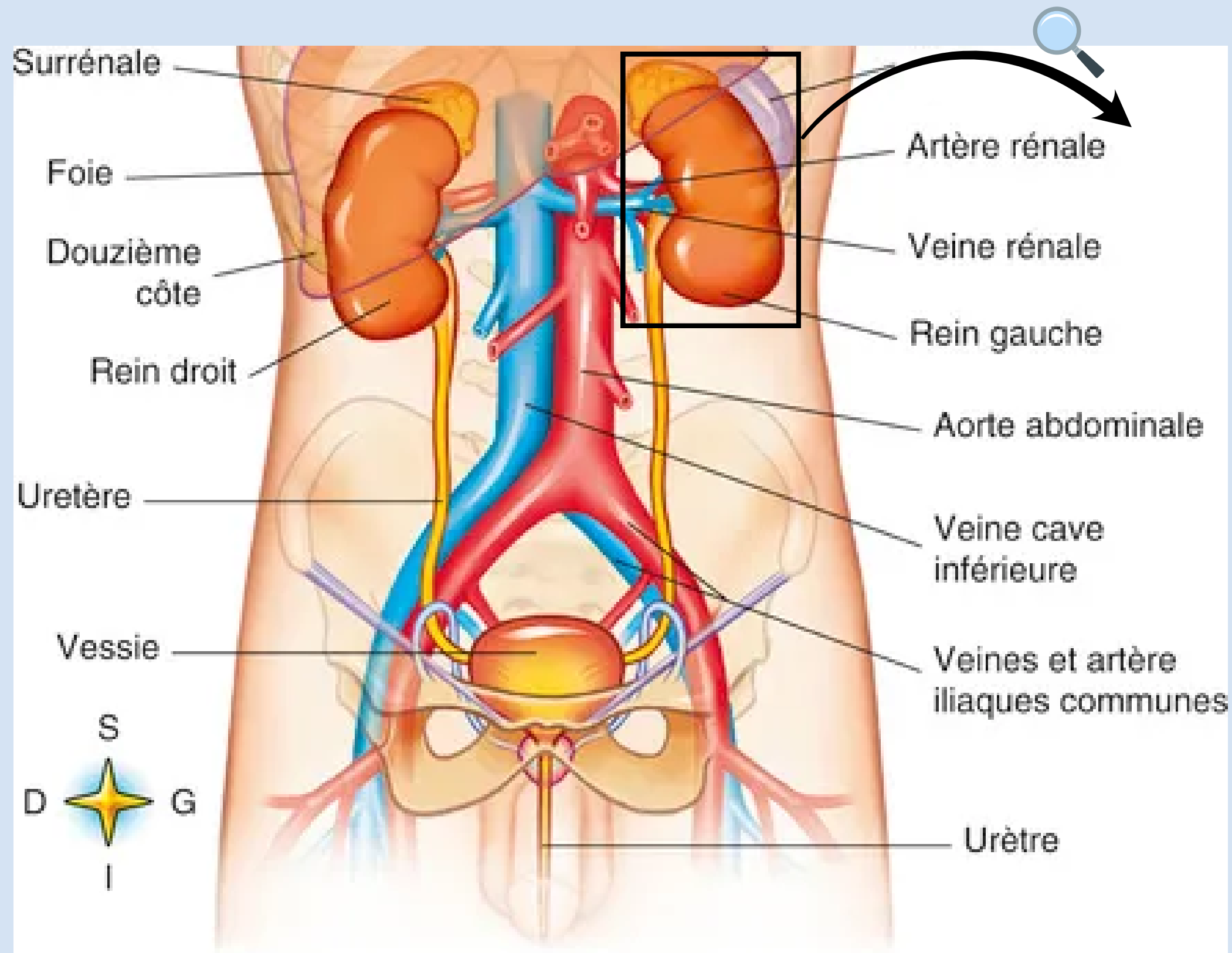


Physiologie rénale

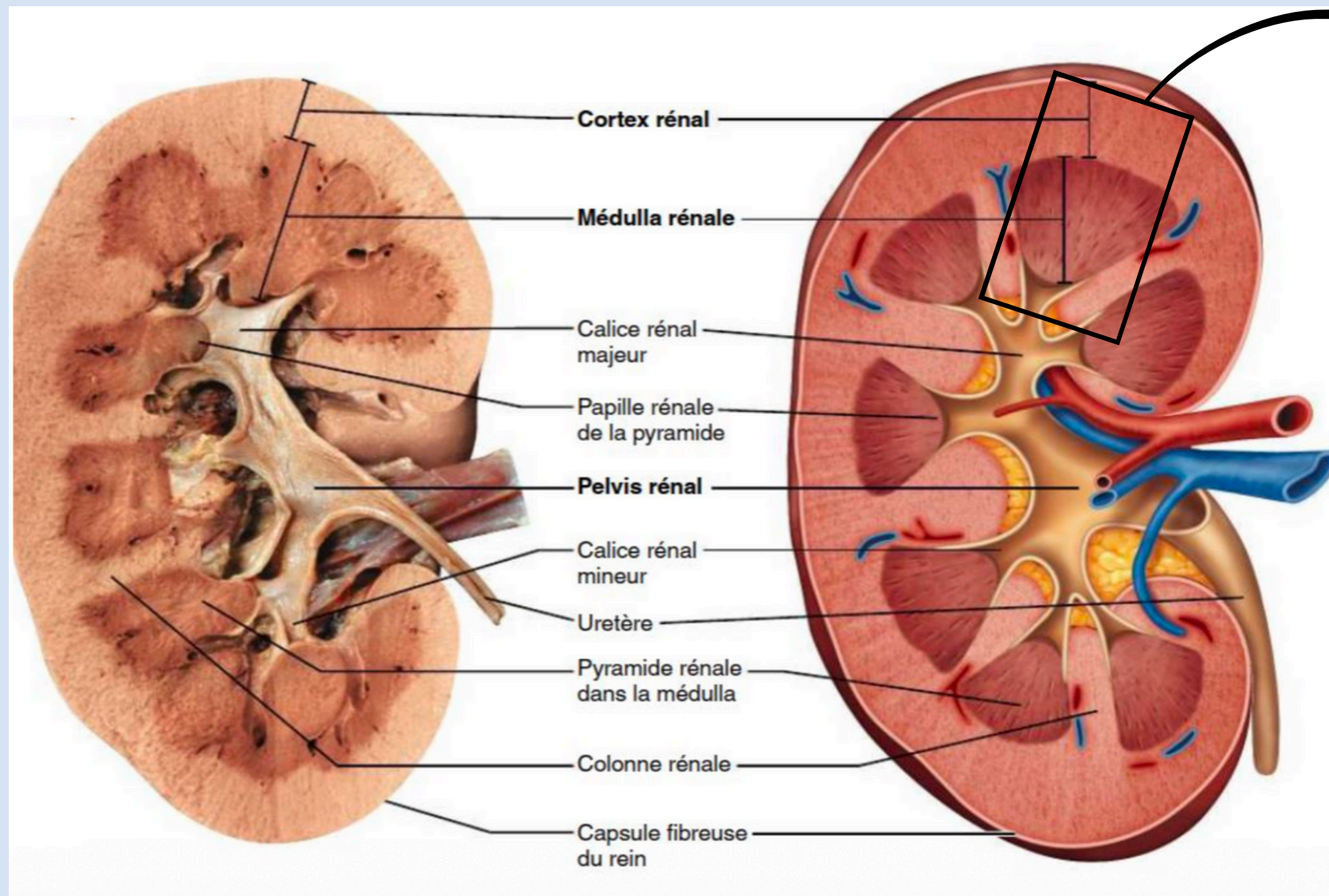
Hortense Meyjonnade - DFASM2
Année 2025-2026

L'appareil urinaire



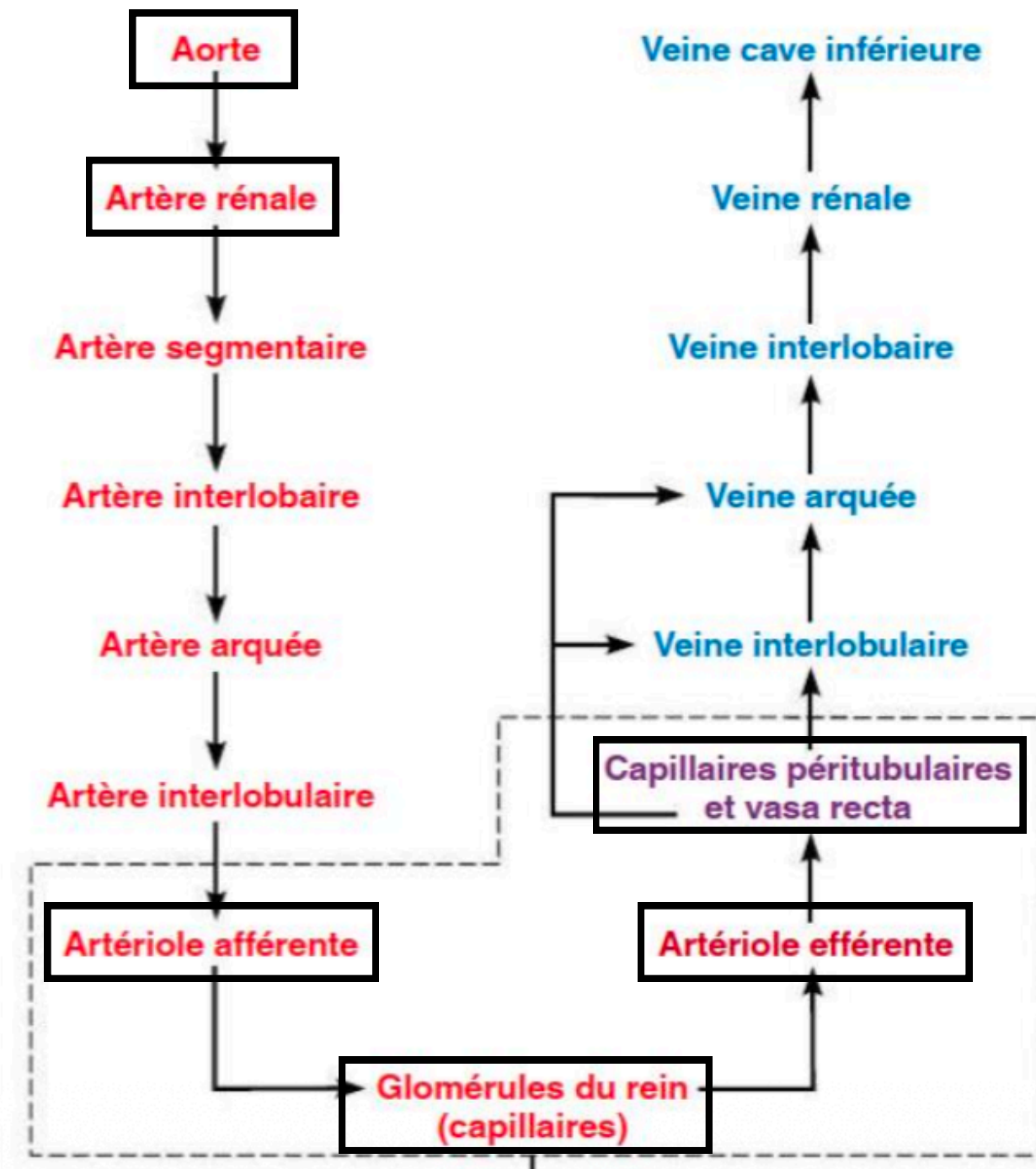
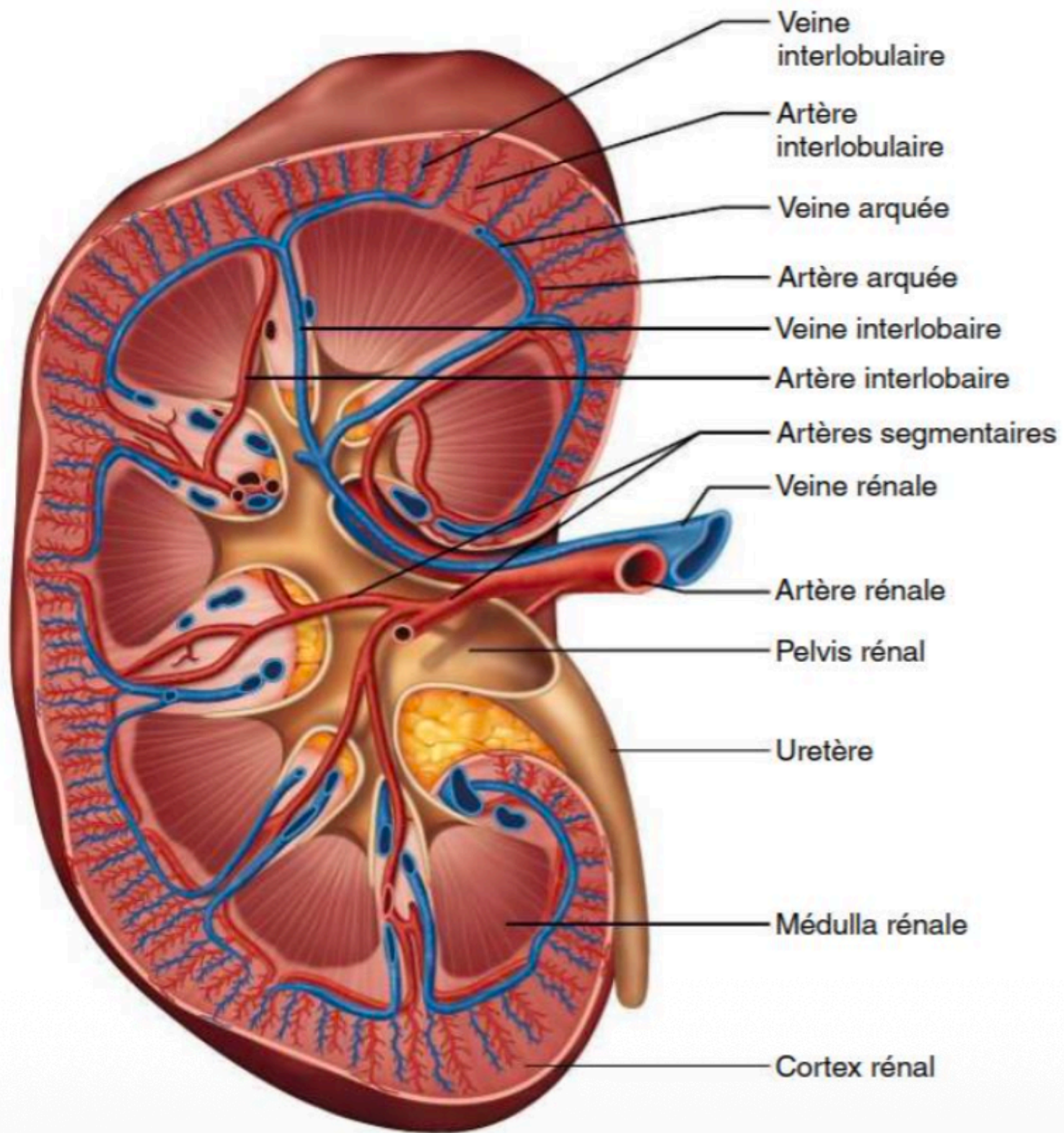
- 2 reins : **Production** de l'urine
- 2 uretères : **Transport** de l'urine
- 1 vessie : **Stockage** de l'urine
- 1 urètre : **Élimination** de l'urine

Le rein



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

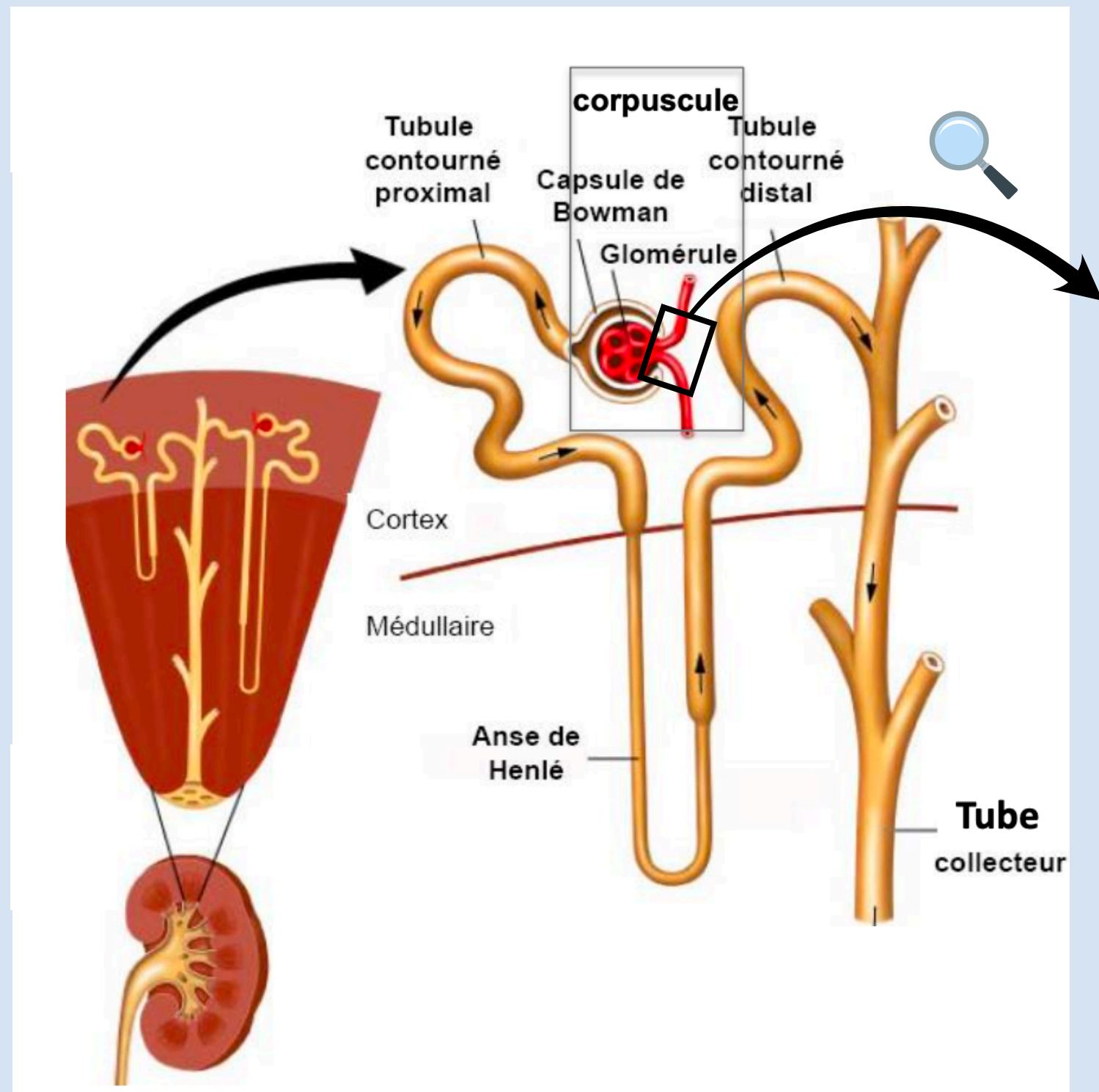
Papilles ➡ Calices mineurs /majeurs ➡ Pelvis ➡ Urètre





Il y a 1 million
de néphrons
par rein !

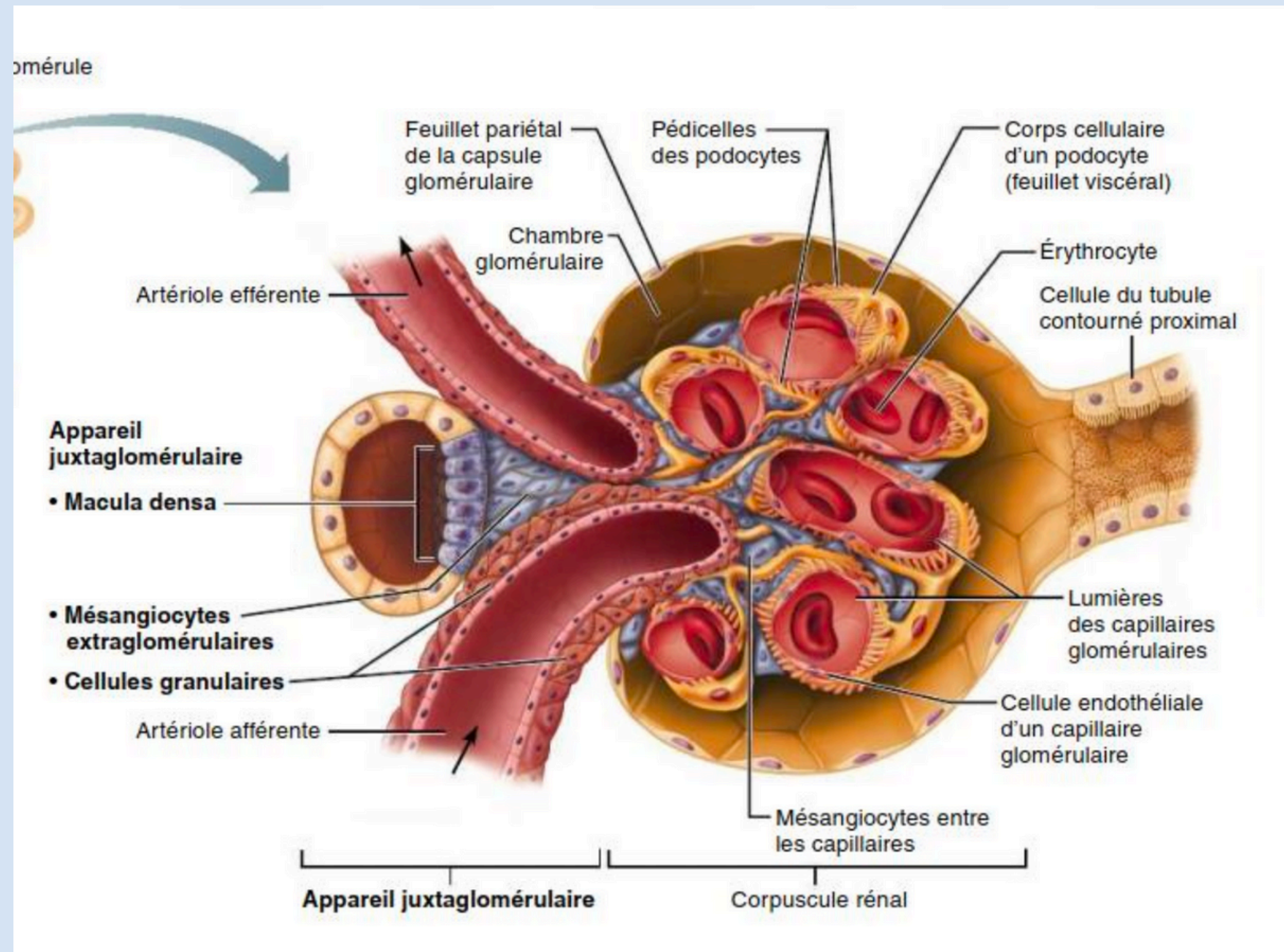
Le néphron, unité fonctionnelle du rein



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

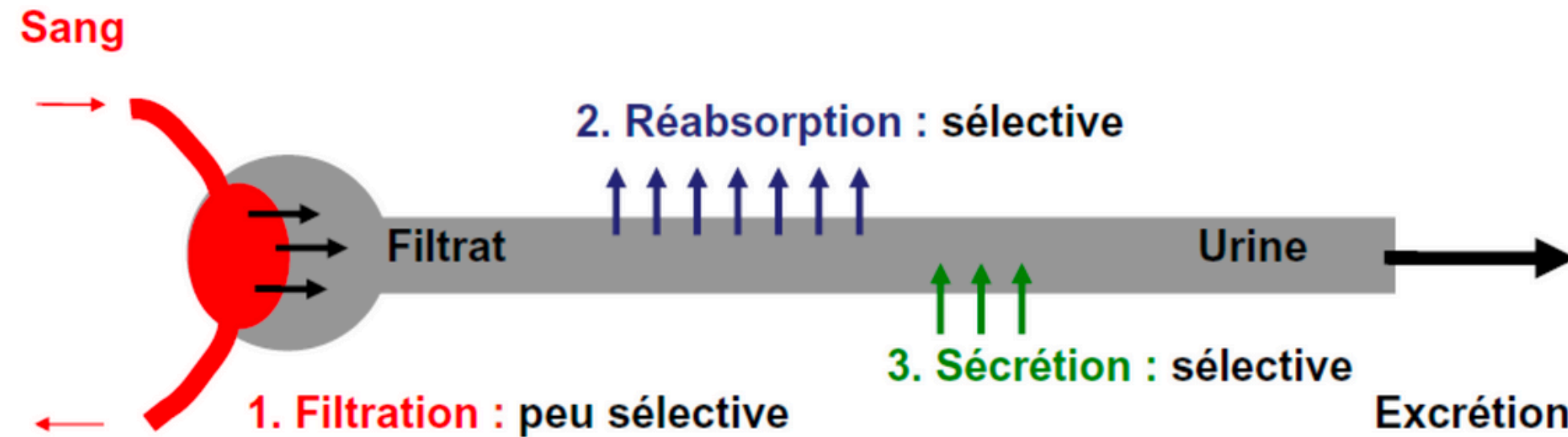
Néphrons corticaux	Néphrons juxtaglomérulaires
80 %	20 %
Anse courte	Anse longue
Capillaires péri-tubulaires	Vasa recta

L'appareil juxtaglomérulaire



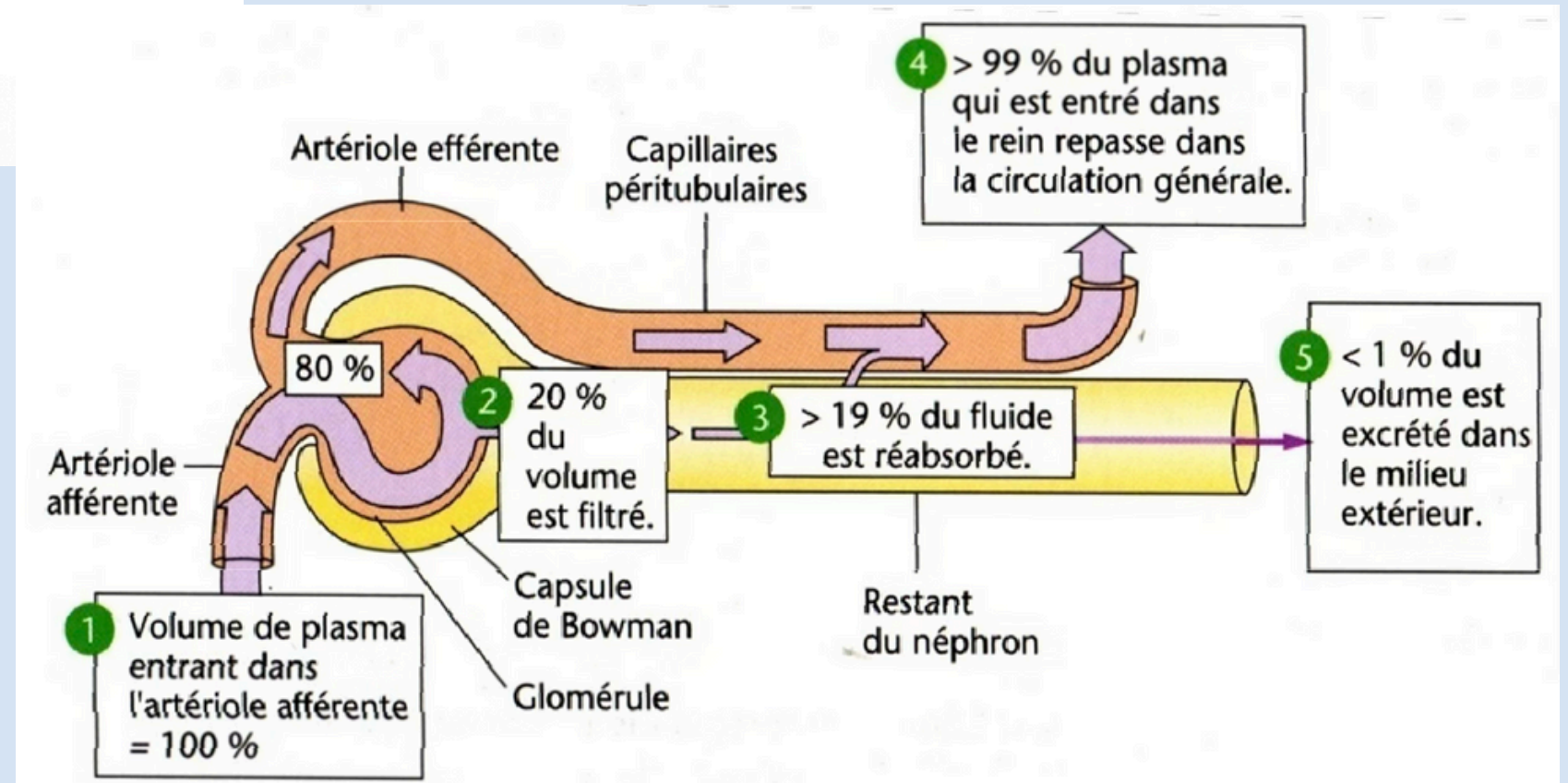
- **Mésangiocytes**
- **Cellules de la macula densa**
 - TCD
 - Chimiorécepteurs au NaCl
- **Cellules granulaires (Rénine)**
 - Paroi AA
 - Barorécepteurs à la PA

3 processus



Quantité excrétée = quantité filtrée – quantité réabsorbée + quantité sécrétée

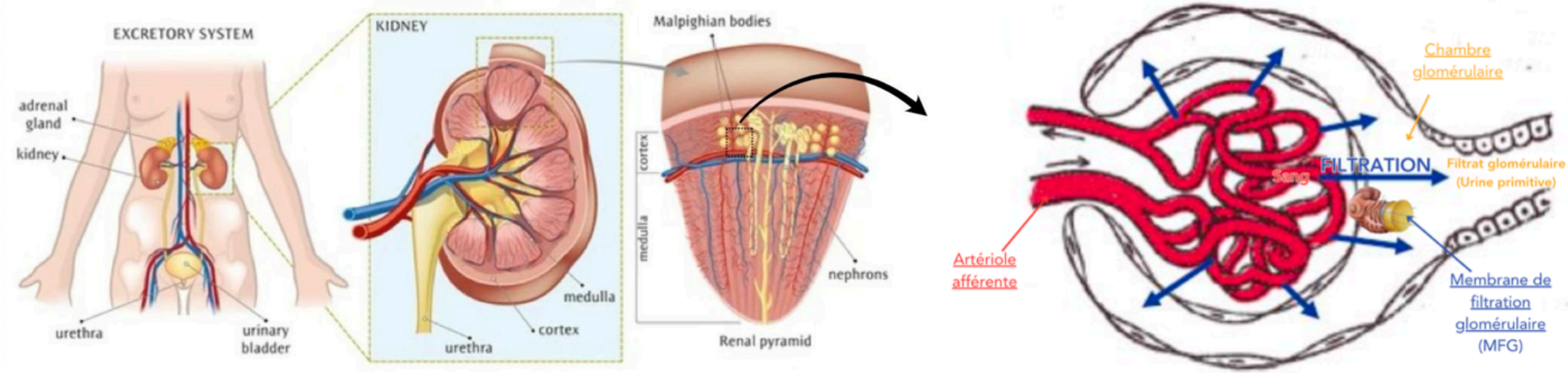
Excrétion : élimination d'une substance dans les urines



La filtration glomérulaire

Définition de la filtration

➡ Localisation : Corpuscule rénal



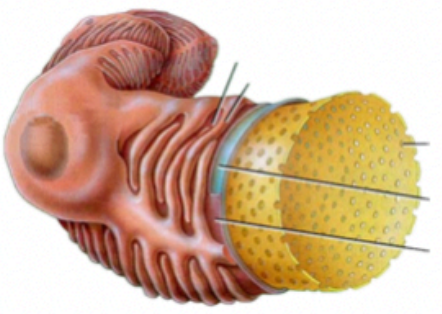
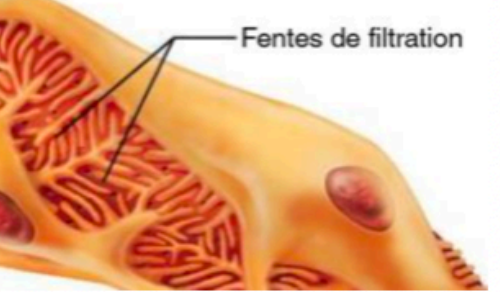
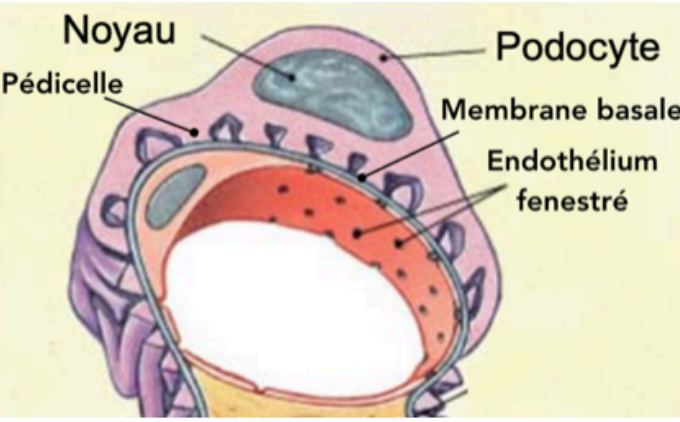
Unidirectionnelle

Artériole afférente ➡ Chambre glomérulaire

Peu sélective

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

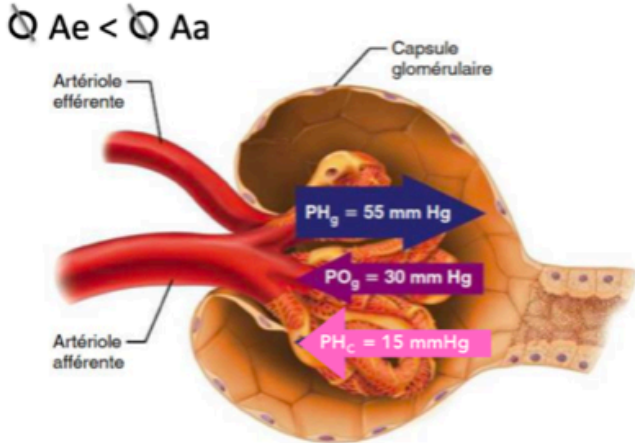
Propriétés de la filtration

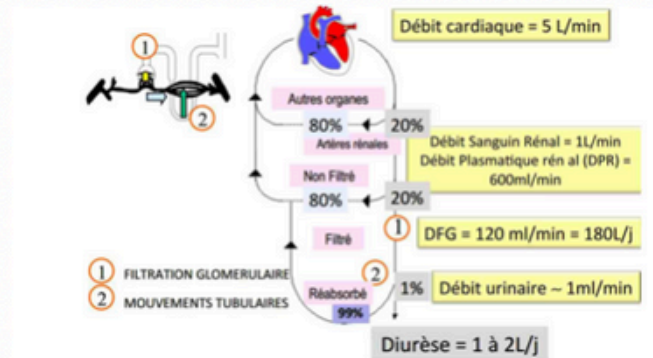
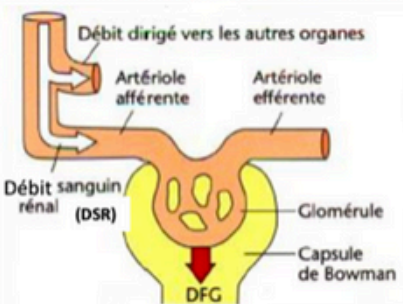
Passive

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

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

Pression		Définition	Filtration	Valeur
Artériole afférente	PH _g	Pression exercée par le sang sur la paroi intérieure des capillaires glomérulaires	✓	55 mmHg
	PO _g	Pression exercée par les protéines plasmatiques contenues dans les capillaires glomérulaires (Attraction de l'eau)	✗	30 mmHg
Chambre glomérulaire	PH _c	Pression exercée par le filtrat glomérulaire sur la paroi extérieure des capillaires glomérulaires (Confinement dans un petit espace dont la sortie est étroite)	✗	15 mmHg
	PO _c	Pression exercée par les protéines contenues dans la chambre glomérulaire (De manière physiologique, pas de protéinurie)		0 mmHg

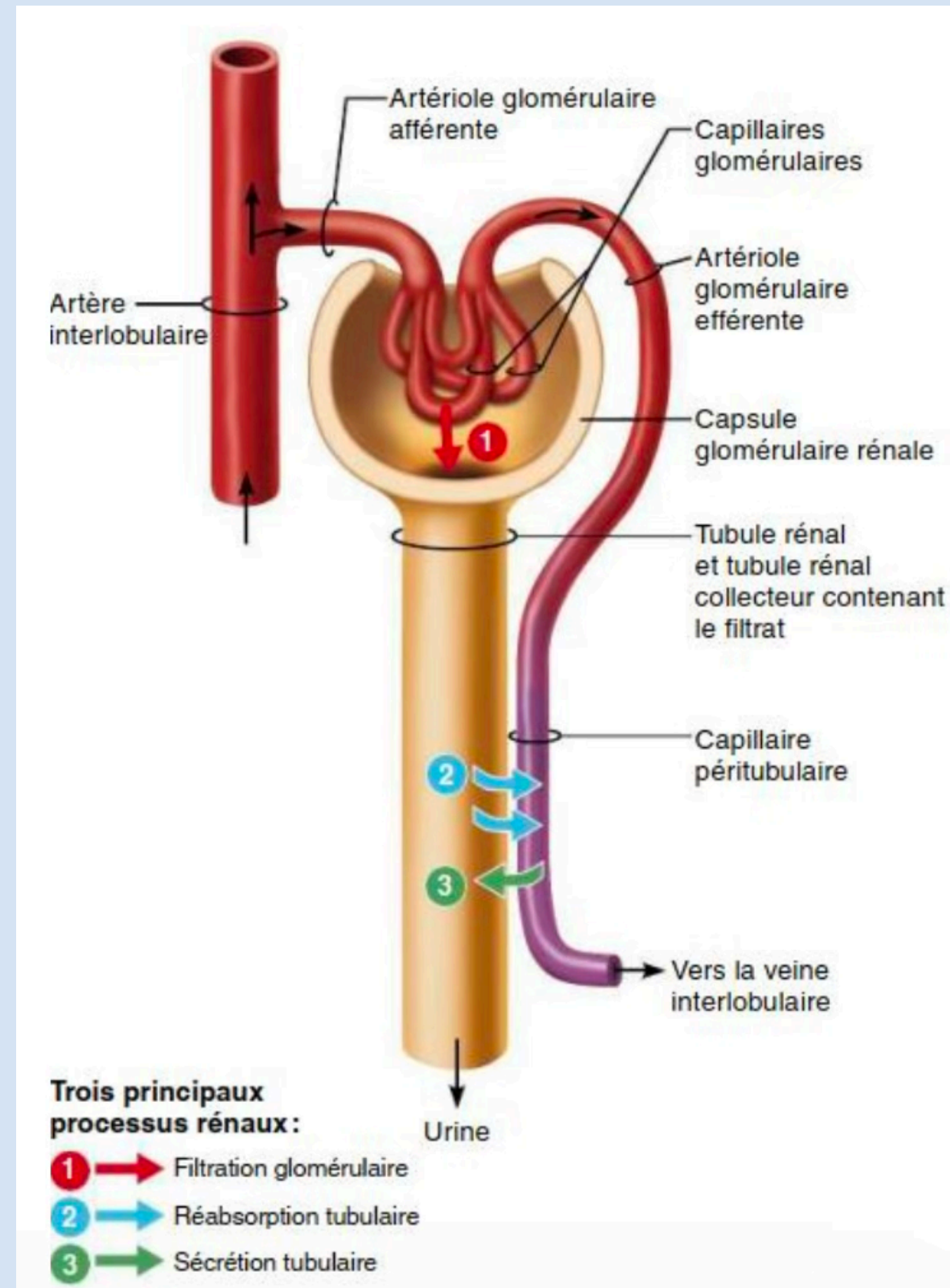


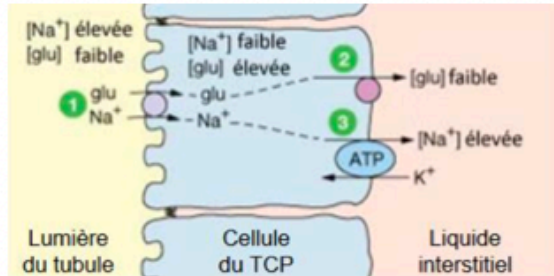
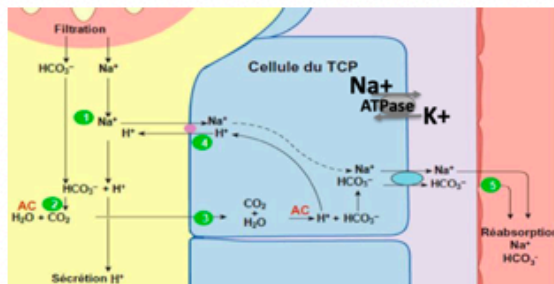
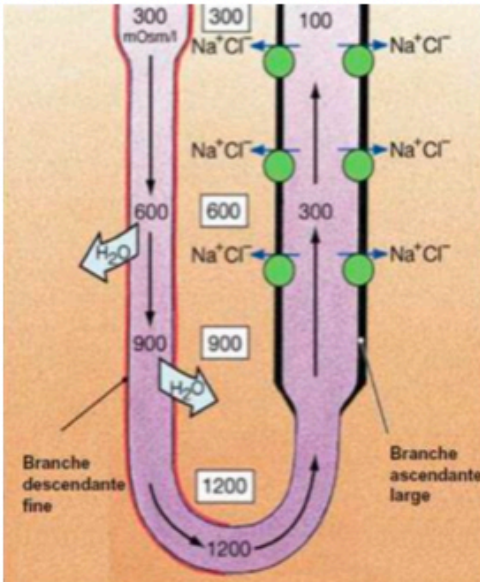
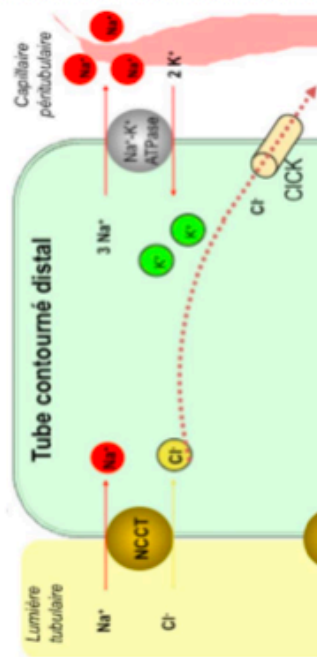
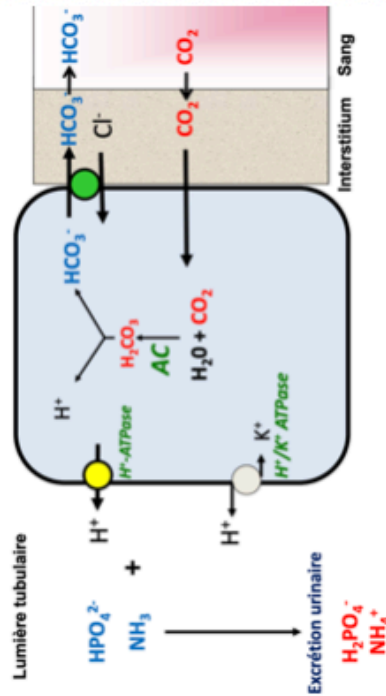
Débits	Débit sanguin rénal	Débit plasmatique rénal	Débit de filtration glomérulaire	
	DSR	DPR	DFG	
	Volume de sang arrivant aux reins par minute	Volume de plasma arrivant aux reins par minute	Volume de plasma filtré par les reins par min = Volume de filtrat glomérulaire formé par min	
	DSR = Dc x 20% = 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	
	Fonction rénale normale = DFG ≥ 90 mL/min			
Mécanismes d'autorégulation	DFG = PNF x K _f			
	Pression nette de filtration (PNF)		Coefficient de filtration (K _f)	
	PNF = PHg - (POg + PHc)		K _f = Surface x Perméabilité	
	<ul style="list-style-type: none">• <u>PHg</u> : PA (Physiologique)<ul style="list-style-type: none">- ↑PA => ↑PHg => ↑PNF => ↑DFG => Passage trop rapide du filtrat empêchant une bonne réabsorption- ↓PA => ↓PHg => ↓PNF => ↓DFG => Peu de filtration empêchant l'élimination des déchets qui s'accumulent➡ 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.• <u>POg</u> : Quantité de protéines dans le sang (Pathologique)<ul style="list-style-type: none">- ↑ => Cancer- ↓ => Défaut de synthèse (Dénutrition ; Insuffisance hépatique) ou Augmentation des perte (Sd néphrotique)• <u>PHc</u> : Obstruction de l'écoulement de l'urine (Pathologique)<ul style="list-style-type: none">- Maladie lithiasique		<ul style="list-style-type: none">• <u>Surface</u> : Contractilité des mésangiocytes• <u>Perméabilité</u>	
	Mécanisme vasculaire myogène		Rétrocontrôle tubuloglomérulaire (Cellules de la macula densa)	
	<div>Vasoconstriction artériolaire<ul style="list-style-type: none">- ↓ diamètre- ↑ pression en amont- ↓ débit en aval : ↓ pression</div>  <div>Vasodilatation artériolaire<ul style="list-style-type: none">- ↑ diamètre- ↓ pression en amont- ↑ débit en aval : ↑ pression</div>			
	↑PA => Étirement des CML de la paroi de l'AA => Ouverture des canaux Ca ²⁺ des CML => Entrée de Ca ²⁺ dans les CML => Contraction des CML => Vasoconstriction de l'AA => ↓PHg => ↓PNF => ↓DFG		↑PA => ↑PHg => ↑PNF => ↑DFG => ↑Filtration de NaCl => ↑Quantité de NaCl dans les urines et donc au niveau de l'appareil juxtaglomérulaire (Cellules de la macula densa) => Libération de molécules vasoconstrictives (Communication paracrine) => Vasoconstriction de l'AA => ↓PHg => ↓PNF => ↓DFG	
	↓PA => Relaxation des CML de la paroi de l'AA => Fermeture des canaux Ca ²⁺ des CML => Ø Entrée de Ca ²⁺ dans les CML => Ø Contraction des CML => Vasodilatation de l'AA => ↑PHg => ↑PNF => ↑DFG		↓PA => ↓PHg => ↓PNF => ↓DFG => ↓Filtration de NaCl => ↓Quantité de NaCl dans les urines et donc au niveau de l'appareil juxtaglomérulaire (Cellules de la macula densa) => Ø Libération de molécules vasoconstrictives (Communication paracrine) => Vasodilatation de l'AA => ↑PHg => ↑PNF => ↑DFG	

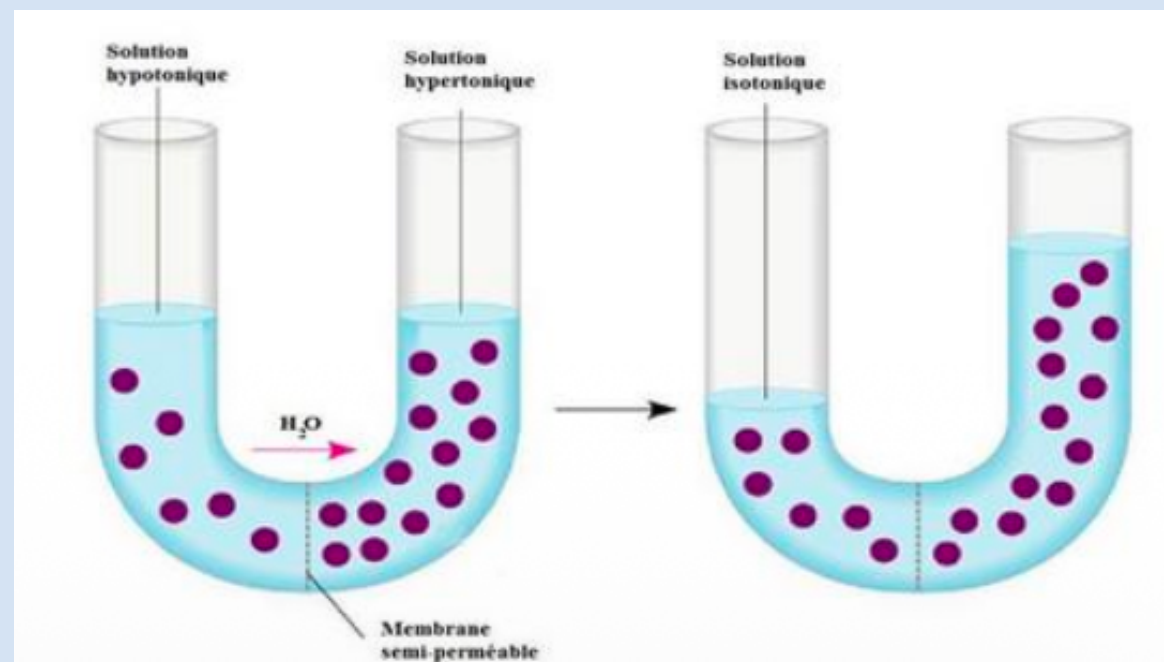
Récapitulatif : La filtration glomérulaire

- ✓ 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= 120ml/min imposé par une PNF de 10 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 densaMécanismes 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

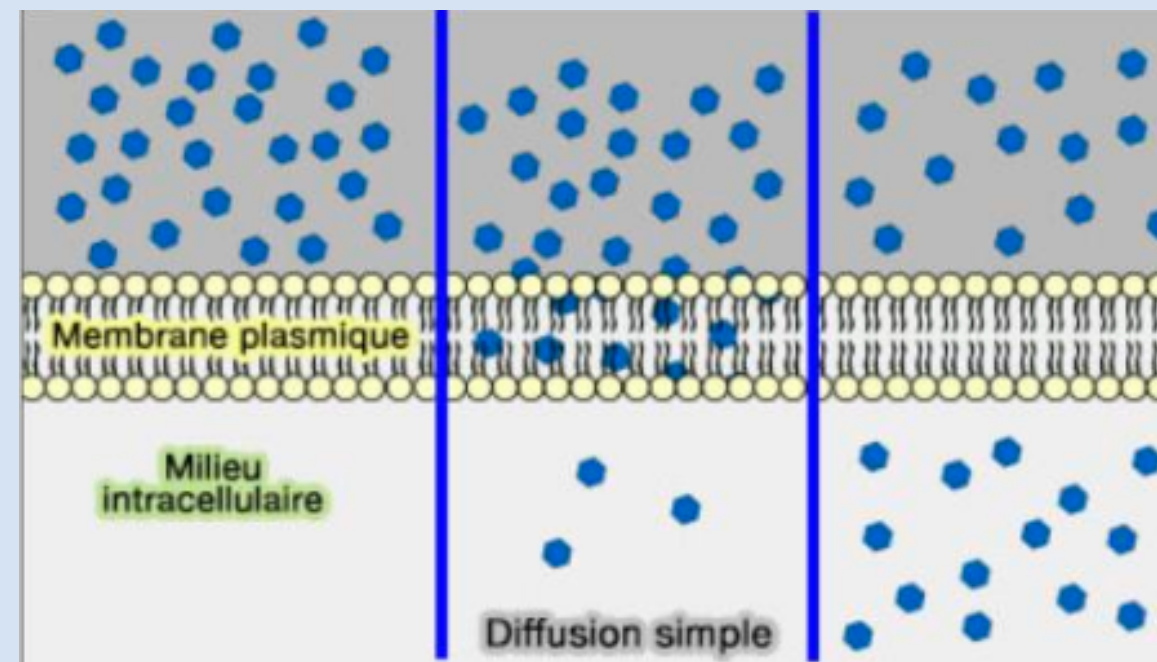
La réabsorption tubulaire



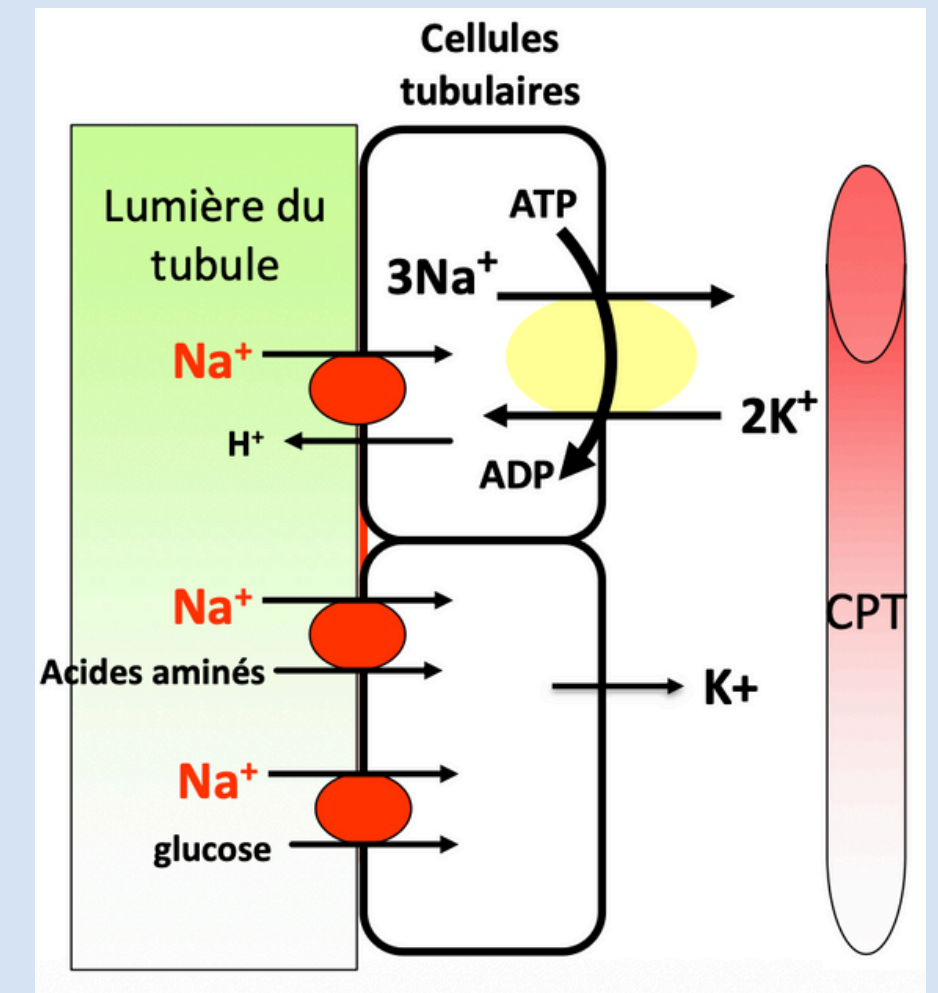
Définition de la réabsorption		<div>➡ <u>Définition</u> : La réabsorption tubulaire correspond aux transferts de l'eau et des solutés du filtrat glomérulaire vers le sang</div> <div>➡ <u>Localisation</u> : TCP - Anse de Henlé - TCD - TC</div>									
Propriétés de la réabsorption	Unidirectionnelle	Tubule ➡ Capillaires péri tubulaires / Vasarecta									
	Sélective	<table><tr><th>Réabsorption totale</th><th>Réabsorption partielle</th><th>Ø Réabsorption</th></tr><tr><td>Glucose</td><td>Eau Ions (Na⁺ ; K⁺ ; Cl⁻ ; HCO₃⁻) Urée (50%)</td><td>Déchets (Créatinine ; Urée)</td></tr></table>				Réabsorption totale	Réabsorption partielle	Ø Réabsorption	Glucose	Eau Ions (Na ⁺ ; K ⁺ ; Cl ⁻ ; HCO ₃ ⁻) Urée (50%)	Déchets (Créatinine ; Urée)
	Réabsorption totale	Réabsorption partielle	Ø Réabsorption								
Glucose	Eau Ions (Na ⁺ ; K ⁺ ; Cl ⁻ ; HCO ₃ ⁻) Urée (50%)	Déchets (Créatinine ; Urée)									
Passive et active	Réabsorption passive		Réabsorption active								
		Gradient		Contre-gradient (Saturable)							
		• Osmose (Moins concentré → Plus concentré) • Diffusion (Plus concentré → Moins concentré)		• Transport actif I ^{aire} (Hydrolyse d'ATP créant un gradient) • Transport actif II ^{aire} (Dépend d'un gradient instauré par le TAI)							
Portion du tubule	Tube contourné proximal +++++	Anse de Henlé		Tube contourné distal		Canal collecteur					
		Branche descendante	Branche ascendante	Portion initiale	Portion terminale						
Type de réabsorption	Réabsorption de masse et obligatoire	Réabsorption asymétrique		Réabsorption de NaCl	Réabsorption facultative (Contrôle hormonal)						
Substances réabsorbées	<ul style="list-style-type: none">• <u>Totale</u> :<ul style="list-style-type: none">- Glucose- AA- Vitamines• <u>Presque totale</u> :<ul style="list-style-type: none">- Phosphates- HCO₃⁻• <u>Importante</u> : Ions (65% du Na+)• <u>Obligatoire</u> : Eau (65%)	<div>Perméable à H₂O</div> <div>Imperméable à Na⁺</div> <div>↓</div> <div>Réabsorption H₂O</div> <div>↓</div> <div>↑ Osmolarité urinaire</div>	<div>Imperméable à H₂O</div> <div>Perméable à Na⁺</div> <div>↓</div> <div>Réabsorption Na⁺</div> <div>↓</div> <div>↓ Osmolarité urinaire</div>	<div>Imperméable à H₂O</div> <div>Perméable à Na⁺</div> <div>↓</div> <div>Réabsorption Na⁺</div> <div>↓</div> <div>↓ Osmolarité urinaire</div>	<ul style="list-style-type: none">• Na⁺ (Aldostérone)• H₂O (ADH)• HCO₃⁻						
Transporteurs	<div></div> <div>Symport Na⁺/Glucose</div> <div></div> <div>Symport Na⁺/HCO₃⁻</div>	<div></div> <div>Aquaporines / Symport NKCC</div> <div>➡ Création d'un gradient corticomédullaire</div>		<div></div> <div>Symport NCC</div>	<div></div> <div>Antiport HCO₃⁻/Cl⁻</div>						



Osmose



Diffusion simple



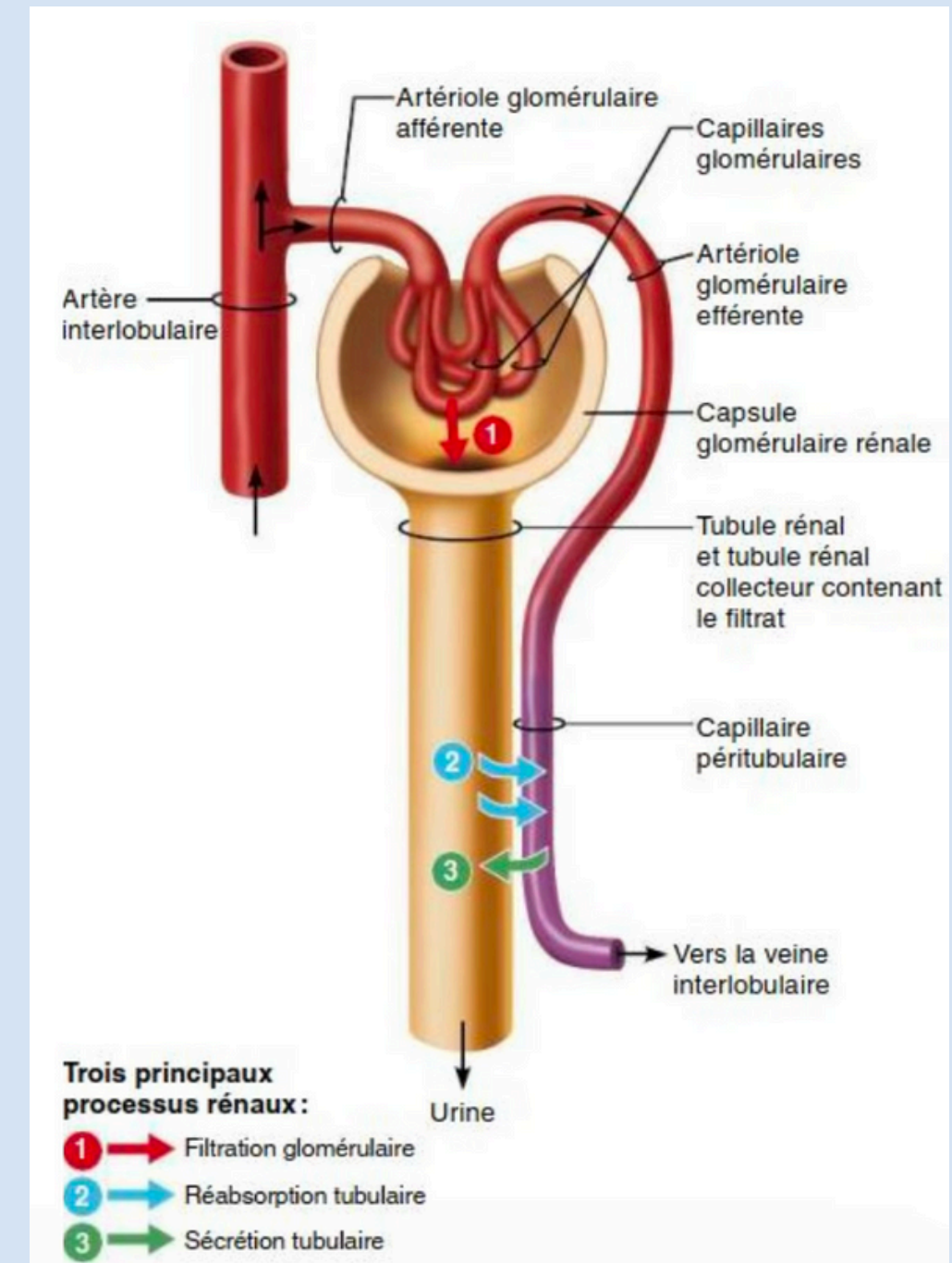
TAI et TALI

Récapitulatif :

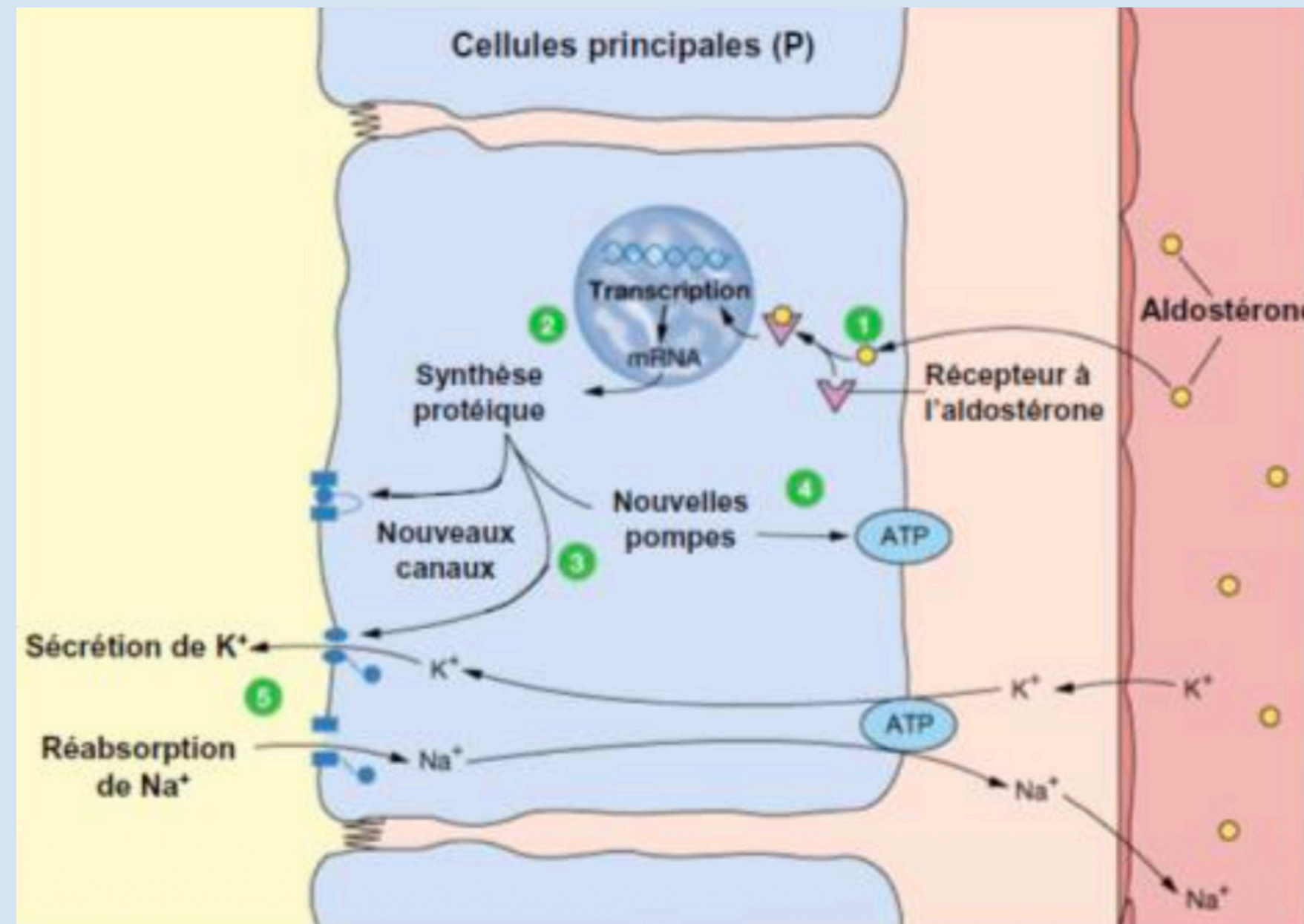
- ✓ Transfert des solutés et de l'eau du filtrat vers le sang
- ✓ La majorité du filtrat est réabsorbée sauf les déchets : réabsorption sélective
- ✓ Le sodium est très important dans la réabsorption tubulaire :
 - Transport actif I : pompe Na^+/K^+ ATPase : le gradient sodique créé par la pompe Na/K ATPase est la principale force motrice de la réabsorption
 - Transport actif II : $\text{Na}^+/\text{glucose}$, acides aminés, vitamines..
 - Réabsorption de l'eau par osmose : suit le Na^+
 - Réabsorption passive (Cl^- , K^+ , 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^{ère} partie** : même caractéristiques que l'AH : transporteur NCC apical
 - AH + TCD : segment diluant du tubule
 - TCD 2^{nde} 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

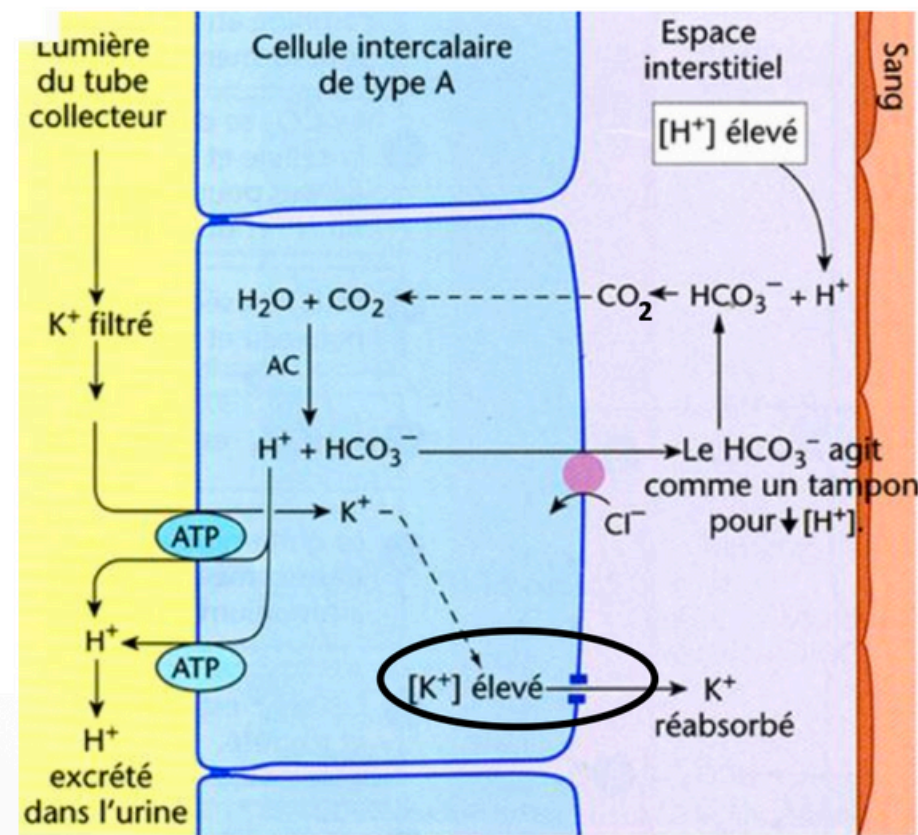
Dans le tube collecteur: face à une charge acide

- 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^+

Cellules intercalaires de type A

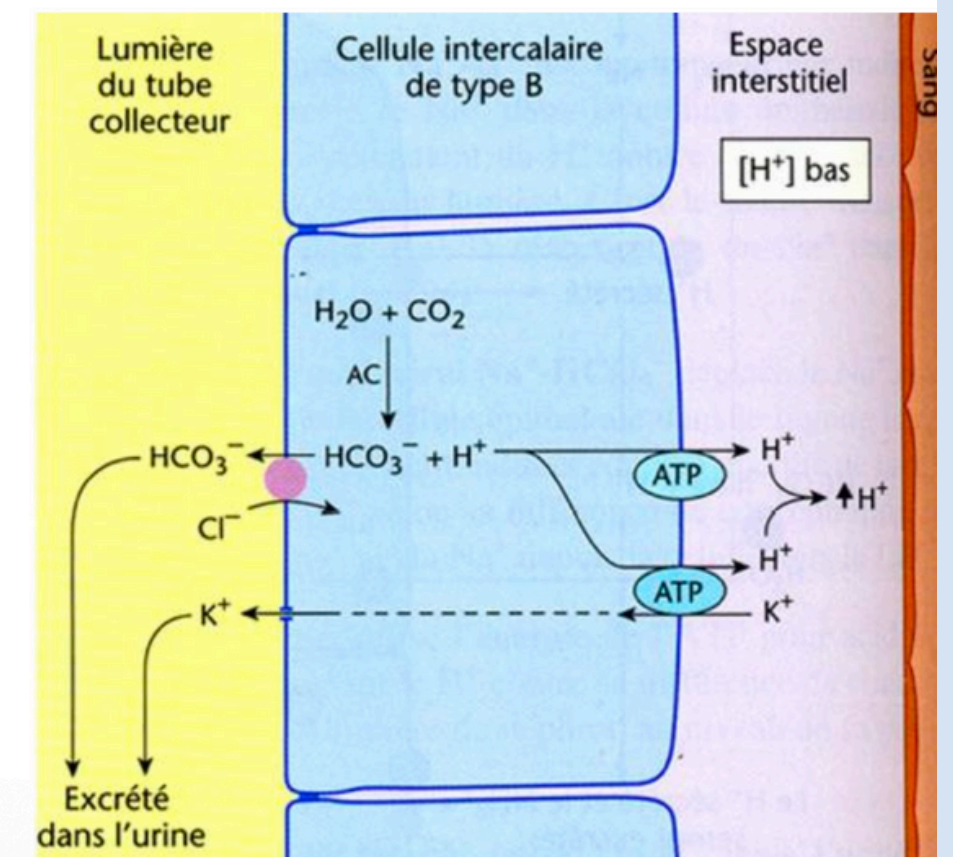


Dans le tube collecteur : Face à une charge alcaline

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

- Polarité inversée / type A
- Pôle apical :
 - Échangeur HCO_3^-/Cl^-
- Pôle basal
 - H^+ ATPase,
 - Échangeur H^+/K^+ ATPase

Cellules intercalaires de type B




Clairance rénale et gradient cortico-médullaire

LA CLAIRANCE RENALE

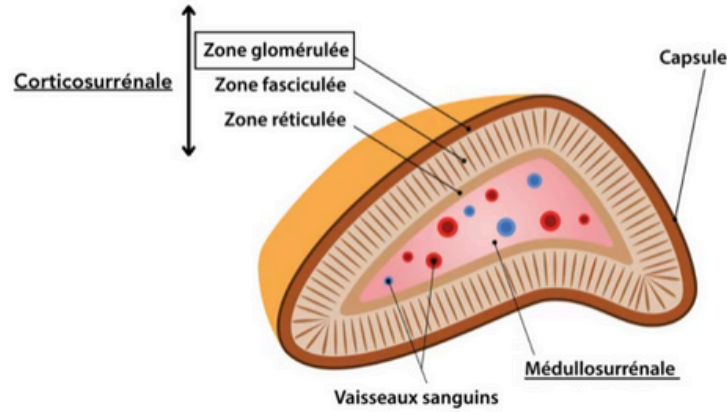
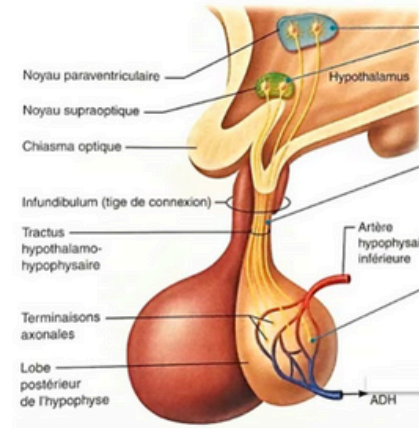
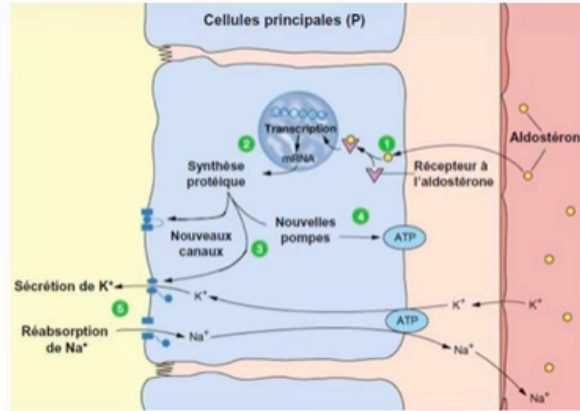
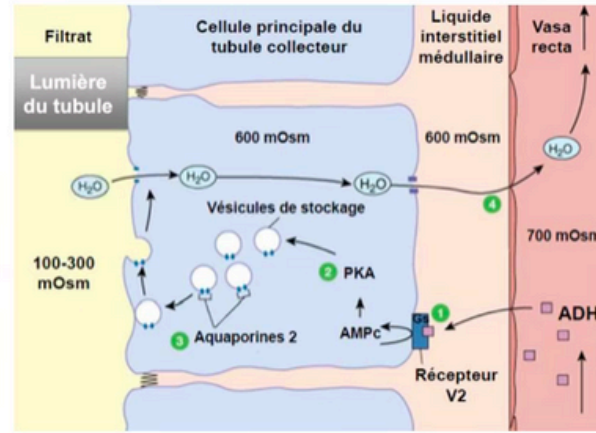
Volume de plasma complètement épuré d'une substance en 1 minute (par filtration et/ou sécrétion)

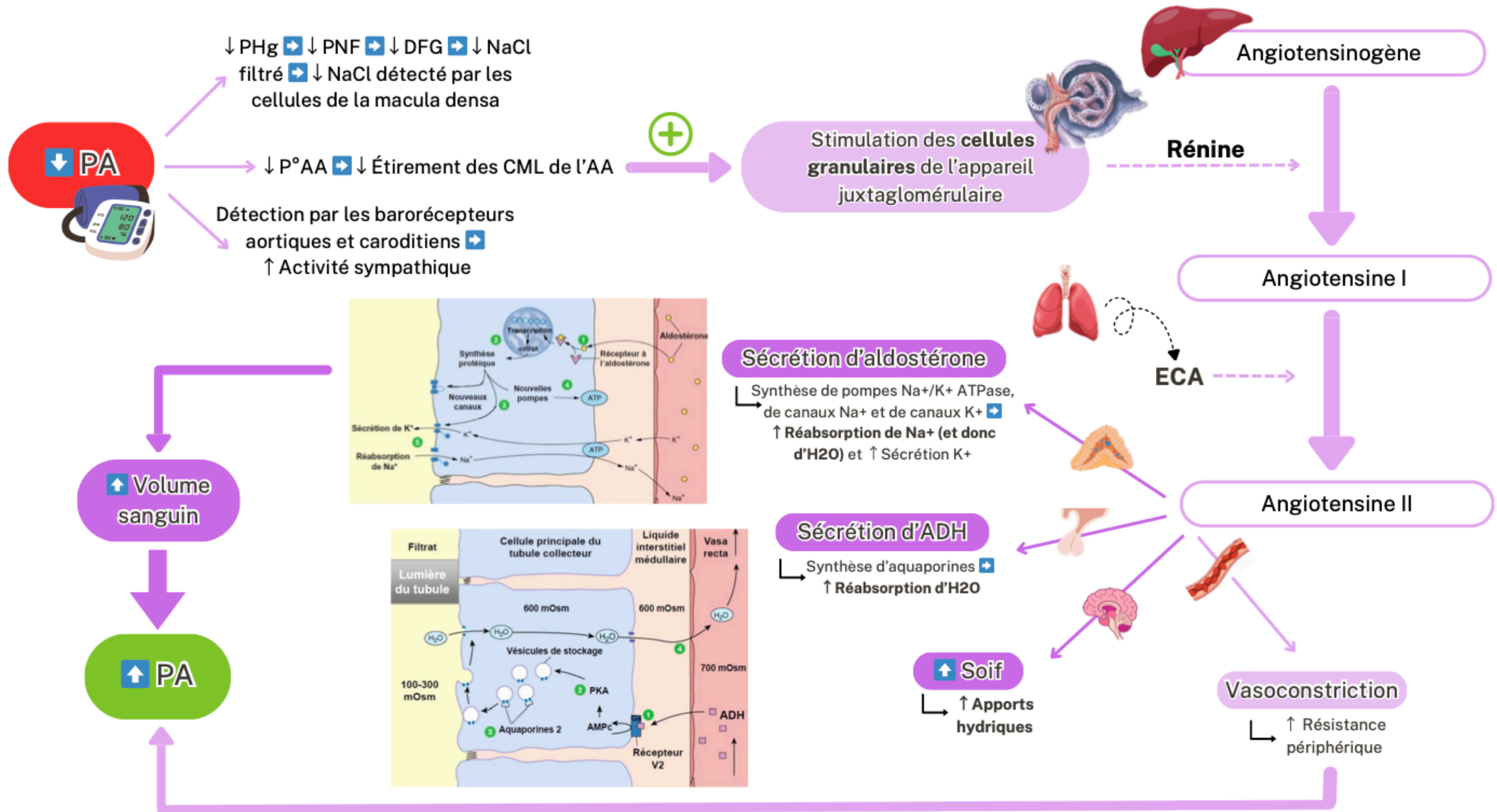
$$C \text{ (ml/min)} = \frac{[x]_u \text{ (mg/ml)} \times \text{débit urinaire (ml/min)}}{[x]_p \text{ (mg/ml)}}$$

Valeur de CR	Interprétation physiologique	Explication simple	Exemple concret	
CR = 0	Réabsorption totale	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	Réabsorption partielle ou filtration incomplète	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	Ni réabsorbée, ni sécrétée	Tout ce qui est filtré est éliminé, rien n'est repris ni ajouté	Inuline (de référence), Créatinine (approximativement identique)	
CR > 120 mL/min	Sécrétion tubulaire	Le rein ajoute activement la substance dans les urines → plus éliminée que ce qui est filtré	PAH (para-aminohippurate), certains médicaments comme la pénicilline	

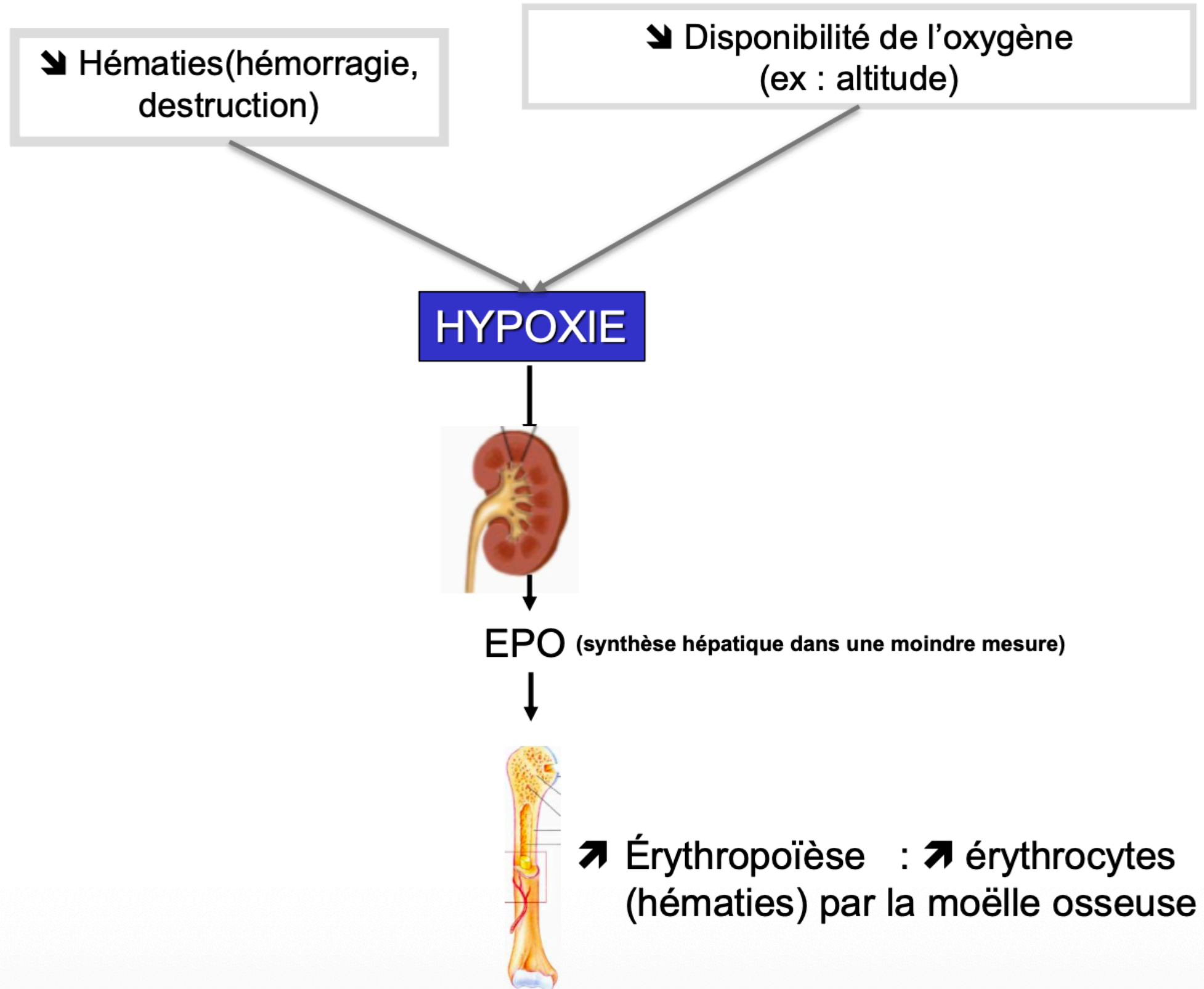
Les 3 fonctions endocrines du rein

Système rénine-angiotensine-aldostérone

Hormones rénales		
	Aldostérone	ADH (Hormone anti-diurétique = Vasopressine)
Définition	Hormone stéroïde	Neurohormone
Synthèse	<p><u>Glande surrénale</u></p>  <p>Cortex surrénale Zone glomérulée Zone fasciculée Zone réticulée Capsule Médullosurrénale Vaisseaux sanguins</p>	<p><u>Hypothalamus</u> ↓ Neurohypophyse</p>  <p>Noyau paraventriculaire Noyau supraoptique Chiasma optique Infundibulum (tige de connexion) Tractus hypothalamo-hypophysaire Terminaisons axonales Lobe postérieur de l'hypophyse Artère hypophysaire inférieure ADH</p>
Stimuli	<ul style="list-style-type: none"> • ↓ PA (SRAA) • HypoNa⁺ • HyperK⁺ 	<ul style="list-style-type: none"> • ↓ PA (SRAA) • ↑ Osmolarité plasmatique (Déshydratation)
Fonction	<p>Synthèse de pompes Na⁺/K⁺ ATPase, de canaux Na⁺ et de canaux K⁺</p> <p>↓</p> <p>↑ Réabsorption de Na⁺ et donc d'H₂O + ↑ Sécrétion K⁺</p>  <p>Cellules principales (P) Transcription Synthèse protéique Nouveaux canaux Nouvelles pompes Sécrétion de K⁺ Réabsorption de Na⁺ Aldostérone Récepteur à l'aldostérone ATP</p>	<p>Synthèse d'aquaporines</p> <p>↓</p> <p>↑ Réabsorption d'H₂O</p>  <p>Filtrat Lumière du tubule Cellule principale du tubule collecteur Liquide interstitiel médullaire Vasa recta 600 mOsm 100-300 mOsm 700 mOsm H₂O Vésicules de stockage Aquaporines 2 PKA AMPc Récepteur V2 ADH</p>

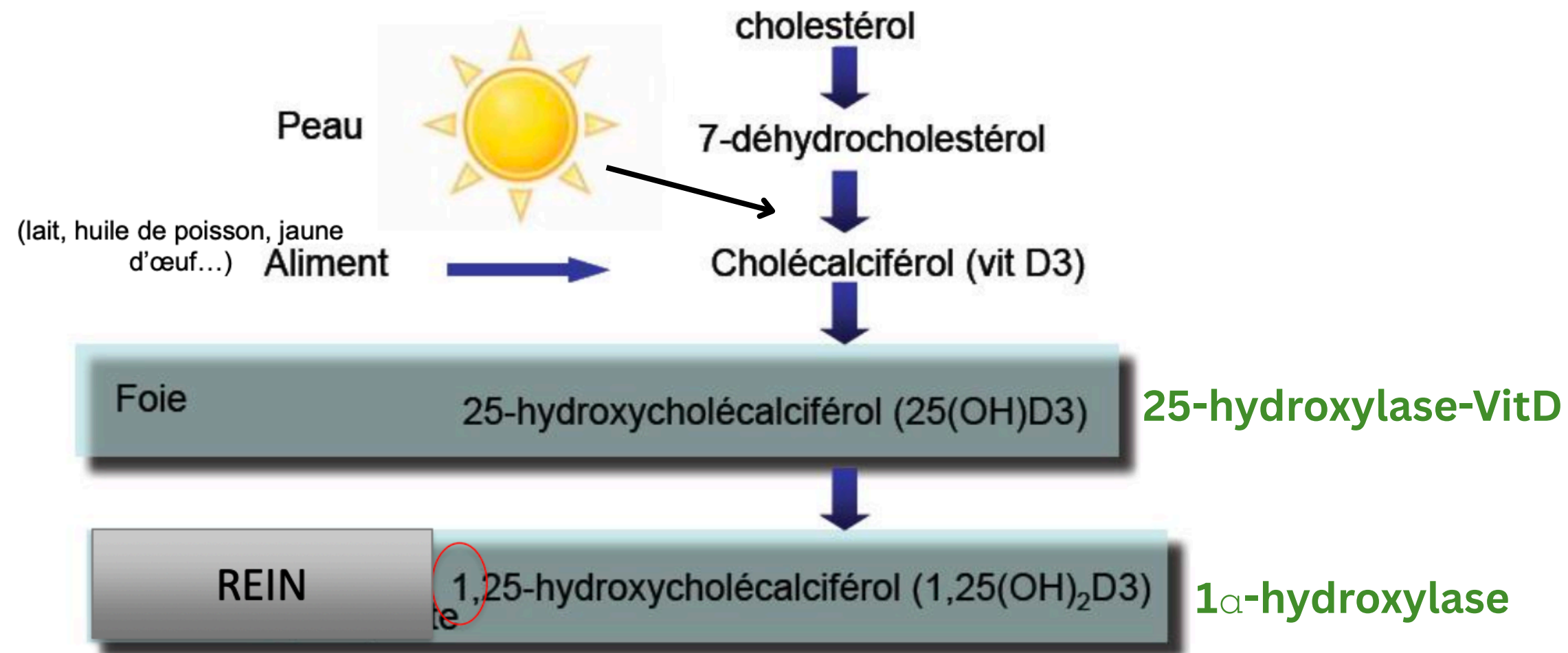


Synthèse d'érythropoïétine

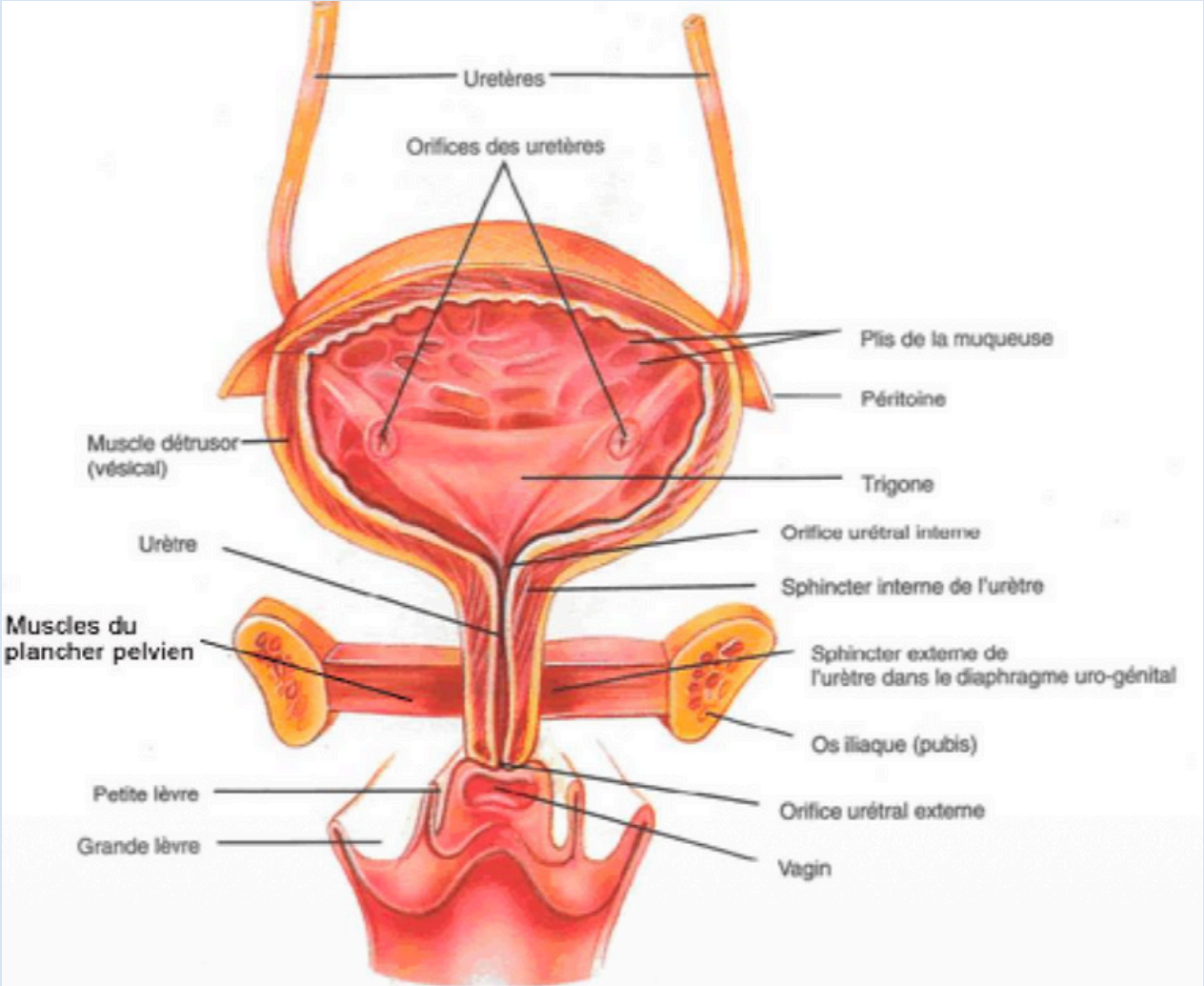


Synthèse de la vitamine D (Calcitriol)

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




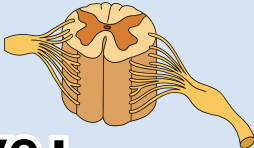
La miction



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

- Contrôle encéphalique 
- Contrôle médullaire 
 - Innervation **végétative** :
 - Innervation **sympathique** (Dorso-lombaire)
 - Innervation **parasympathique** (Sacré)
 - Innervation **somatique** (Nerf pudendal sacré)