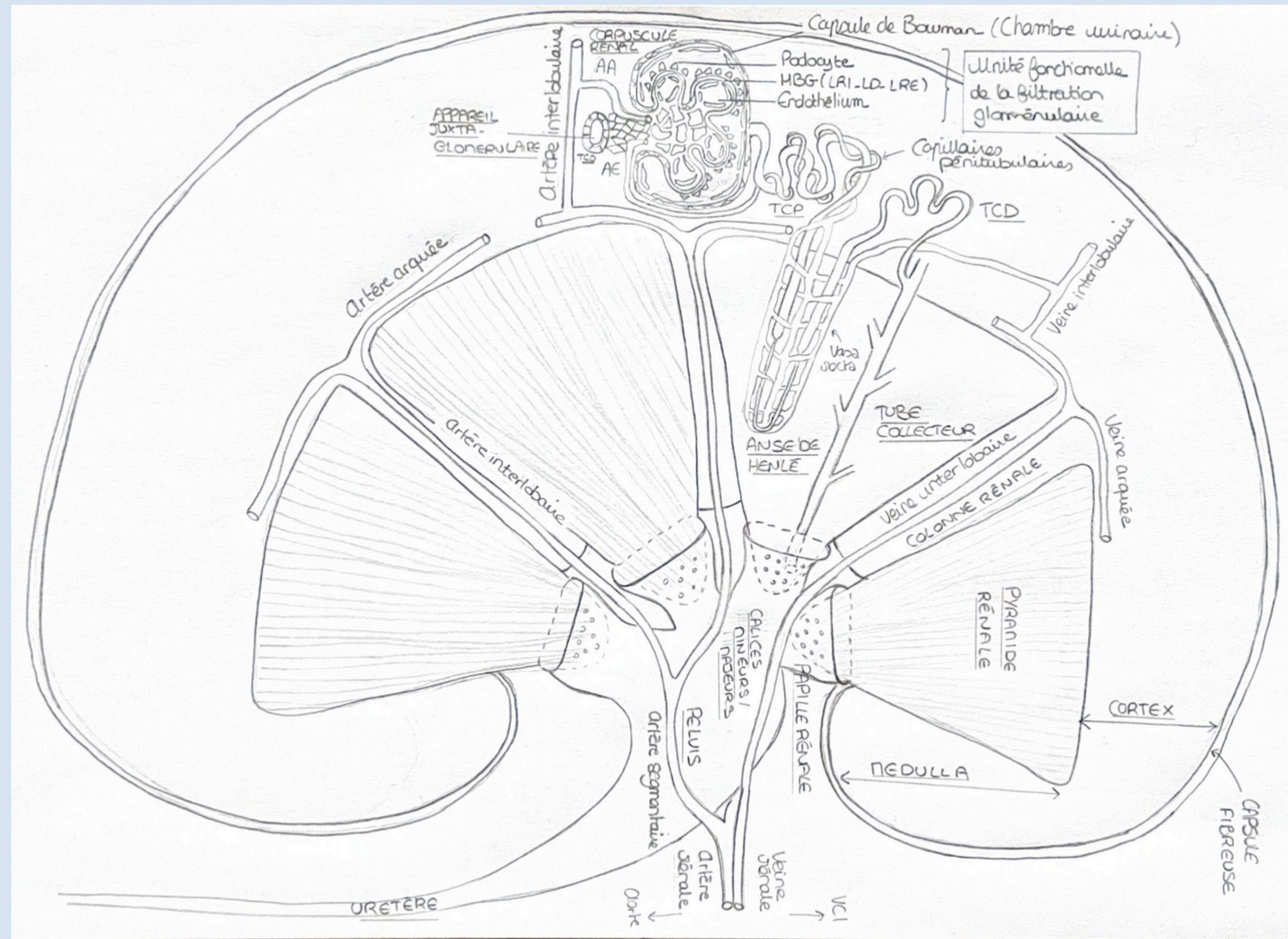
Néphrons corticaux	Néphrons juxtapaglomérullaires
80 %	20 %
Anse courte	Anse longue
Capillaires péritubulaires	Vasa recta

# L'appareil juxtaglomérulaire

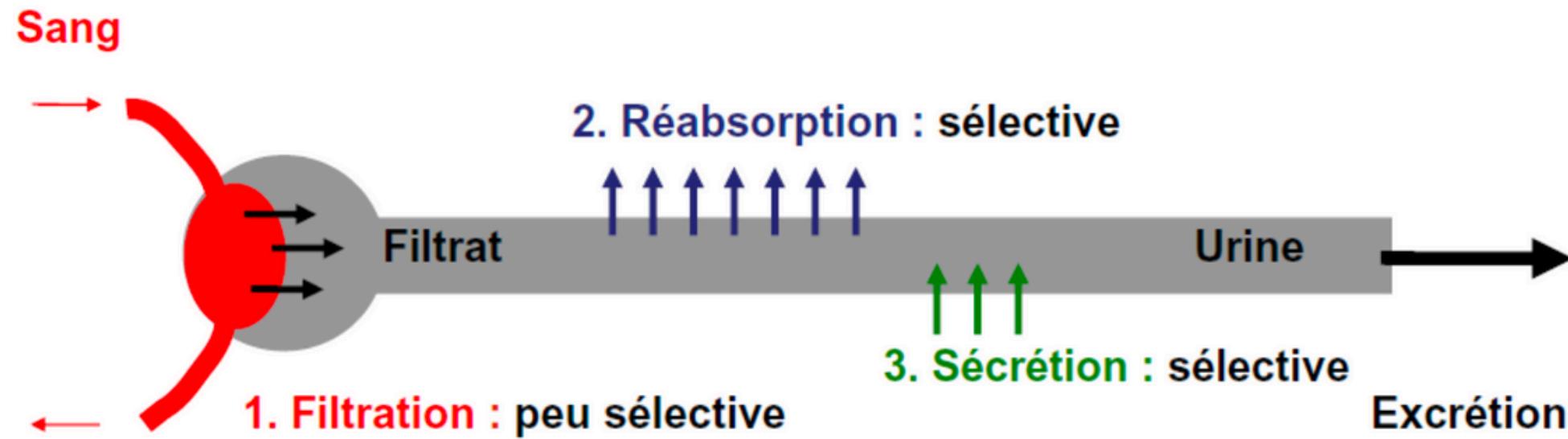


- **Mésangiocyt es**
- **Cellules de la macula densa**
  - TCD
  - Chimiorécepteurs au NaCl
- **Cellules granulaires (Rénine)**
  - Paroi AA
  - Barorécepteurs à la PA

# Schéma bilan

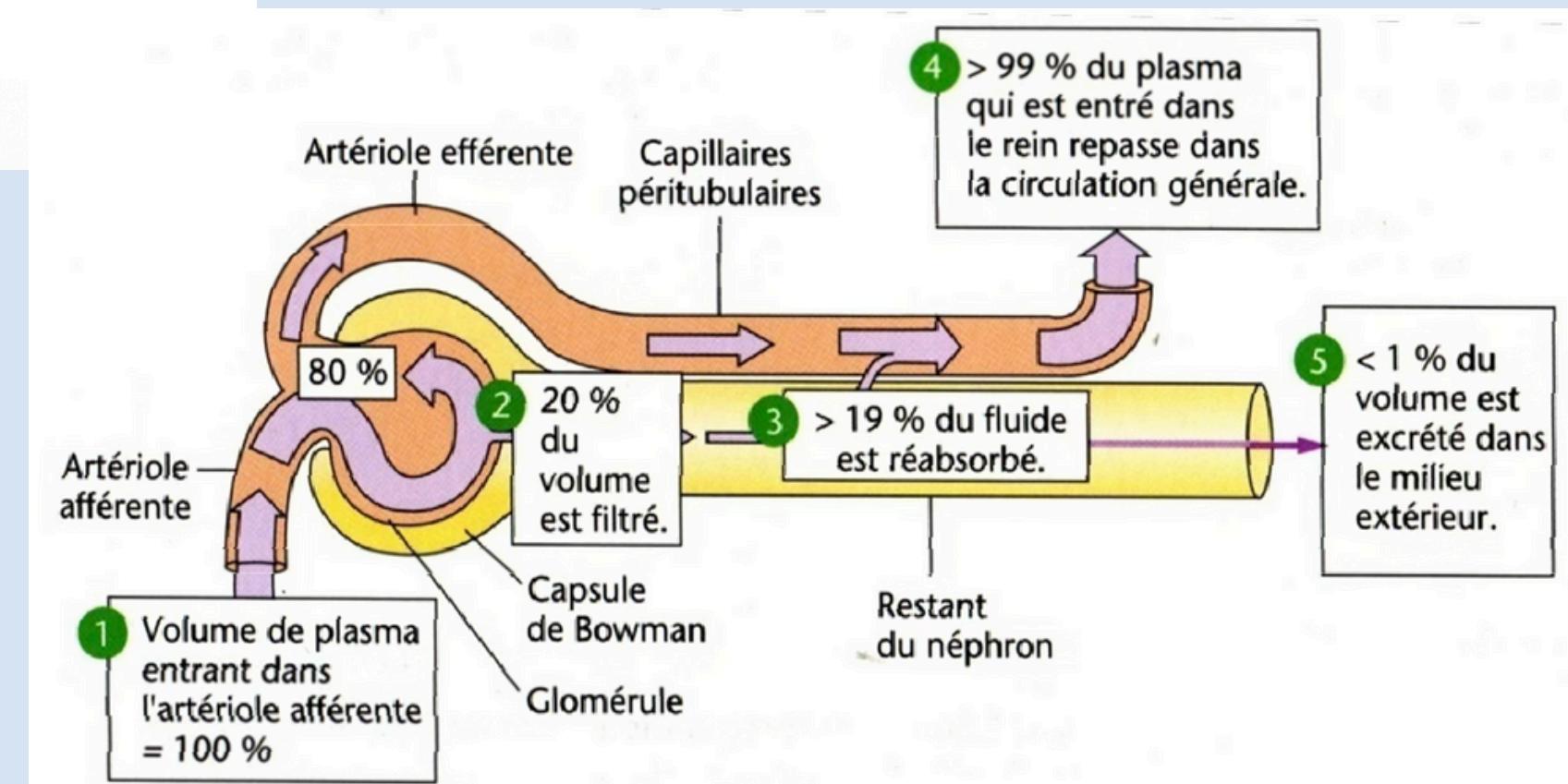


# 3 processus



$$\text{Quantité excrétée} = \text{quantité filtrée} - \text{quantité réabsorbée} + \text{quantité sécrétée}$$

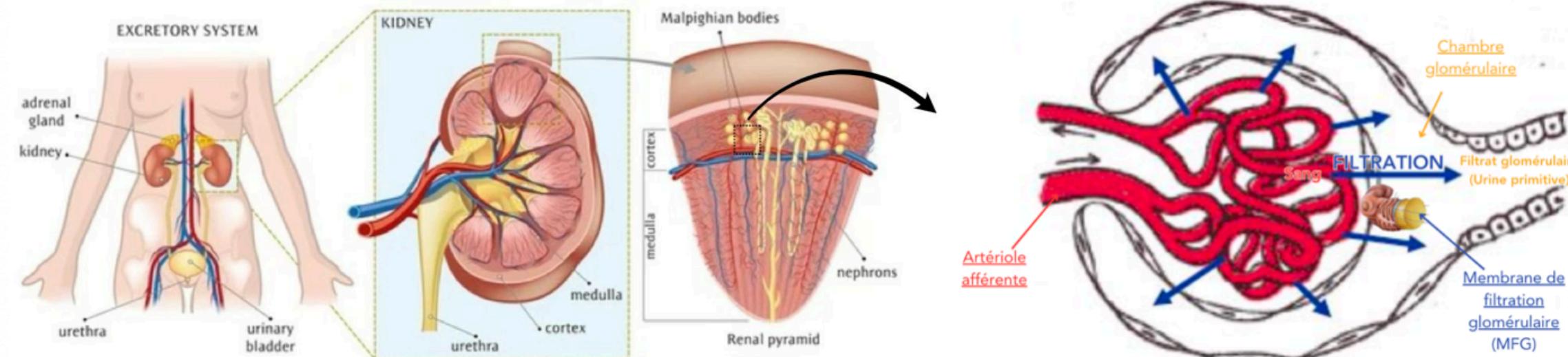
## Excrétion : élimination d'une substance dans les urines



# **La filtration glomérulaire**

## Localisation : Corpuscule rénal

### Définition de la filtration

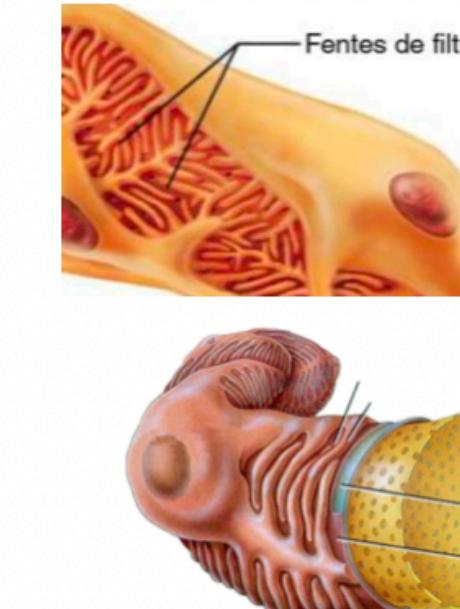
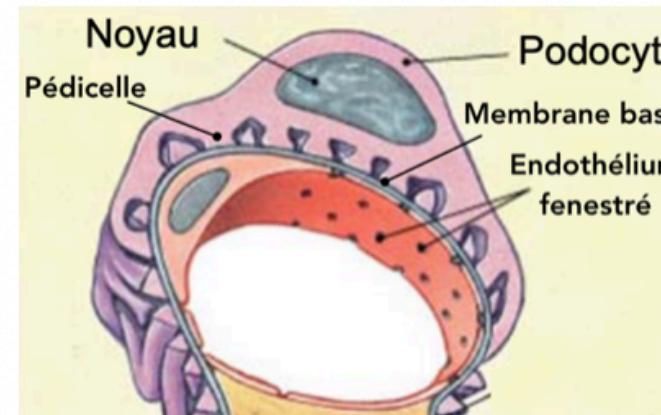


### Unidirectionnelle

#### Artériole afferente → Chambre glomérulaire

La membrane de filtration glomérulaire (MFG) est un filtre en série formant des **fentes de filtration** :

- **Endothélium fenestré** des capillaires glomérulaires
- **Membrane basale** (Collagène de type IV + Glycoprotéines anioniques)
- **Pédicelles** des podocytes



Le passage d'une molécule à travers une fente de filtration dépend de 3 facteurs :

- **Taille** de la molécule (Eau et molécules de bas PM < 70 kDa)
- **Charge** de la molécule (Molécules chargées +)
- **Intégrité** de la MFG

SANG	FILTRAT GLOMÉRULAIRE
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Plasma (55%)</li> <li>• Eau</li> <li>• Petites molécules, ions (Glucose, Na+, K+, Cl-...)</li> <li>• Protéines (anioniques +++) et substances liées (Hormones, TTT...)</li> </ul>	Filtrat glomérulaire = Ultrafiltrat de plasma = Urine primitive Sang - (Cellules sanguines + Protéines plasmatiques)
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Cellules</li> <li>• Hématies</li> <li>• Leucocytes</li> <li>• Plaquettes</li> </ul>	Plasma - Protéines plasmatiques

### Propriétés de la filtration

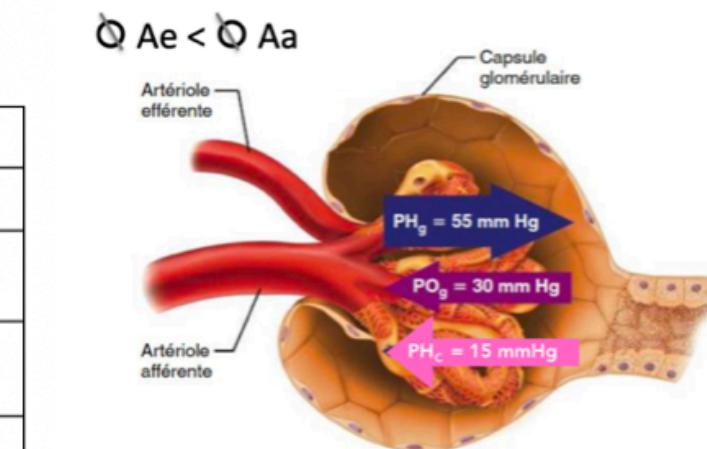
#### Peu sélective

La filtration glomérulaire est permise grâce à la **pression nette de filtration (PNF)**.

$$PNF = PH_g - (PO_g + PH_c) = 55 - (30 + 15) = 10 \text{ mmHg}$$

#### Passive

Pression	Définition	Filtration	Valeur
Artériole afferente	PH <sub>g</sub>	✓	55 mmHg
	PO <sub>g</sub>	✗	30 mmHg
Chambre glomérulaire	PH <sub>c</sub>	✗	15 mmHg
	PO <sub>c</sub>		0 mmHg



Débits	Débit sanguin rénal	Débit plasmatique rénal	Débit de filtration glomérulaire	<p>Débit cardiaque = 5 L/min Autres organes 80% → 20% Antres rénales Non Filtré 80% → 20% Filtré 1% → 99% Débit urinaire ~ 1ml/min Diurèse = 1 à 2L/j</p>			
	DSR	DPR	DFG				
	Volume de sang arrivant aux reins par minute	Volume de plasma arrivant aux reins par minute	Volume de plasma filtré par les reins par min = Volume de filtrat glomérulaire formé par min				
	DSR = Dc x 20% = 5 L/min x 20%	DPR = DSR x 55%	DFG = DPR x 20%				
	1,1 L/min	0,6 L/min = 600 mL/min	0,12 L/min = 120 mL/min = 180L/j				
	<b>Fonction rénale normale = DFG ≥ 90 mL/min</b>						
<b>DFG = PNF x K<sub>f</sub></b>							
Mécanismes d'autorégulation	Pression nette de filtration (PNF)	Coefficient de filtration (K <sub>f</sub> )					
	<b>PNF = PHg - (POg + PHc)</b>	<b>K<sub>f</sub> = Surface x Perméabilité</b>					
	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>PHg : PA (Physiologique)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>↑PA =&gt; ↑PHg =&gt; ↑PNF =&gt; ↑DFG =&gt; Passage trop rapide du filtrat empêchant une bonne réabsorption</li> <li>↓PA =&gt; ↓PHg =&gt; ↓PNF =&gt; ↓DFG =&gt; Peu de filtration empêchant l'élimination des déchets qui s'accumulent</li> </ul> <p>Entre 80 et 180 mmHg, des mécanismes de régulations intrinsèque stabilisent le DFG en le maintenant à une valeur constante ce qui est indispensable pour assurer les fonctions rénales.</p> </li> <li><b>POg : Quantité de protéines dans le sang (Pathologique)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>↑ =&gt; Cancer</li> <li>↓ =&gt; Défaut de synthèse (Dénutrition ; Insuffisance hépatique) ou Augmentation des pertes (Sd néphrotique)</li> </ul> </li> <li><b>PHc : Obstruction de l'écoulement de l'urine (Pathologique)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Maladie lithiasique</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Surface : Contractilité des mésangiocyttes</b></li> <li><b>Perméabilité</b></li> </ul>					
	Mécanisme vasculaire myogène	Rétrocontrôle tubuloglomérulaire (Cellules de la macula densa)					
	<b>Vasoconstriction artériolaire</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>↓ diamètre</li> <li>↑ pression en amont</li> <li>↓ débit en aval : ↓ pression</li> </ul>		<b>Vasodilatation artériolaire</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>↑ diamètre</li> <li>↓ pression en amont</li> <li>↑ débit en aval : ↑ pression</li> </ul>				
	↑PA => Étirement des CML de la paroi de l'AA => Ouverture des canaux Ca <sup>2+</sup> des CML => Entrée de Ca <sup>2+</sup> dans les CML => Contraction des CML => <b>Vasoconstriction de l'AA</b> => ↓PHg => ↓PNF => ↓DFG	↑PA => ↑PHg => ↑PNF => ↑DFG => ↑Filtration de NaCl => ↑Quantité de NaCl dans les urines et donc au niveau de l'appareil juxtaploméralaire (Cellules de la macula densa) => Libération de molécules vasoconstrictives (Communication paracrine) => <b>Vasoconstriction de l'AA</b> => ↓PHg => ↓PNF => ↓DFG					
	↓PA => Relaxation des CML de la paroi de l'AA => Fermeture des canaux Ca <sup>2+</sup> des CML => Ø Entrée de Ca <sup>2+</sup> dans les CML => Ø Contraction des CML => <b>Vasodilatation de l'AA</b> => ↑PHg => ↑PNF => ↑DFG	↓PA => ↓PHg => ↓PNF => ↓DFG => ↓Filtration de NaCl => ↓Quantité de NaCl dans les urines et donc au niveau de l'appareil juxtaploméralaire (Cellules de la macula densa) => Ø Libération de molécules vasoconstrictives (Communication paracrine) => <b>Vasodilatation de l'AA</b> => ↑PHg => ↑PNF => ↑DFG					

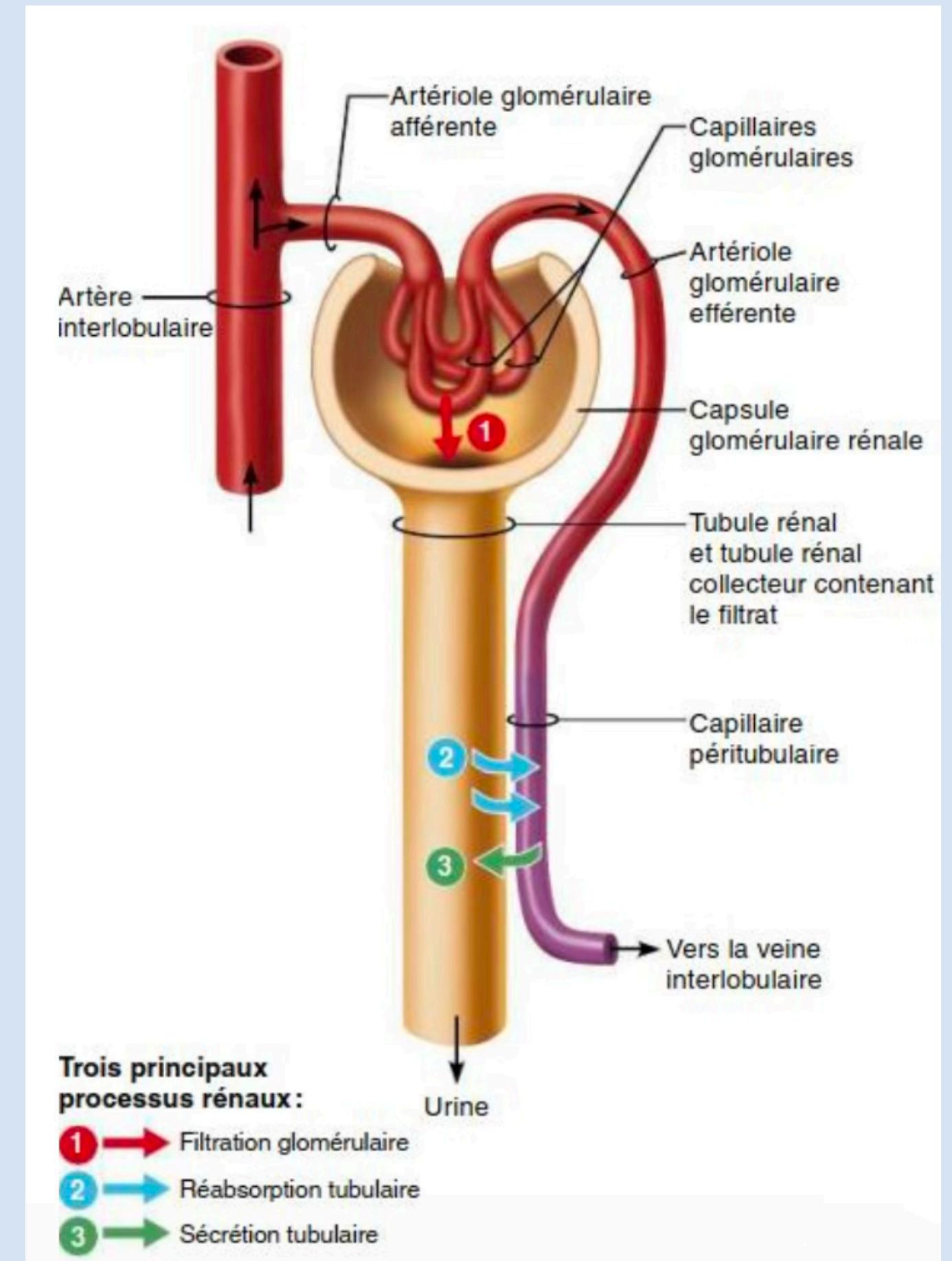
## Récapitulatif : La filtration glomérulaire

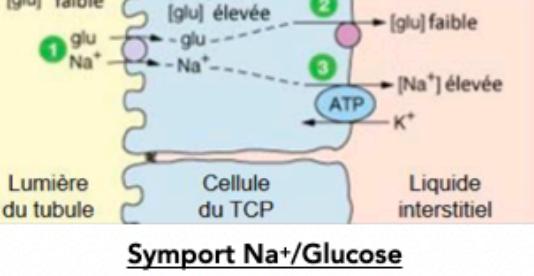
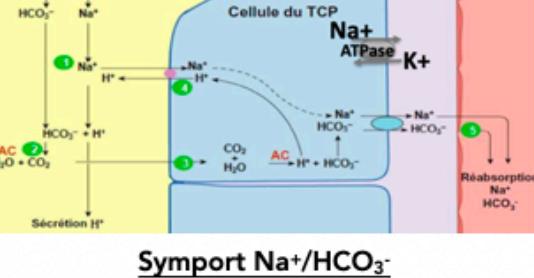
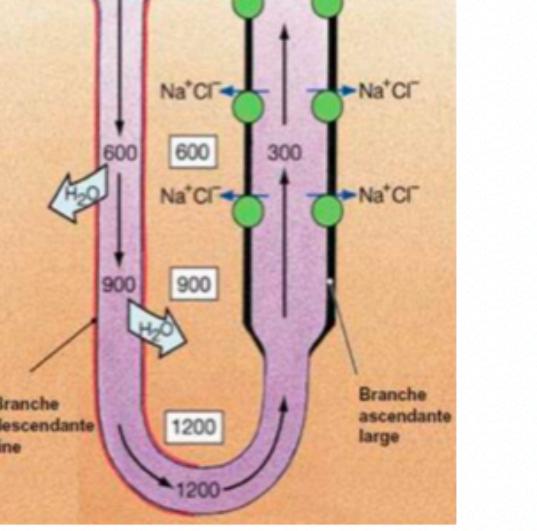
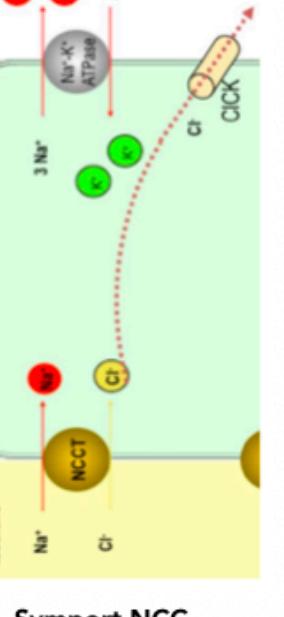
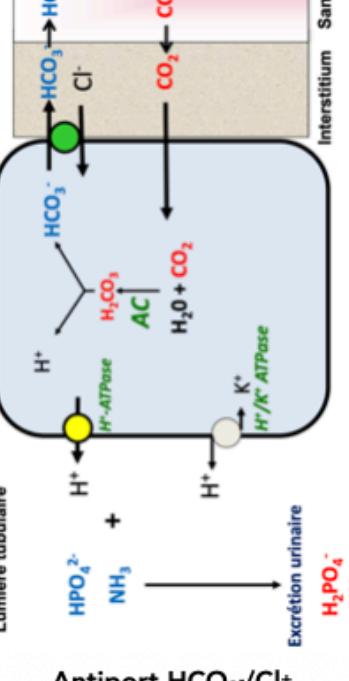
- ✓ Filtration du plasma à travers la membrane de filtration
- ✓ Processus passif
- ✓ Processus peu sélectif
- ✓ Formation du filtrat glomérulaire ou urine primitive : composition proche du plasma moins les protéines
- ✓  $DFG = 120 \text{ ml/min}$  imposé par une PNF de  $10 \text{ mmHg}$  ( $PNF = PHg - (POg + PHc)$ )
- ✓ DFG maintenu stable pour assurer une fonction rénale optimale
- ✓ Mécanismes d'autorégulation
  - ✓ mécanisme vasculaire myogène
  - ✓ Mécanisme tubuloglomérulaire : cellules de la macula densa

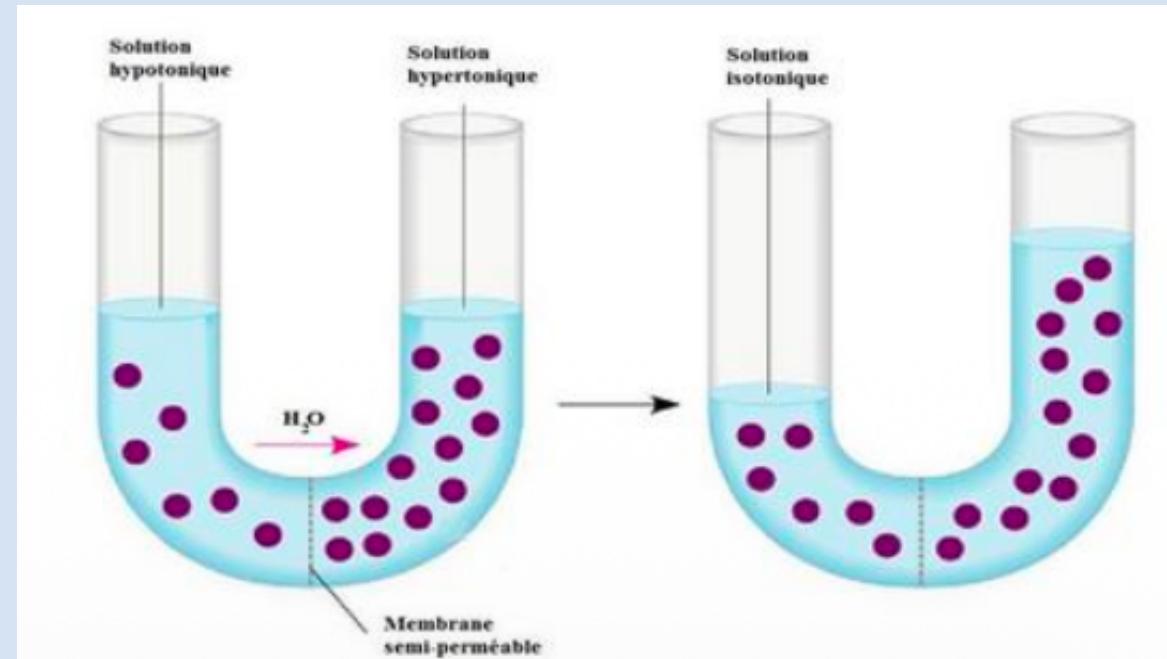
Mécanismes basés essentiellement sur la régulation du diamètre de l'Aa

  - ↗ PA → ↗ DFG → Vasoconstriction Aa → ↘ DFG permettant un retour à la normale
  - ↘ PA → ↘ DFG → Vasodilatation Aa → ↗ DFG permettant un retour à la normale

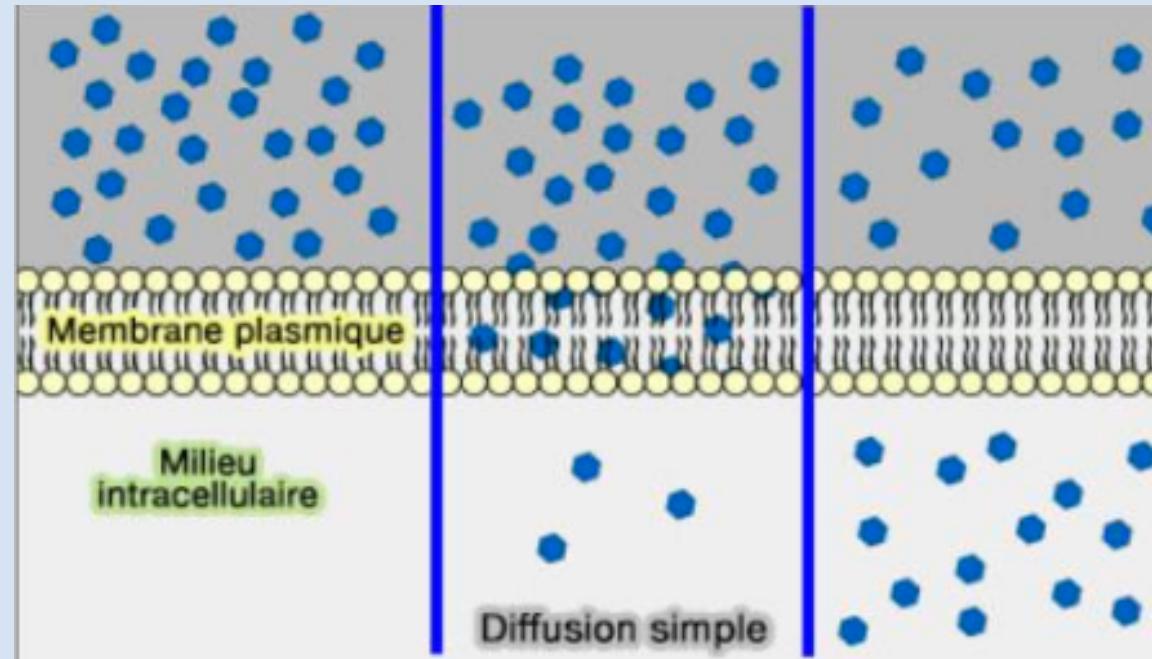
# **La réabsorption tubulaire**



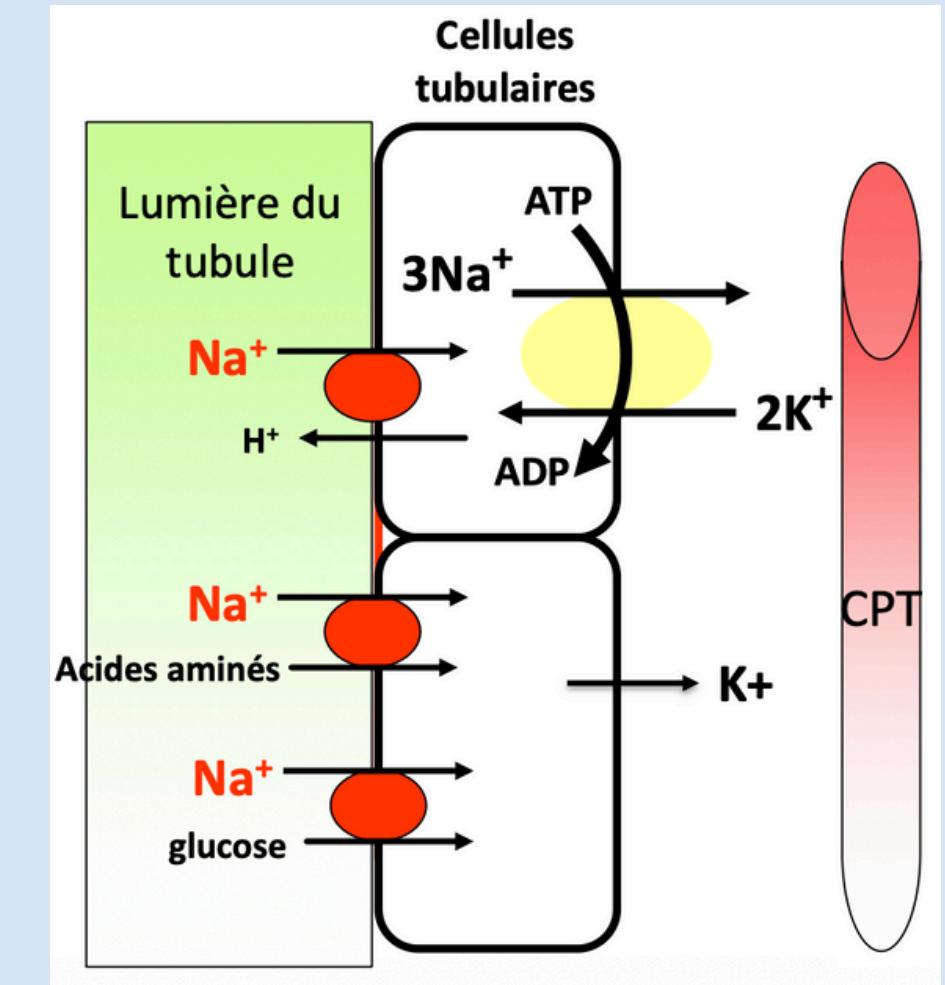
Définition de la réabsorption		<p>➡ Définition : La <b>réabsorption tubulaire</b> correspond aux transferts de l'eau et des solutés du filtrat glomérulaire vers le sang</p> <p>➡ Localisation : TCP - Anse de Henlé - TCD - TC</p>								
Propriétés de la réabsorption	Unidirectionnelle	Tubule ➔ Capillaires péritubulaires / Vasarecta								
	Sélective	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th>Réabsorption totale</th><th>Réabsorption partielle</th><th>Ø Réabsorption</th></tr> <tr> <td>Glucose</td><td>Eau Ions (<math>\text{Na}^+</math> ; <math>\text{K}^+</math> ; <math>\text{Cl}^-</math> ; <math>\text{HCO}_3^-</math>) Urée (50%)</td><td>Déchets (Créatinine ; Urée)</td></tr> </table>			Réabsorption totale	Réabsorption partielle	Ø Réabsorption	Glucose	Eau Ions ( $\text{Na}^+$ ; $\text{K}^+$ ; $\text{Cl}^-$ ; $\text{HCO}_3^-$ ) Urée (50%)	Déchets (Créatinine ; Urée)
Réabsorption totale	Réabsorption partielle	Ø Réabsorption								
Glucose	Eau Ions ( $\text{Na}^+$ ; $\text{K}^+$ ; $\text{Cl}^-$ ; $\text{HCO}_3^-$ ) Urée (50%)	Déchets (Créatinine ; Urée)								
Passive et active	Réabsorption passive		Réabsorption active							
Portion du tubule		Gradient		Contre-gradient (Saturable)						
<ul style="list-style-type: none"> <li>Osmose (Moins concentré → Plus concentré)</li> <li>Diffusion (Plus concentré → Moins concentré)</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>Transport actif Iaire (Hydrolyse d'ATP créant un gradient)</li> <li>Transport actif IIaire (Dépend d'un gradient instauré par le TAI)</li> </ul>						
Type de réabsorption	Tube contourné proximal +++++	Anse de Henlé	Tube contourné distal	Canal collecteur						
Substances réabsorbées	Réabsorption de <b>masse</b> et <b>obligatoire</b>	Réabsorption <b>asymétrique</b>	Réabsorption de <b>NaCl</b>	Réabsorption <b>facultative</b> (Contrôle hormonal)						
	<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Totale</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Glucose</li> <li>- AA</li> <li>- Vitamines</li> </ul> </li> <li><u>Presque totale</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Phosphates</li> <li>- <math>\text{HCO}_3^-</math></li> </ul> </li> <li><u>Importante</u> : Ions (65% du <math>\text{Na}^+</math>)</li> <li><u>Obligatoire</u> : Eau (65%)</li> </ul>	<p>Perméable à <math>\text{H}_2\text{O}</math> Imperméable à <math>\text{Na}^+</math></p> <p>↓ Réabsorption <math>\text{H}_2\text{O}</math></p> <p>↑ Osmolarité urinaire</p>	<p>Imperméable à <math>\text{H}_2\text{O}</math> Permeable à <math>\text{Na}^+</math></p> <p>↓ Réabsorption <math>\text{Na}^+</math></p> <p>↓ Osmolarité urinaire</p>	<p>Imperméable à <math>\text{H}_2\text{O}</math> Permeable à <math>\text{Na}^+</math></p> <p>↓ Réabsorption <math>\text{Na}^+</math></p> <p>↓ Osmolarité urinaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\text{Na}^+</math> (Aldostérone)</li> <li><math>\text{H}_2\text{O}</math> (ADH)</li> <li><math>\text{HCO}_3^-</math></li> </ul>					
Transporteurs	 <p><b>Sympor Na<sup>+</sup>/Glucose</b></p>  <p><b>Sympor Na<sup>+</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b></p>	 <p><b>Aquaporines / Sympor NKCC</b></p> <p>➡ <b>Création d'un gradient corticomédullaire</b></p>	 <p><b>Sympor NCC</b></p>	 <p><b>Antiport <math>\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-</math></b></p>						



Osmose



Diffusion simple



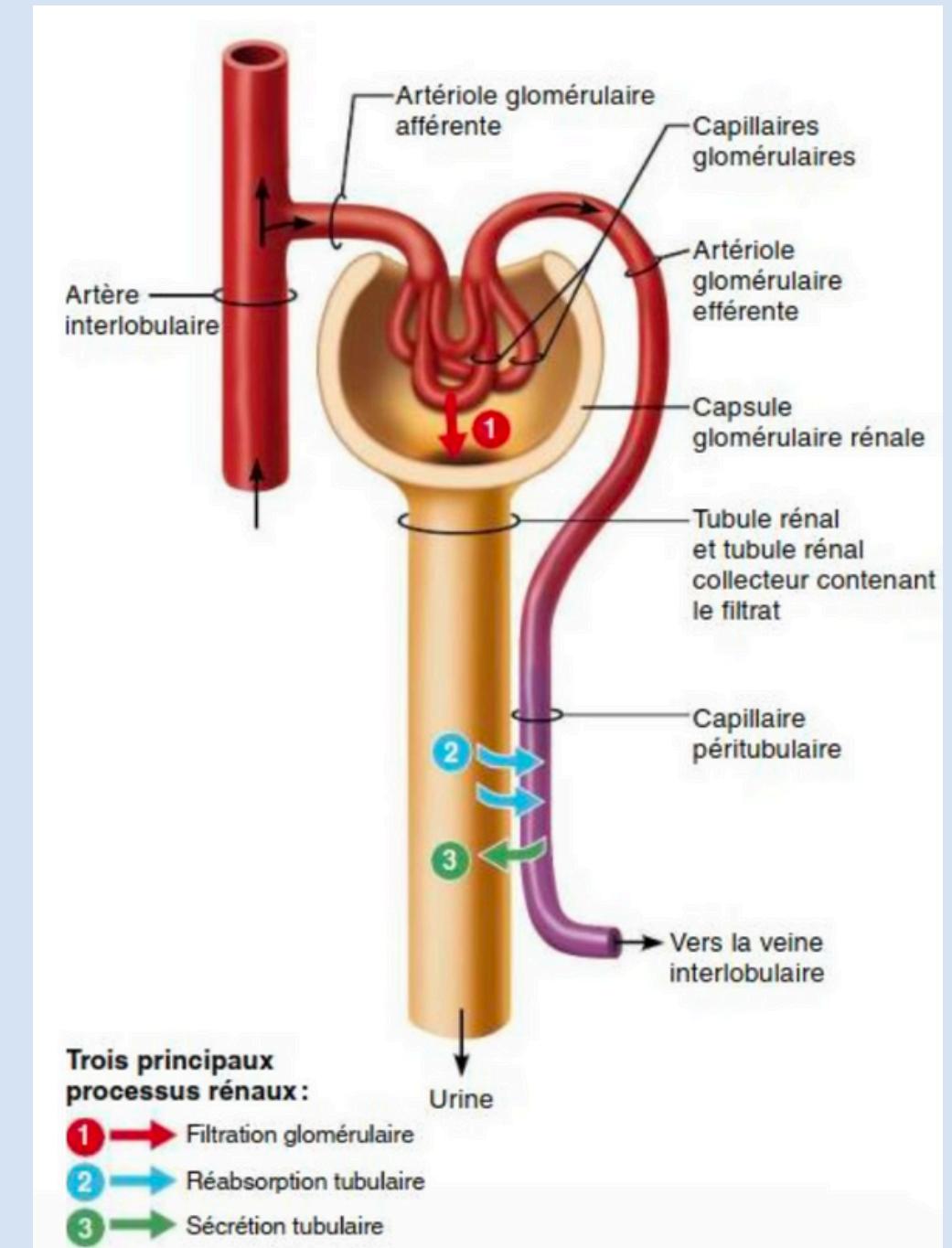
TAI et TAII

## Récapitulatif :

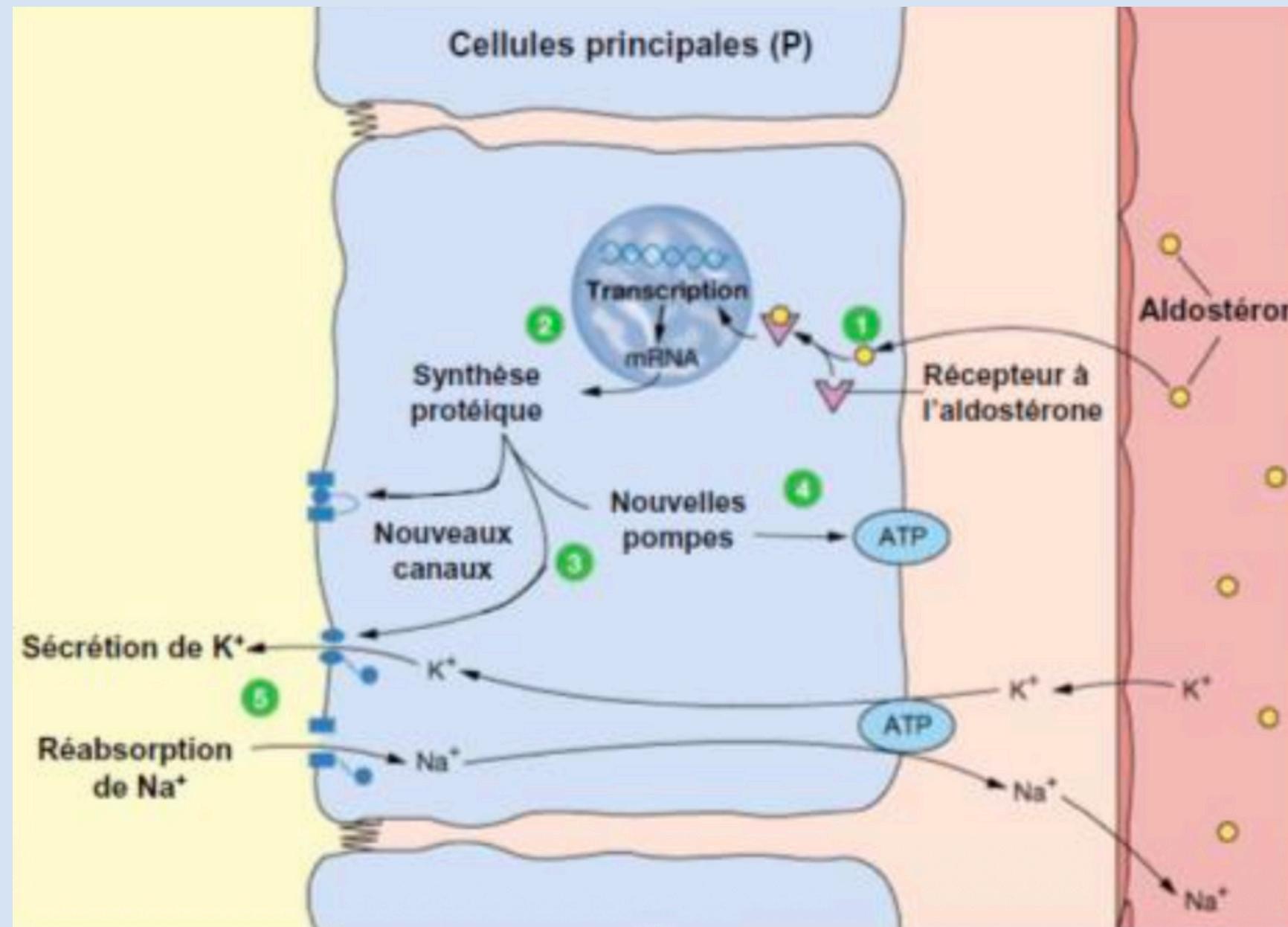
- ✓ Transfert des solutés et de l'eau du filtrat vers le sang
- ✓ La majorité du filtrat est réabsorbée sauf les déchets : réabsorption sélective
- ✓ Le sodium est très important dans la réabsorption tubulaire :
  - Transport actif I : pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase : le gradient sodique créé par la pompe Na/K ATPase est la principale force motrice de la réabsorption
  - Transport actif II :  $\text{Na}^+$ /glucose, acides aminés, vitamines..
  - Réabsorption de l'eau par osmose : suit le  $\text{Na}^+$
  - Réabsorption passive ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ...)
- Les segments du tubule rénal ont des caractéristiques différentes de réabsorption
  - TCP** : Réabsorption de masse et obligatoire (pas de régulation hormonale)
  - AH** : branche descendante perméable à l'eau
    - branche ascendante perméable au NaCl : transporteur NKCC apical
  - TCD 1<sup>ère</sup> partie** : même caractéristiques que l'AH : transporteur NCC apical
  - AH + TCD : segment diluant du tubule
- TCD 2<sup>nde</sup> partie TC** : réabsorption de sodium en présence d'aldostérone et d'eau en présence d'ADH

# La sécrétion tubulaire

- Définition : Passage de l'eau et des solutés du sang vers le filtrat glomérulaire
- Substances concernées :
  - Ions ( $K^+$  et  $H^+$ )
  - Déchets (Métaboliques et exogènes)



# Équilibre potassique



# Équilibre acido-basique

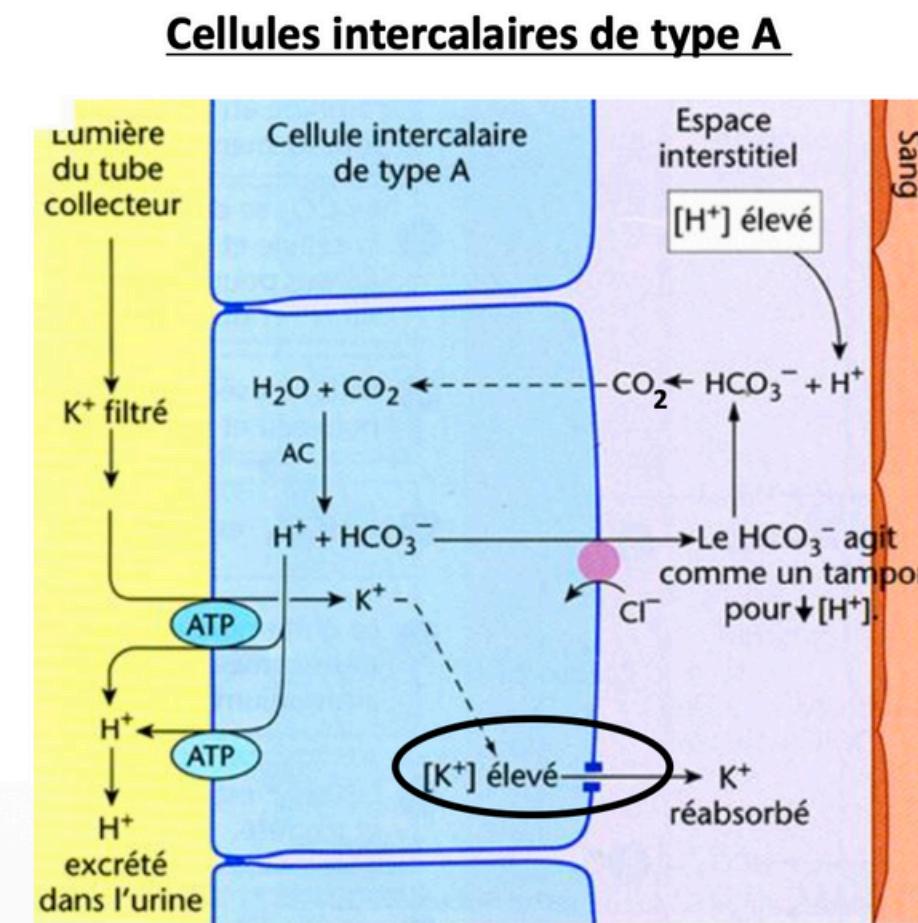
## Dans le tube collecteur: face à une charge acide

- Sécrétion  $H^+$
- Régénération des  $HCO_3^-$

- Pôle apical :
  - $H^+$  ATPase,
  - $H^+/K^+$  ATPase

- Pôle basal
  - antiport  $HCO_3^-/Cl^-$

**La sécrétion de  $H^+$  est associée à une réabsorption de  $K^+$**



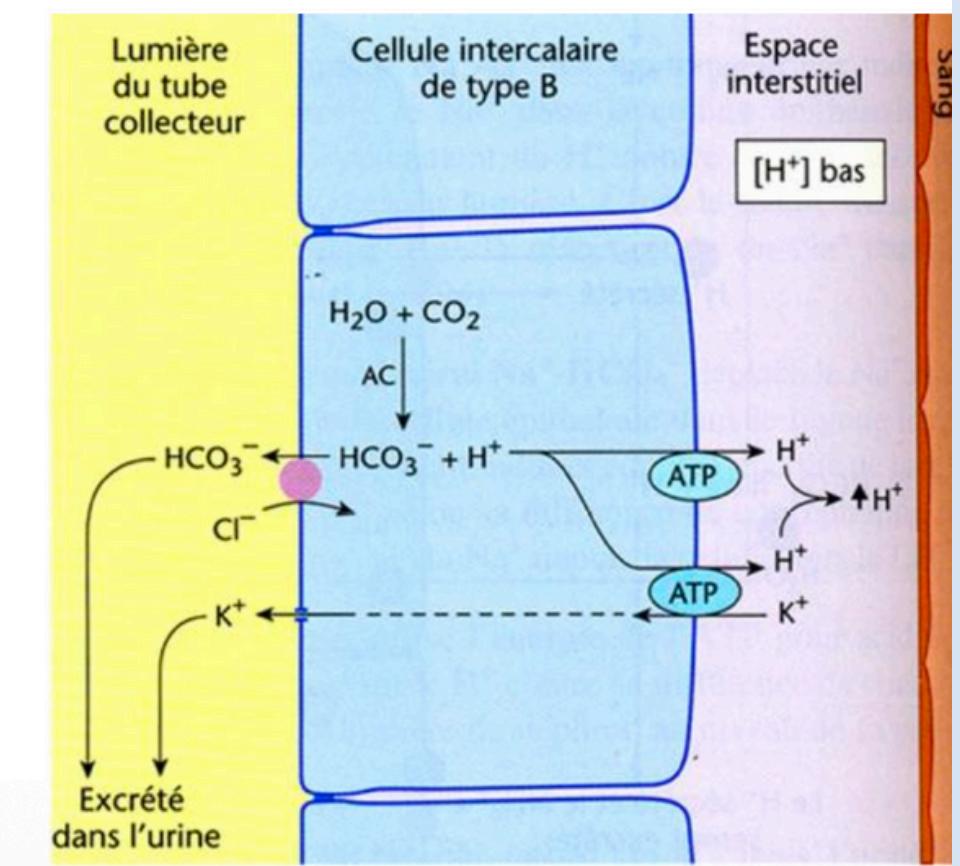
## Dans le tube collecteur : Face à une charge alcaline

- Sécrétion des  $HCO_3^-$
- Réabsorption de  $H^+$

- Polarité inversée / type A

- Pôle apical :
  - Échangeur  $HCO_3^-/Cl^-$
- Pôle basal
  - $H^+$  ATPase,
  - Echangeur  $H^+/K^+$  ATPase

## Cellules intercalaires de type B



# **Clairance rénale et gradient cortico-médullaire**

## LA CLAIRANCE RENALE

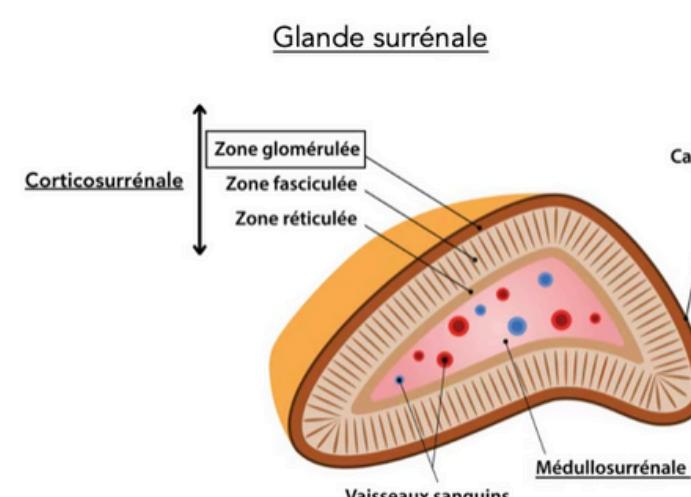
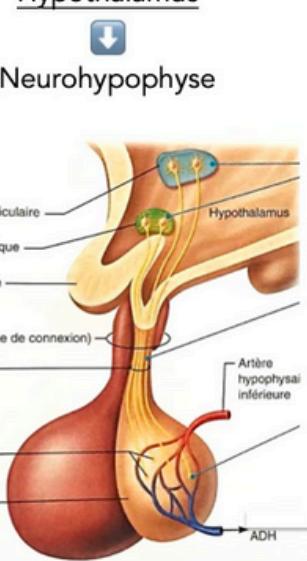
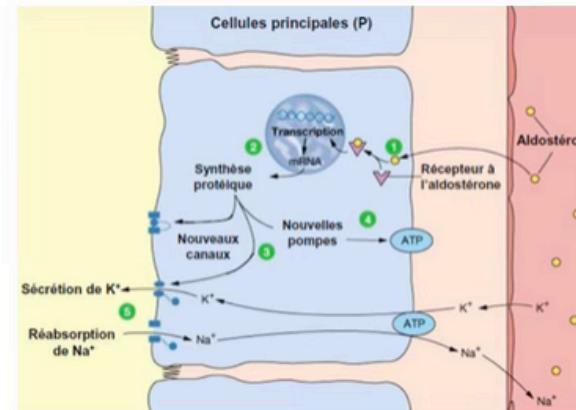
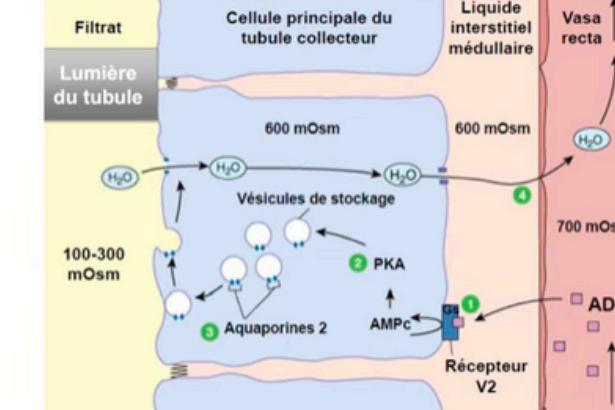
Volume de plasma complètement épuré d'une substance en 1 minute (par filtration et/ou sécrétion)

$$C \text{ (ml/min)} = \frac{[x]_u \text{ (mg/ml)} \times \text{débit urinaire (ml/min)}}{[x]_p \text{ (mg/ml)}}$$

Valeur de CR	Interprétation physiologique	Explication simple	Exemple concret	⋮
CR = 0	<b>Réabsorption totale</b>	La substance a été filtrée mais le rein la reprend entièrement → rien n'est éliminé dans les urines	Glucose (normalement 100 % réabsorbé dans le tube proximal)	
CR < 120 mL/min	<b>Réabsorption partielle ou filtration incomplète</b>	Le rein réabsorbe une partie de la substance, donc moins est éliminé qu'une molécule librement filtrée	Urée (filtrée, puis en partie réabsorbée pour réguler l'osmolarité)	
CR ≈ 120 mL/min	<b>Ni réabsorbée, ni sécrétée</b>	Tout ce qui est filtré est éliminé, rien n'est repris ni ajouté	Inuline (de référence), Crétatinine (approximativement identique)	
CR > 120 mL/min	<b>Sécrétion tubulaire</b>	Le rein ajoute activement la substance dans les urines → plus éliminée que ce qui est filtré	PAH (para-aminohippurate), certains médicaments comme la pénicilline	

# **Les 3 fonctions endocrines du rein**

# Système rénine-angiotensine-aldostérone

Hormones rénales		
Définition	Aldostérone	ADH (Hormone anti-diurétique = Vasopressine)
Synthèse	<p>Glande surrénale</p> 	<p>Hypothalamus</p> 
Stimuli	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓PA (SRAA)</li> <li>• HypoNa<sup>+</sup></li> <li>• HyperK<sup>+</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓PA (SRAA)</li> <li>• ↑Osmolarité plasmatique (Déshydratation)</li> </ul>
Fonction	<p>Synthèse de pompes Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPase, de canaux Na<sup>+</sup> et de canaux K<sup>+</sup></p> <p>↑Réabsorption de Na<sup>+</sup> et donc d'H<sub>2</sub>O + ↑Sécrétion K<sup>+</sup></p> 	<p>Synthèse d'aquaporines</p> <p>↑Réabsorption d'H<sub>2</sub>O</p> 

$\downarrow \text{PHg} \rightarrow \downarrow \text{PNF} \rightarrow \downarrow \text{DFG} \rightarrow \downarrow \text{NaCl}$   
filtré  $\rightarrow \downarrow \text{NaCl}$  détecté par les cellules de la macula densa

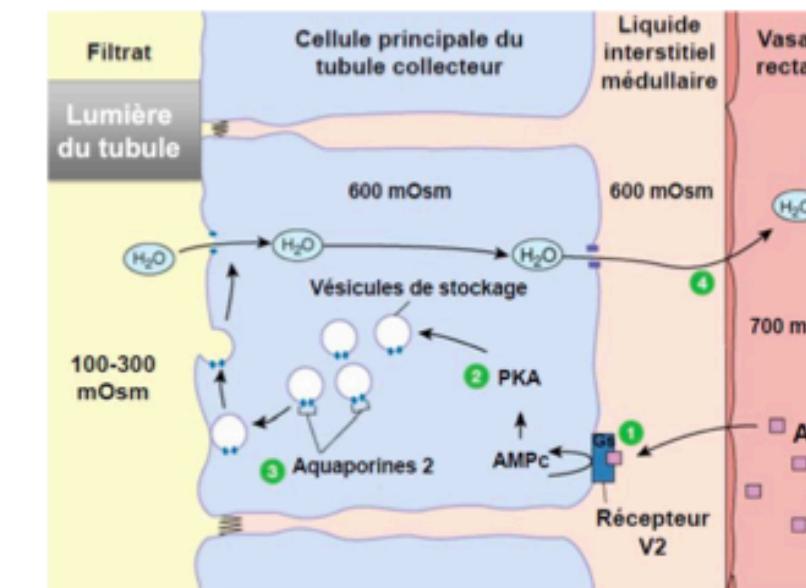
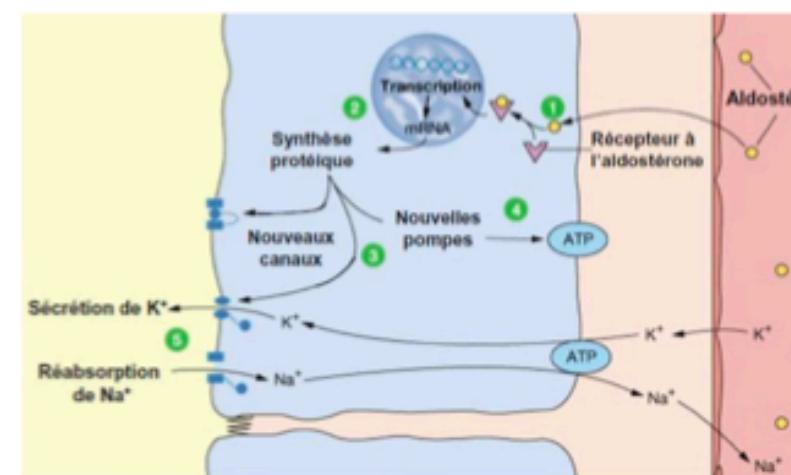


$\rightarrow \downarrow P^o\text{AA} \rightarrow \downarrow$  Étirement des CML de l'AA

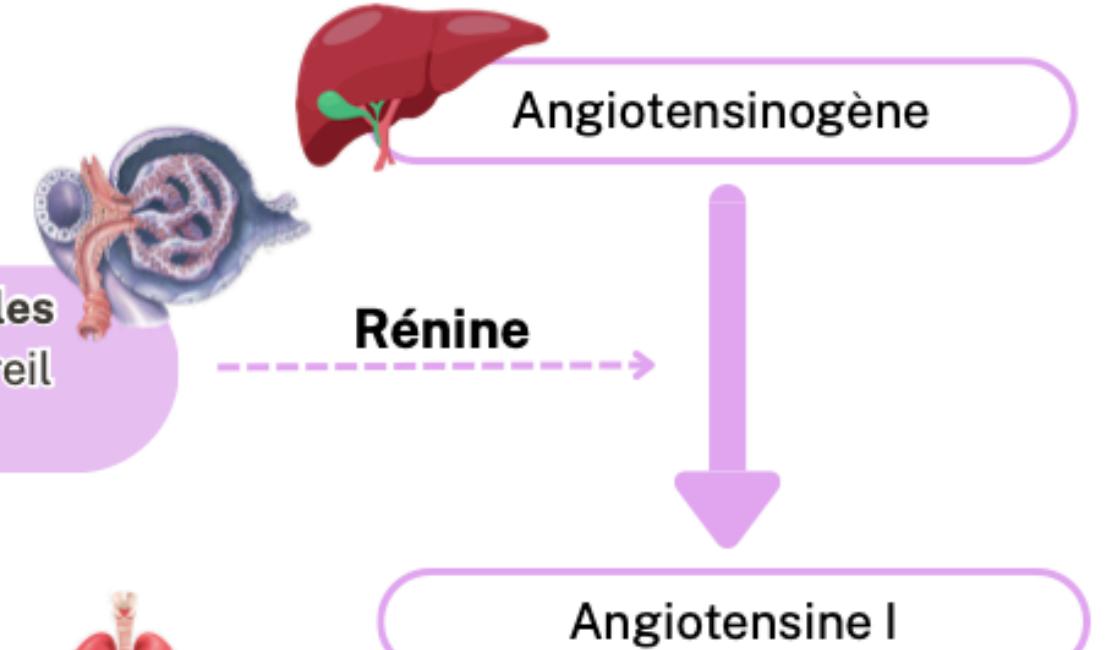
Détection par les barorécepteurs aortiques et carotidiens  $\rightarrow$   
 $\uparrow$  Activité sympathique

$\uparrow$  Volume sanguin

$\uparrow$  PA



Stimulation des **cellules granulaires** de l'appareil juxtaglomérulaire



**Sécrétion d'aldostérone**

Synthèse de pompes  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase,  
de canaux  $\text{Na}^+$  et de canaux  $\text{K}^+$   $\rightarrow$   
 $\uparrow$  Réabsorption de  $\text{Na}^+$  (et donc  
d' $\text{H}_2\text{O}$ ) et  $\uparrow$  Sécrétion  $\text{K}^+$

**Sécrétion d'ADH**

Synthèse d'aquaporines  $\rightarrow$   
 $\uparrow$  Réabsorption d' $\text{H}_2\text{O}$

**Angiotensine I**

ECA

**Angiotensine II**

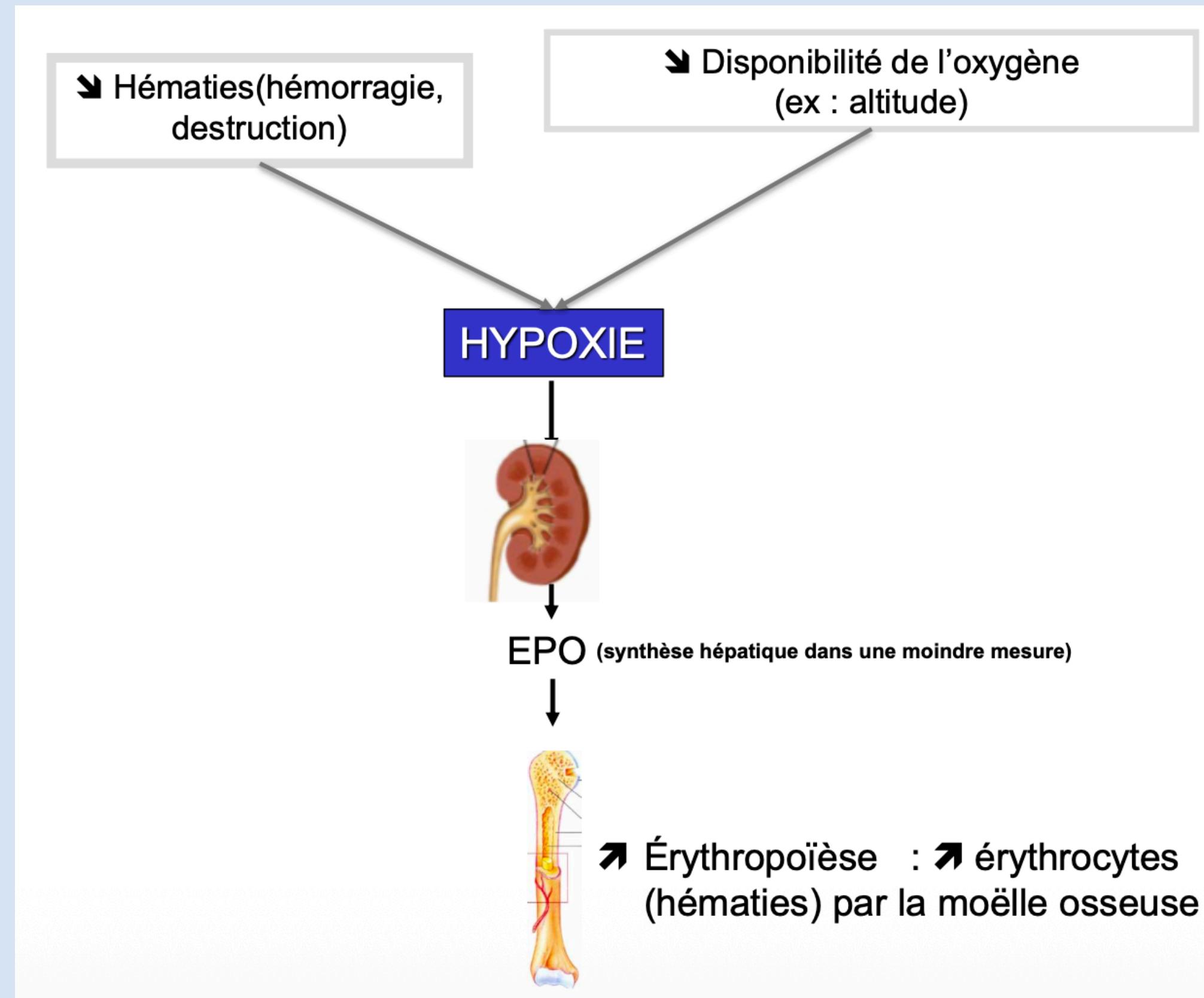
**Soif**

$\uparrow$  Apports hydriques

**Vasoconstriction**

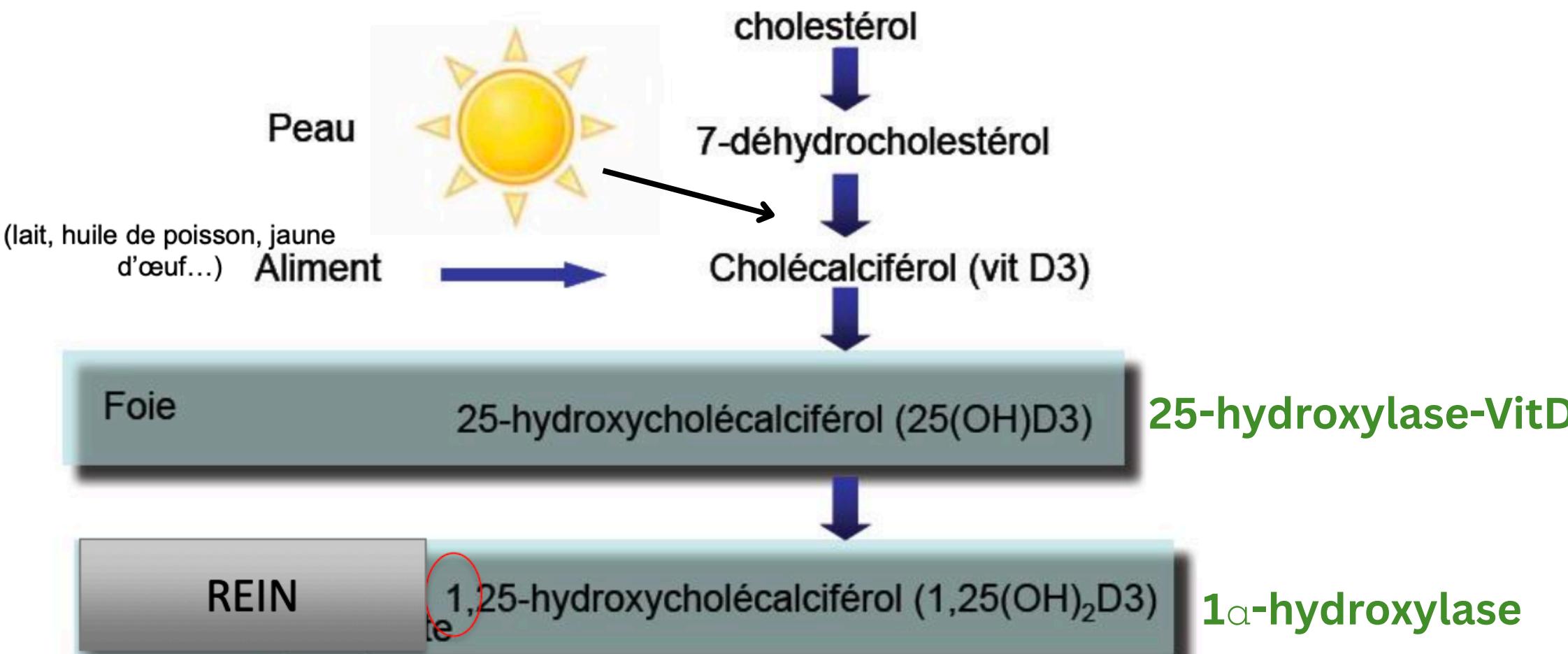
$\uparrow$  Résistance périphérique

# Synthèse d'érythropoïétine



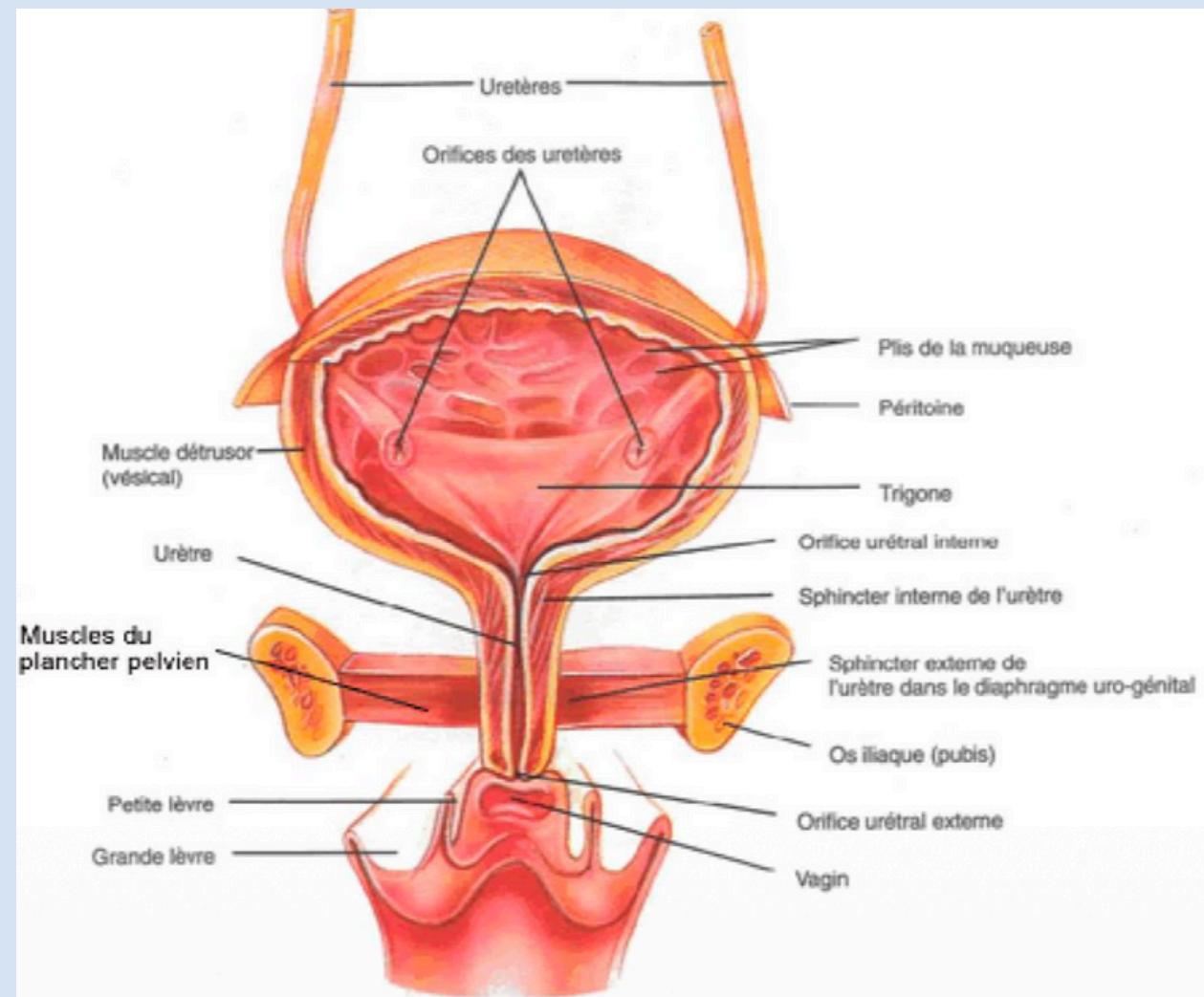
# Synthèse de la vitamine D (Calcitriol)

Pour obtenir la **forme active** de la vitamine D : calcitriol  
2 hydroxylations successives au niveau du **foie** et au niveau du **rein**





**La miction**



- 1 muscle lisse creux (Détrusor)

- 2 sphincters

- Sphincter urétral interne (CML)
- Sphincter urétral externe (CMS)

- 1 urètre (Plus long chez l'homme que chez la femme)

**Diurèse : 1 à 2 L/j**

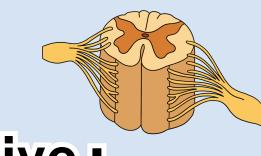
Miction		
	Composants physiologiques	Composants pathologiques
<b>Composition de l'urine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eau (95%)</li> <li>• Déchets (Urée ; Crétatimine ; Acide urique ; TTT)</li> <li>• Ions (Na+ ; K+ ; Cl-)</li> <li>• Pigments biliaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hématies</li> <li>• Hémoglobine</li> <li>• Glucose</li> <li>• Protéines</li> <li>• Albumine</li> </ul>
	<b>Remplissage</b>	<b>Vidange</b>
<b>Détrusor</b>	<b>Relaxation</b>	<b>Contraction</b>
<b>Sphincter interne</b>	<b>Contraction</b>	<b>Relaxation</b>
<b>Sphincter externe</b>	<b>Contraction</b>	<b>Relaxation</b>

- Contrôle encéphalique



- Contrôle médullaire

- Innervation végétative :



- Innervation sympathique (Dorso-lombaire)
- Innervation parasympathique (Sacré)
- Innervation somatique (Nerf pudendal sacré)