

8) SYSTEME URINAIRE

I. ANATOMIE DES REINS

A. SITUATION ET ANATOMIE EXTERNE

B. ANATOMIE INTERNE

C. VASCULARISATION

D. NEPHRONS

1. LITS CAPILLAIRES DU NEPHRON
2. APPAREIL JUXTA-GLOMERULAIRE
3. MEMBRANE DE FILTRATION

II. PHYSIOLOGIE DES REINS : FORMATION DE L'URINE

A. FILTRATION GLOMERULAIRE

1. PRESSION NETTE DE FILTRATION (= PNF)
2. DEBIT DE FILTRATION GLOMERULAIRE (= DFG)

B. REABSORPTION TUBULAIRE

1. REABSORPTION DU SODIUM : TRANSPORT ACTIF PRIMAIRE
2. REABSORPTION DE L'EAU, DES IONS ET DES NUTRIMENTS :
TRANSPORT PASSIF ET TRANSPORT ACTIF SECONDAIRE
3. SUBSTANCES NON REABSORBEES
4. CAPACITES D'ABSORPTION DES DIFFERENTES PARTIES DU TUBULE
RENAL
 - a) Tubule contourné proximal
 - b) Anse du néphron (= de Henlé)
 - c) Tubule contourné distal et tubule rénal collecteur

C. SECRETION TUBULAIRE

D. REGULATION DE LA CONCENTRATION ET DU VOLUME DE L'URINE

1. MECANISME A CONTRE-COURANT ET GRADIENT OSMOTIQUE DE LA
MEDULLA RENALE
 - a) La partie descendante de l'anse du néphron permet la réabsorption
de l'eau mais non celle des solutés
 - b) La partie ascendante de l'anse du néphron ne peut réabsorber l'eau,
mais elle transporte activement les ions Na^+ et Cl^- vers l'espace
interstitiel
 - c) Les vasa recta servent d'échangeurs à contre-courant pour maintenir
le gradient osmotique tout en irriguant les cellules

2. FORMATION D'URINE DILUEE
3. FORMATION D'URINE CONCENTREE
4. DIURETIQUES

E. CLAIRANCE RENALE

F. CARACTERISTIQUES ET COMPOSITION DE L'URINE

1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES
 - a) Couleur et transparence
 - b) Odeur
 - c) pH
 - d) Densité
2. COMPOSITION CHIMIQUE

III. AUTRES ROLES DES REINS

A. MAINTIEN DE L'EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

B. ROLE ENDOCRINE : SECRETION DE L'ERYTHROPOÏÉTINE OU EPO

C. REGULATION DE LA PRESSION ARTERIELLE PAR LE SYSTEME RENINE ANGIOTENSINE

IV. URETERES

V. VESSIE

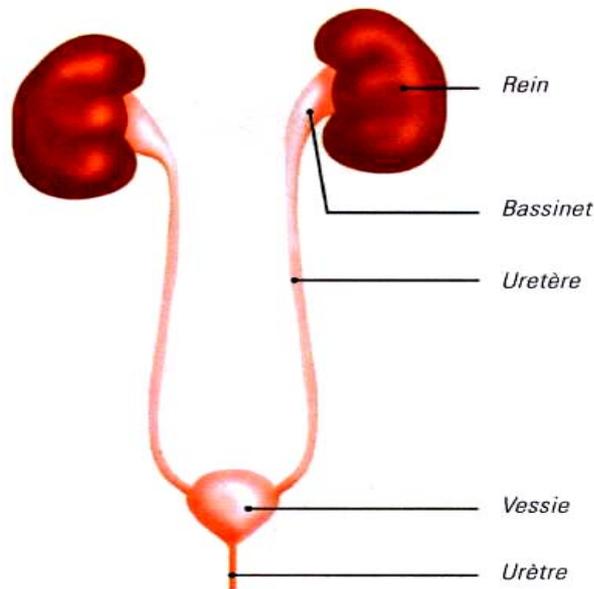
VI. URETRE

VII. MICTION

→ Le **système urinaire** comprend :

- ρ les **reins** (= 2),
- ρ la **vessie**,
- ρ les **uretères** (= 2) qui transportent l'**urine** des **reins** à la **vessie**,
- ρ l'**urètre** qui transporte l'**urine** de la **vessie** vers l'**extérieur de l'organisme**.

Figure 1 : Schéma d'ensemble de l'appareil urinaire



ANATOMIE DES REINS

SITUATION ET ANATOMIE EXTERNE

→ Position des reins :

- ρ **rétropéritonéale** (= **arrière du péritoine**) : situés *entre la paroi dorsale et le péritoine pariétal*;
- ρ dans la **région lombaire supérieure** (≈ de **T₁₂** à **L₃**);

→ Anatomie externe :

- ρ La **face interne** possède une **ouverture** → le **hile rénal**.
- ρ C'est au niveau du **hile rénal** qu'entrent ou sortent des **reins** les **structures suivantes** :
 - les **uretères**,
 - les **vaisseaux sanguins rénaux**,
 - les **nerfs**.
- ρ Chaque **rein** est surmonté d'une **glande surrénale**.

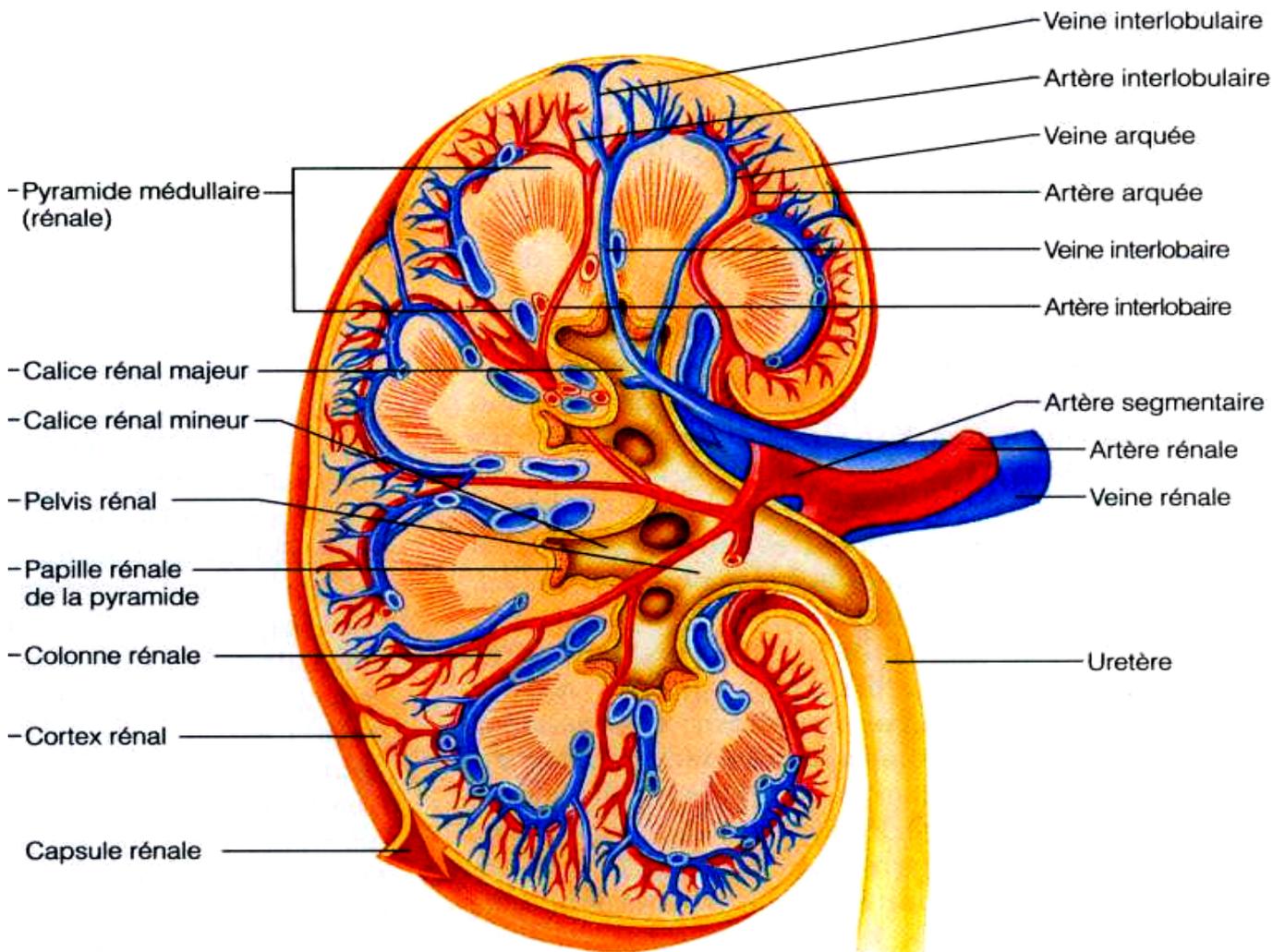
ANATOMIE INTERNE

→ À l'**intérieur** de chaque **rein**, on distingue **3 parties** :

- ρ Le **cortex rénal** (= la **plus externe**).
- ρ La **médulla rénale** (= **intermédiaire**) :
 - Présence des **pyramides rénales** (= **de Malpighi**) : masses de tissu **coniques**;
 - la **base des pyramides** est orientée vers le **cortex**;
 - la **pointe des pyramides** (= **papille rénale**) est orientée vers l'**intérieur du rein**.
 - Chaque **pyramide** est formée de **faisceaux de tubules microscopiques parallèles**.
 - Chaque **pyramide** avec son **capuchon de tissu cortical** forme un **lobe rénal** (= **7 à 8/ rein**).
- ρ Le **pelvis rénal** ou **bassinnet** (= **zone la plus interne**) :
 - **Tube plat** en forme d'**entonnoir**.
 - Communique avec l'**uretère** (= **extérieur de chaque rein**).
 - À l'intérieur du **rein**, le **bassinnet** se prolonge par :
 - les **calices rénaux majeurs** (= **2 ou 3**),
 - les **calices rénaux mineurs** : ramifications des précédents → cavités où débouchent les **papilles des pyramides**.
 - Les **calices** :
 - **reçoivent continuellement l'urine** en provenance des **orifices papillaires**,
 - se déversent dans le **bassinnet**.

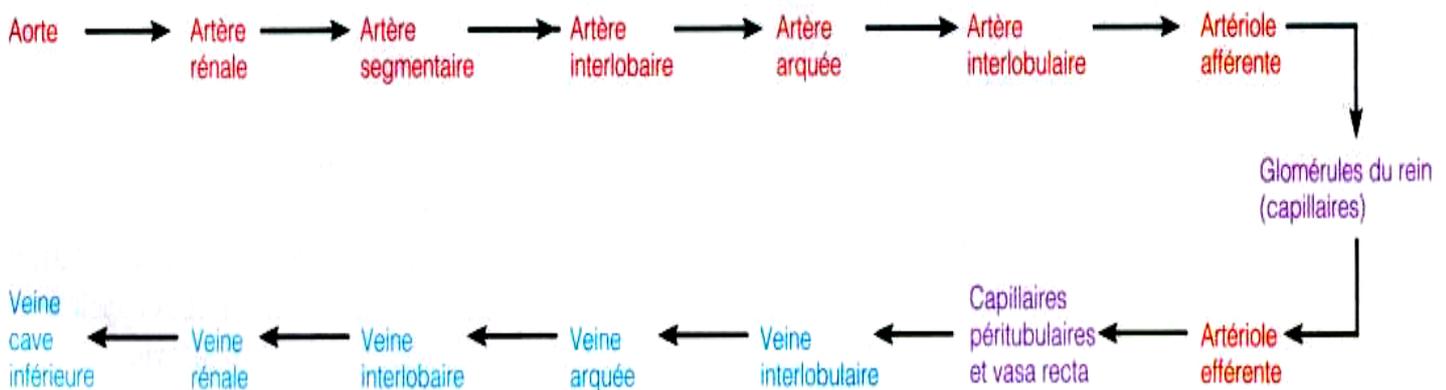
- L'**uretère** transporte ensuite l'**urine** jusqu'à la **vessie** où elle est *stockée*.

Figure 2 : Anatomie interne du rein



VASCULARISATION

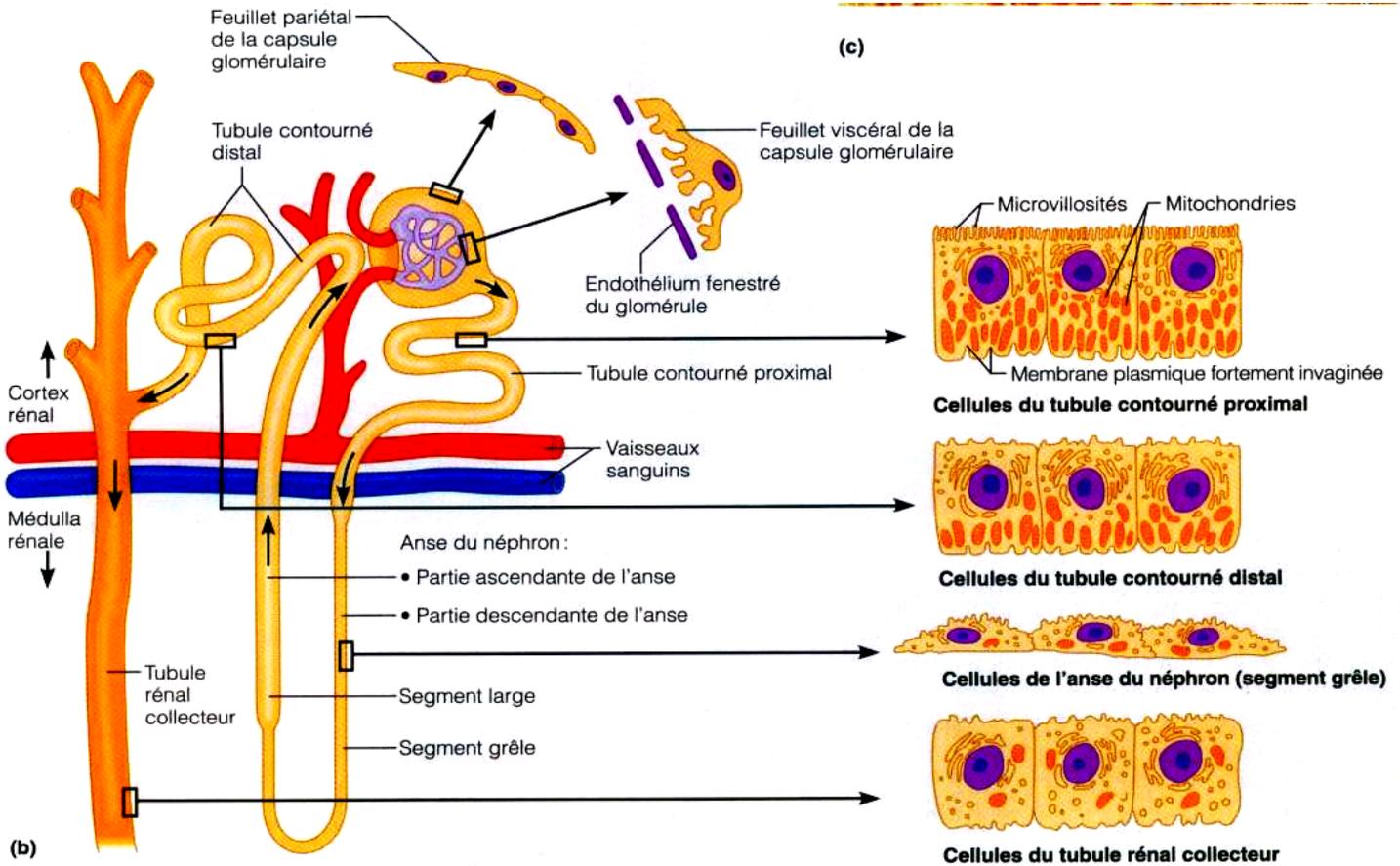
- ➔ Au repos, les *grosses artères rénales* acheminent aux **reins** $\approx 1/4$ du *débit cardiaque total* (≈ 1200 mL de sang/min).
- ➔ L'*ordre d'enchaînement* des différents types **artériels** pour chaque **rein** est le suivant : artère rénale → artères segmentaires (= 5) → artères interlobaires → artères arquées → artères interlobulaires → artérioles afférentes.
- ➔ L'*ordre d'enchaînement* des différents types **veineux** pour chaque **rein** est le suivant : artérioles efférentes → capillaires péri-tubulaires et vasa recta → veines interlobulaires → veines arquées → veines interlobaires → veine rénale.
- ρ Les 2 *veines rénales* se déversent dans la *veine cave inférieure*.



PHYSIOLOGIE HUMAINE
NEPHRONS

- Chaque **rein** contient ≈ 1 million (= au moins) de **néphrons** et des milliers de **tubules rénaux collecteurs**.
 - ρ Les **néphrons** sont de *minuscules unités de filtration du sang* ⇒ formation de l'**urine**.
 - ρ Les **tubules collecteurs de Bellini** :
 - chacun recueille l'**urine** à partir de *plusieurs néphrons*;
 - achemine l'**urine** au **bassin**.

Figure 3 : Structure des néphrons

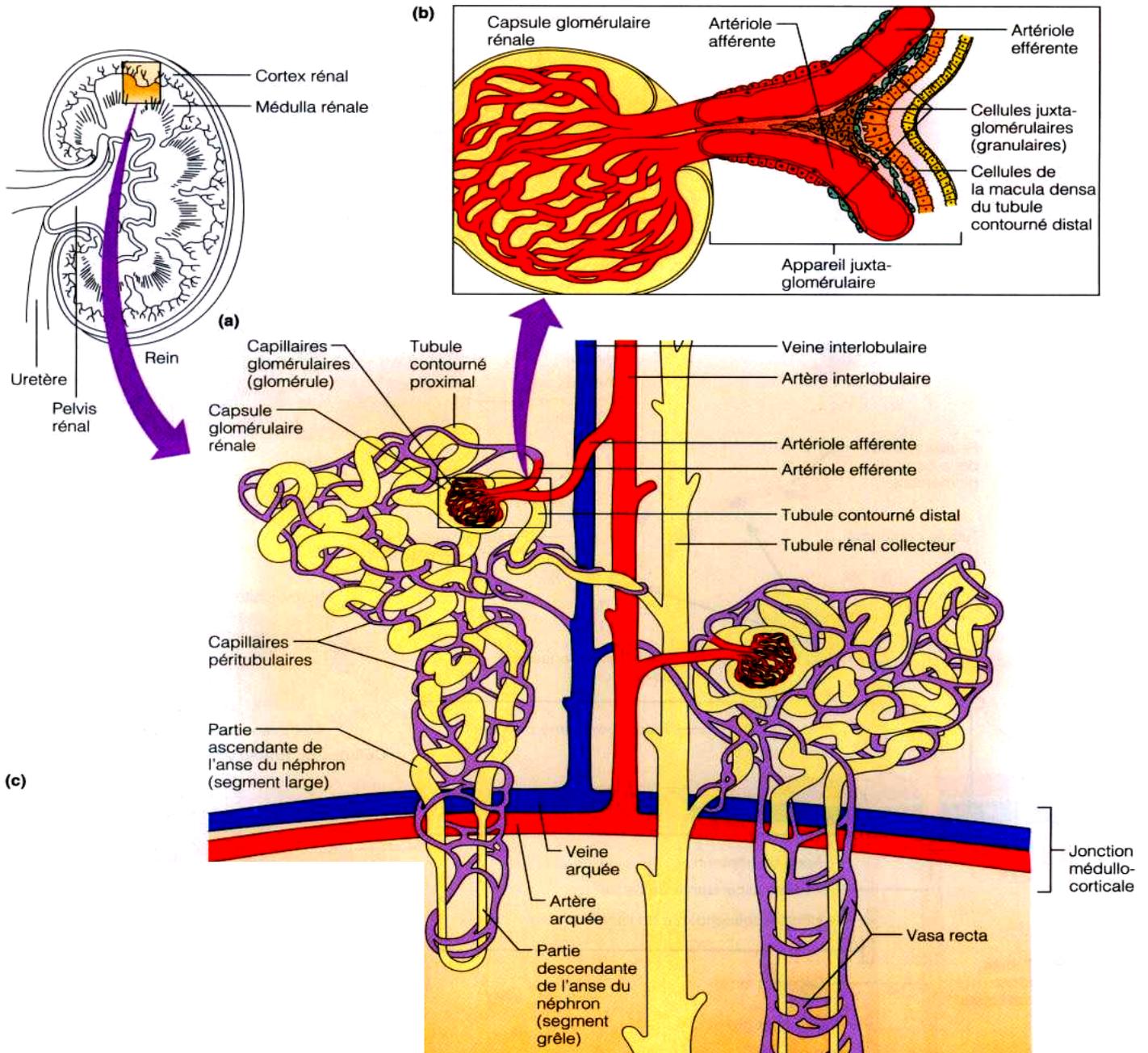


- Chaque **néphron** est formé :
 - ρ D'un **corpuscule rénal** :
 - Constitué :
 - de la **capsule de Bowman** (= **capsule glomérulaire rénale**),
 - du **glomérule** du **rein** (= **glomérule de Malpighi**) → bouquet de *capillaires artériels*.
 - La **capsule glomérulaire** est formée de 2 feuillets séparés par la **lumière** ou **chambre de la capsule** :
 - le **feuillet pariétal externe** → ne participe pas à la formation du **filtrat** (= rôle **uniquement structural**);
 - le **feuillet viscéral** en contact avec les capillaires du **glomérule** → constitue une partie de la **membrane de filtration**.
 - L'**endothélium** des *capillaires glomérulaires* est **fenestré** (= **percé de pores**) ⇒ *passage* de grandes quantités de **liquide** (= **riche en solutés**, mais sans **protéines plasmatiques**) vers la **chambre glomérulaire**, ⇒ **filtrat glomérulaire** (= **liquide dérivé du plasma**) : matière première (= **urine primaire**) à partir de laquelle les **tubules rénaux** produisent l'**urine**.
 - ρ D'un **tubule rénal**.
 - Constitué de 3 parties :
 - le **tubule contourné proximal** (= **TCP**) où débouche la **capsule de Bowman**,
 - l'**anse du néphron** (= **de Henlé**),
 - le **tubule contourné distal** (= **TCD**).
 - Au niveau du **TCP**, les *microvillosités* des cellules (= **bordure en brosse**) ↑ la **surface de contact** de celles-ci avec le **filtrat glomérulaire** ⇒ ↑ de la **réabsorption** de l'**eau** et des **solutés** du filtrat.
 - Le **TCD** se jette dans un **tubule rénal collecteur de Bellini**.

→ Le **tubule collecteur** (= reçoit l'**urine** provenant de nombreux **néphrons**) parcourt la **pyramide** vers la **papille rénale**.

- ρ Fusionne ensuite avec d'autres **tubules rénaux collecteurs** ⇒ **conduit papillaire** déverse l'**urine** dans un **calice mineur**.
- ρ Les **tubules rénaux collecteurs** donnent aux **pyramides rénales** leurs *rayures longitudinales*.

Figure 4 : Anatomie détaillée de néphrons et de leurs vaisseaux sanguins



LITS CAPILLAIRES DU NEPHRON

→ Chaque **néphron** est associé à 2 lits capillaires :

- ρ Le **glomérule** :
 - o Rôle : **filtration**.
 - o Alimenté et drainé par 2 artérioles :
 - o l'**artériole glomérulaire afférente**,
 - o l'**artériole glomérulaire efférente**.
- ρ Le **lit capillaire péri-tubulaire** :
 - o Rôle : 99% du **filtrat glomérulaire** sont *réabsorbés* par les *cellules du tubule rénal* et renvoyés dans le **sang** par l'intermédiaire des **lits capillaires péri-tubulaires**.
 - o 2 types de lits péri-tubulaires :
 - o Les **capillaires péri-tubulaires** pour les néphrons du **cortex rénal**.

PHYSIOLOGIE HUMAINE

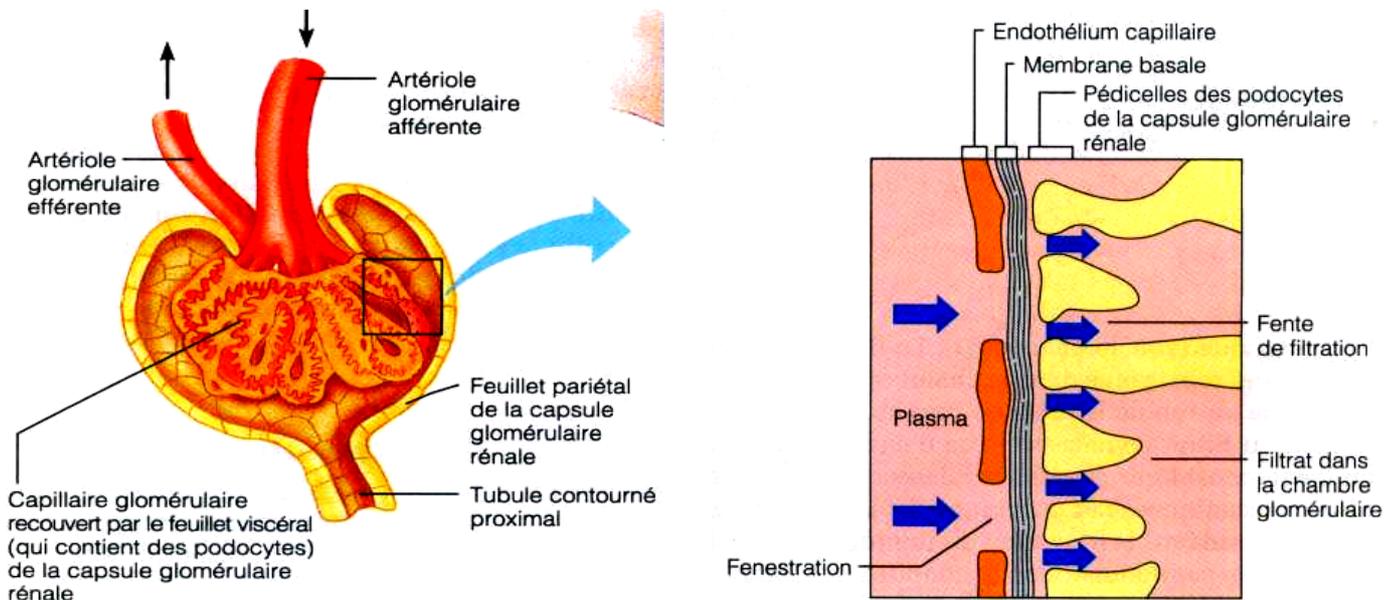
- o Les **vasa recta** pour les néphrons de la **médulla rénale**.

APPAREIL JUXTA-GLOMERULAIRE

- Au sein de chaque **néphron** :
 - ρ la portion initiale du **tubule contourné distal (= TCD)** est en contact avec les **artérioles afférente et efférente**;
 - ρ cette zone est l'**appareil juxta-glomérulaire**.
- À ce niveau, on trouve :
 - ρ Des **cellules juxta-glomérulaires** :
 - o sont des *cellules musculaires lisses* situées dans les *parois des artérioles* ;
 - o rôles :
 - o *mécanorécepteurs* qui détectent directement la **pression artérielle**,
 - o synthétisent la **rénine**.
 - ρ La **macula densa** :
 - o amas de grandes cellules situées dans la *paroi du tubule* ;
 - o rôles :
 - o *chimiorécepteurs*,
 - o *osmorécepteurs* réagissent aux *variations du contenu en solutés du filtrat*.

MEMBRANE DE FILTRATION

Figure 5 : Membrane de filtration

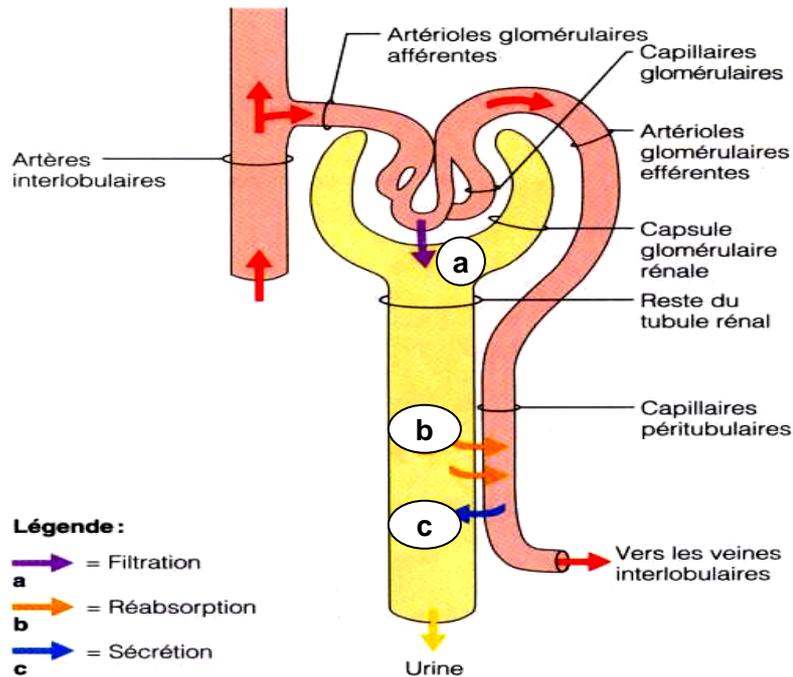


- C'est le filtre interposé entre le **sang** et la **capsule glomérulaire** :
 - ρ *membrane poreuse* qui *laisse passer l'eau* et les *solutés plus petits* que les *protéines plasmatiques*.
- Elle est composée de 3 couches :
 - ρ L' **endothélium capillaire fenestré (= glomérulaire)**.
 - o Les *pores (= fenestrations)* des *capillaires* ne *laissent pas passer les cellules sanguines*.
 - ρ Le **feuillet viscéral** de la **capsule de Bowman**.
 - ρ Une **membrane basale** constituée de la *fusion des lames basales* des 2 *couches précédentes* :
 - o *bloque le passage de toutes les protéines* (= sauf les très petites);
 - o *laisse passer les autres solutés*.

PHYSIOLOGIE DES REINS : FORMATION DE L'URINE

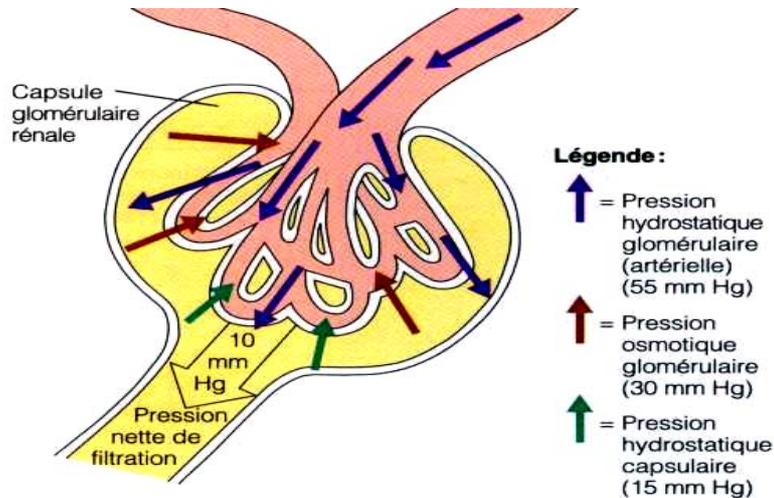
- L'élaboration de l'**urine** et l'ajustement simultané de la composition du **sang** dépendent de 3 processus :
 - ρ la **filtration glomérulaire** (= au niveau des glomérules),
 - ρ la **réabsorption tubulaire** (= au niveau des tubules des néphrons et collecteurs),
 - ρ la **sécrétion tubulaire** (= au niveau des tubules des néphrons et collecteurs).

Figure 6 : Fonctionnement du néphron



FILTRATION GLOMERULAIRE

Figure 7 : Forces déterminant la filtration glomérulaire et la pression nette de filtration



PRESSION NETTE DE FILTRATION (= PNF)

→ La **pression nette de filtration (= PFN)** est responsable de la formation du **filtrat glomérulaire**.

→ La **PFN** dépend de **3 forces** qui s'exercent au niveau des *capillaires du glomérule* et de la *chambre glomérulaire* :

ρ La **pression hydrostatique glomérulaire (= PHg)** :

- **pression sanguine glomérulaire** qui *pousse l'eau et les solutés hors du sang* à travers la *membrane de filtration*;
- est égale à **55 mm Hg**;
- *s'oppose aux 2 autres forces qui suivent et qui tendent à ramener les liquides dans les capillaires glomérulaires.*

ρ La **pression osmotique glomérulaire (= POg)** :

- **pression oncotique** due à la présence des *protéines plasmatiques* dans le **sang des glomérules**;
- est égale à **≈ - 30 mm Hg (= retour des liquides dans les capillaires du glomérule)**.

ρ La **pression hydrostatique capsulaire (= PHc)** :

- exercée par les liquides dans la *chambre glomérulaire*;

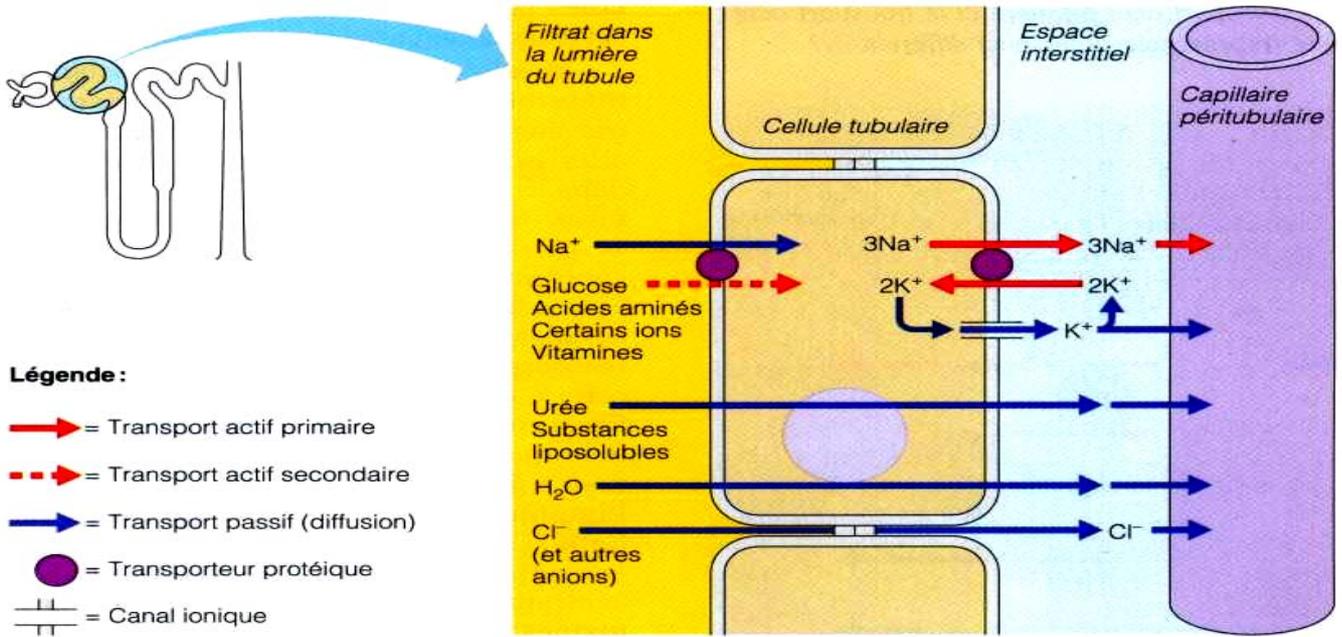
- o est égale à $\approx -15 \text{ mm Hg}$ (= retour des liquides dans les capillaires du glomérule).

→ Par conséquent, la $\text{PFN} = \text{PH}_G - (\text{PO}_G + \text{PH}_C)$
 $= 55 \text{ mm Hg} - (30 \text{ mm Hg} + 15 \text{ mm Hg}) = 55 \text{ mm Hg} - 45 \text{ mm Hg} = 10 \text{ mm Hg}$.

DEBIT DE FILTRATION GLOMERULAIRE (= DFG)

- Le **débit de filtration glomérulaire** ou **DFG** est la *quantité de filtrat* formé par les **2 reins** par *unité de temps* :
 $\rho \text{ DFG} \approx 2 \text{ mL/s} = 120 \text{ à } 125 \text{ mL/min} \approx 7,5 \text{ L/h} \approx 180 \text{ L/24h}$.
- Le **DFG** est *directement* \approx la **pression nette de filtration PFN**.

Figure 8 : Réabsorption par les cellules du tubule contourné proximal



REABSORPTION TUBULAIRE

- La **réabsorption tubulaire** est le processus qui permet aux **cellules tubulaires** du **néphron** :
 ρ de *retirer les substances* (= nécessaires à l'organisme) du **filtrat glomérulaire** ;
 ρ de *renvoyer ces substances* dans le **sang** des **capillaires péritubulaires**.
- *Suivant les substances transportées*, la **réabsorption tubulaire** est :
 ρ **passive** : ne nécessite pas d'ATP ;
 ρ **active** : nécessite de l'ATP.
- Les **reins sains réabsorbent complètement** presque tous les **nutriments organiques** comme le **glucose** et les **acides aminés** afin d'en *maintenir les concentrations plasmatiques normales*.

REABSORPTION DU SODIUM : TRANSPORT ACTIF PRIMAIRE

- Les **ions Na⁺** sont les *cations les plus abondants* dans le **filtrat glomérulaire**.
 ρ 80% de l'ATP consommée par le **transport actif** est utilisé pour leur **réabsorption**.
- La **réabsorption du Na⁺** par **transport actif primaire** fournit l'énergie nécessaire à la *réabsorption de la plupart des autres solutés* (\Rightarrow **transport actif secondaire**).

REABSORPTION DE L'EAU, DES IONS ET DES NUTRIMENTS : TRANSPORT PASSIF ET TRANSPORT ACTIF SECONDAIRE

- La **réabsorption tubulaire passive** :
 ρ Permet aux substances de *diffuser du milieu où elles sont le plus concentrées vers le milieu où elles sont le moins concentrées sans utiliser de l'ATP*.
 ρ Le passage des **ions Na⁺** des **cellules tubulaires** au **sang** du **capillaire péritubulaire**
 \Rightarrow *gradient électrique*,
 \Rightarrow favorise la *diffusion passive des anions* (ex. : Cl⁻) dans les **capillaires péritubulaires** afin d'équilibrer les *charges électriques* du **filtrat** et du **plasma**.
 ρ La **réabsorption du Na⁺**
 \Rightarrow *gradient osmotique fort*,

PHYSIOLOGIE HUMAINE

- ⇒ H_2O va dans le même sens que les ions Na^+ ,
- ⇒ H_2O passe par osmose dans les **capillaires péritubulaires**.

- ρ La **réabsorption** de H_2O (= **filtrat glomérulaire** vers le **sang** des **capillaires péritubulaires**)
- ⇒ ↑ de la **concentration des substances encore présentes** dans le **filtrat glomérulaire**,
- ⇒ **déplacement** de certaines de ces **substances** selon leur **gradient de concentration** vers les **cellules tubulaires** (= **réabsorption passive**) ; ex. : une partie de l'urée, les acides gras, etc.

→ La **réabsorption tubulaire par transport actif secondaire** :

- ρ Provient du **gradient** de Na^+ instauré par la **pompe Na^+-K^+** (= **transport actif primaire**) au niveau de la **membrane basale**.
- ρ Un **transporteur commun** déplace les **ions Na^+** (= **transport passif** → **facilité**) et **certaines substances** au niveau de la **membrane apicale** vers l'intérieur de la **cellule tubulaire** : **symport** (= **cotransport**) de ces **solutés** avec les **ions Na^+** (= **transportés selon leur gradient de concentration**).
- ρ **Substances concernées** par le **transport actif secondaire** : glucose, acides aminés, lactate, vitamines, la plupart des cations.

→ La plupart des **substances activement réabsorbées** présentent un **taux maximal de réabsorption** → T_m (= en millimoles/ min).

- ρ Dépend du **nombre de transporteurs protéiques** disponibles sur les **membranes des cellules tubulaires**.
- ρ Quand ces **transporteurs** sont **saturés**, les **molécules de substances en excès** sont **excrétées** dans l'**urine**.
- ρ Ex. : quand la **glycémie** ≥ 22 mmol/ L de **plasma** (= diabète sucré non équilibré)
- ⇒ dépassement du **$T_mG \approx 20$ mmol/ min**,
- ⇒ **glycosurie** : **excrétion du glucose** en grandes quantités dans l'**urine**.

SUBSTANCES NON REABSORBEES

→ Certaines substances ne sont **pas réabsorbées** ou sont **réabsorbées partiellement** ; ce sont principalement, les **produits azotés issus du catabolisme des protéines** et des **acides nucléiques** : l'**urée**, l'**acide urique** et la **créatinine**.

- ρ l'**urée** provient de la transformation des **ions ammonium NH_4^+** qui sont très toxiques;
- ρ l'**acide urique** provient du **catabolisme des bases puriques** ;
- ρ la **créatinine** provient du **métabolisme musculaire** (= créatine → créatine~P → créatinine).

CAPACITES D'ABSORPTION DES DIFFERENTES PARTIES DU TUBULE RENAL

TUBULE CONTOURNE PROXIMAL

→ Les **cellules du tubule contourné proximal** (= **TCP**) sont les **plus actives** dans la **réabsorption** des **substances** présentes dans le **filtrat glomérulaire** :

- ρ **100%** de **réabsorption** de **glucose**, **lactate** et **acides aminés** ;
- ρ **65 à 70%** de **réabsorption** du Na^+ et donc de H_2O ;
- ρ **≈ 90%** de **réabsorption** du HCO_3^- et du K^+ ;
- ρ **50%** de **réabsorption** du Cl^- .

→ La **réabsorption** du Ca^{2+} , des **phosphates** et du Mg^{2+} :

- ρ est sous le **contrôle d'hormones** ;
- ρ détermine la **concentration plasmatique** de ces substances.

ANSE DU NEPHRON (= DE HENLE)

→ À ce niveau, la **réabsorption** de H_2O n'est **plus couplée** à la **réabsorption de solutés** :

- ρ **partie descendante** de l'**anse** est **perméable** à H_2O ⇒ **sortie d' H_2O** ;
- ρ **partie ascendante** de l'**anse** est **impermeable** à H_2O .

→ L'**anse de Henlé** permet à partir du **filtrat glomérulaire** :

- ρ **20 à 25%** de **réabsorption** du Na^+ (= **anse ascendante**) et de H_2O (= **anse descendante**);
- ρ **35%** de **réabsorption** du Cl^- ;
- ρ **40%** de **réabsorption** du K^+ .

TUBULE CONTOURNE DISTAL ET TUBULE RENAL COLLECTEUR

→ À l'entrée du **tubule contourné distal** (= **TCD**) :

- ρ **≈ 10%** du $NaCl$ filtré à l'origine,
- ρ **≈ 20%** d' H_2O , restent dans le **tubule**.

→ La **réabsorption** du $NaCl$ **restant** est réalisée par un **symport Na^+-Cl^-** :

- ρ dépend des **besoins ponctuels** de l'**organisme** ;
- ρ est **contrôlée** par des **hormones**.

→ La **réabsorption** des **ions Na^+ restants** est sous le contrôle de l'**aldostérone** :

PHYSIOLOGIE HUMAINE

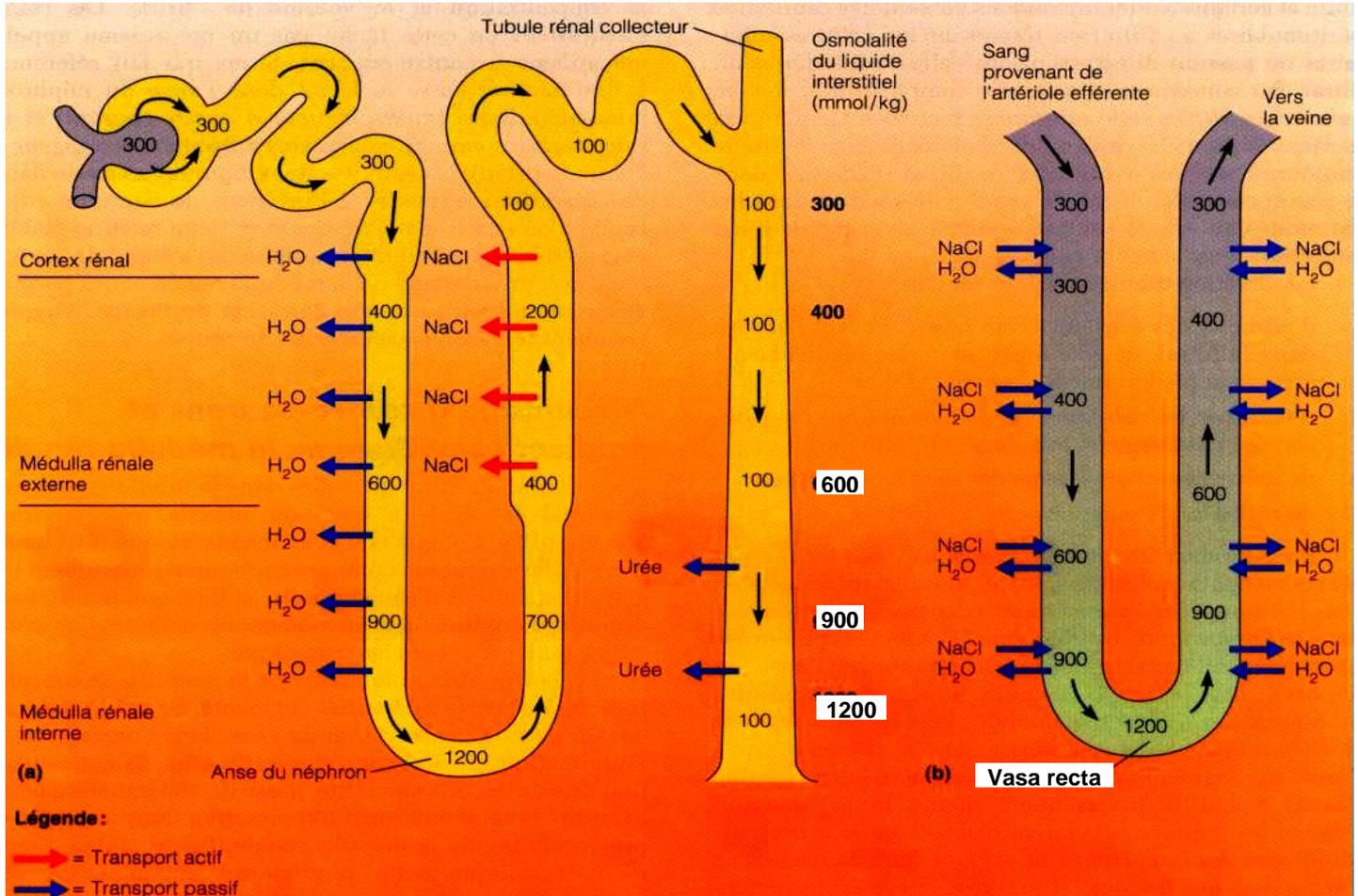
- ρ Hormone libérée par le **cortex surrénal**.
- ρ États provoquant la libération de cette hormone :
 - *hypovolémie* (= faible volume sanguin),
 - *hypotension*,
 - *hyponatrémie* (= faible concentration plasmatique de Na^+).
- ρ Mécanisme d'action :
 - Stimulation du **système rénine angiotensine SRA** (= par l'hypovolémie, l'hypotension, l'hyponatrémie) \Rightarrow libération d'**aldostérone**.
 - L'**aldostérone** induit :
 - l' \uparrow de la *synthèse de transporteurs du Na^+* par le **TCD** ;
 - l' \uparrow de l'*ouverture des canaux à Na^+* présents au niveau du **tubule rénal collecteur**
 - l' \uparrow de l'**absorption de H_2O** (= suit les **ions Na^+** réabsorbés dans le sang) ;
 - Conséquence : l'**aldostérone réduit** fortement l'*excrétion d'ions Na^+* dans l'**urine**.
 - Au contraire, l'*absence d'aldostérone*
 \Rightarrow le **TCD** et le **tubule rénal collecteur** n'absorbent pratiquement pas les **ions Na^+** .

- \rightarrow L'hormone antidiurétique (= **ADH** sécrétée par la **neurohypophyse** \rightarrow **post-hypophyse**)
 - $\Rightarrow \uparrow$ de la **perméabilité** à l' **H_2O** du **tubule rénal collecteur**,
 - $\Rightarrow \uparrow$ de la **réabsorption** d' **H_2O** par l'organisme,
 - $\Rightarrow \downarrow$ du **volume urinaire** (= \downarrow de la **diurèse**).

SECRETION TUBULAIRE

- \rightarrow Dans ce cas, les substances concernées passent :
 - ρ Soit des **capillaires péritubulaires** au **filtrat** (= en traversant les **cellules tubulaires**),
 - ρ Soit directement des **cellules tubulaires** au **filtrat**.
 - Conséquence : l'**urine** est composée à la fois de *substances filtrées* et de *substances sécrétées*.
 - Ex. de telles substances : les ions H^+ , K^+ , NH_4^+ , ...
- \rightarrow Fonctions de la sécrétion tubulaire :
 - (1) **Élimination des substances ne se trouvant pas déjà dans le filtrat** comme certains médicaments (= pénicilline, phénobarbital).
 - (2) **Élimination des substances nuisibles** qui ont été **réabsorbées passivement** comme l'*urée* et l'*acide urique*.
 - (3) **Réglage du pH sanguin**.

Figure 9 : Mécanisme à contre-courant réalisant et maintenant le gradient osmotique de la médulla : formation d'urine diluée



MECANISME A CONTRE-COURANT ET GRADIENT OSMOTIQUE DE LA MEDULLA RENALE

LA PARTIE DESCENDANTE DE L'ANSE DU NEPHRON PERMET LA REABSORPTION DE L'EAU MAIS NON CELLE DES SOLUTES

- Comme l'osmolalité du **liquide interstitiel** de la **médulla augmente** le long de la **partie descendante** de l'**anse de Henlé**
 - ⇒ passage de **H₂O** du filtrat vers le **liquide interstitiel** (= **réabsorption**) sur toute la longueur de l'**anse**,
 - ⇒ l'**osmolalité** du filtrat est **maximale** au **coude** de l'**anse du néphron** (= 1200 mmol/ kg).

LA PARTIE ASCENDANTE DE L'ANSE DU NEPHRON NE PEUT REABSORBER L'EAU, MAIS ELLE TRANSPORTE ACTIVEMENT LES IONS Na⁺ ET Cl⁻ VERS L'ESPACE INTERSTITIEL

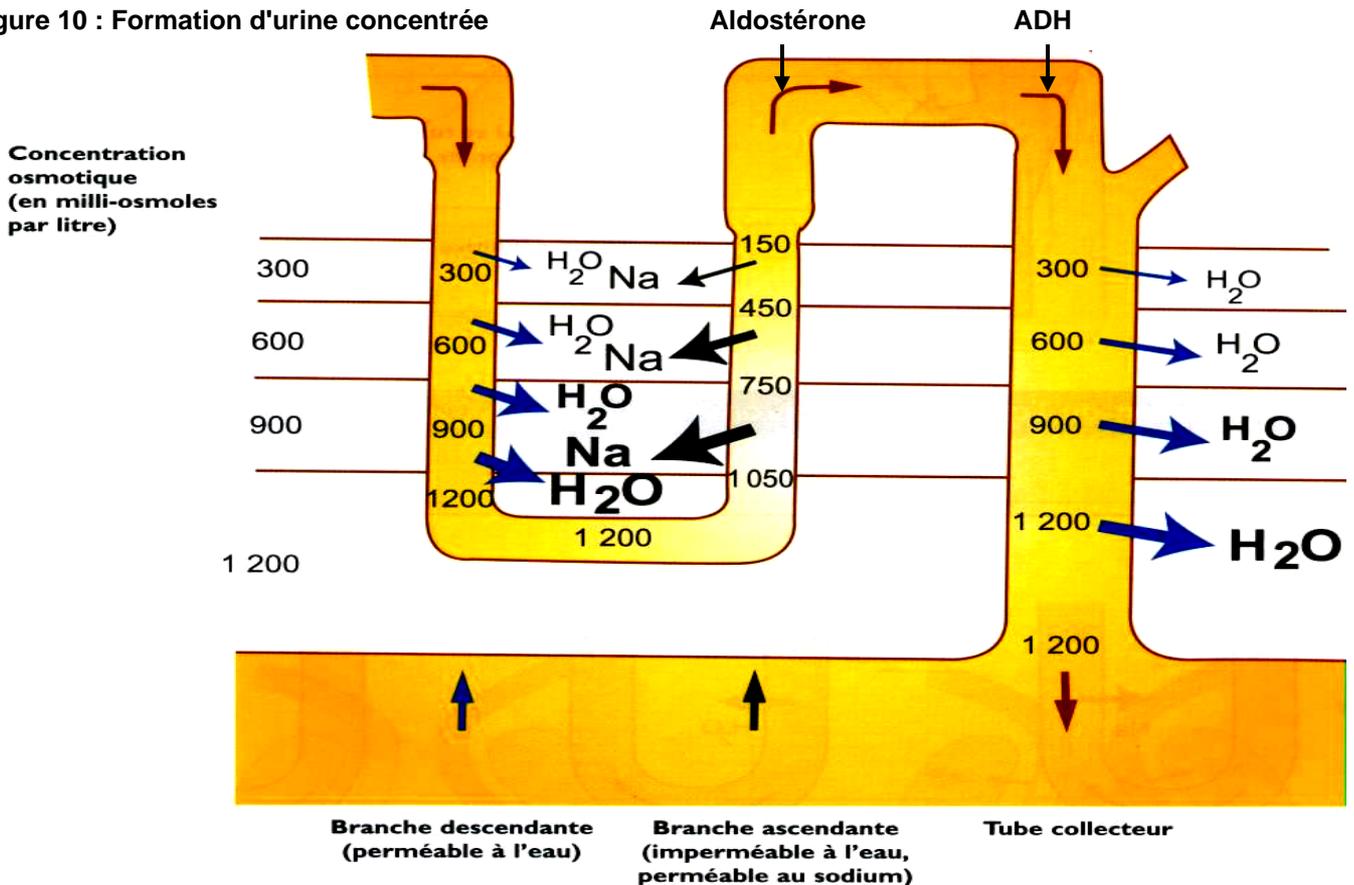
- La **partie ascendante** de l'**anse de Henlé** est :
 - ρ **impermeable** à l'**H₂O**,
 - ρ **sélectivement perméable** aux ions.
- À l'entrée de la **partie ascendante** de l'**anse**, la **concentration** en ions **Na⁺** du filtrat est **très élevée** :
 - ρ Le segment large de la **partie ascendante** **réabsorbe activement** les ions **Na⁺**
 - ⇒ ↑ de l'**osmolalité** de l'**espace interstitiel** de la **médulla**,
 - ⇒ établissement du **gradient osmotique**.
- Comme le **filtrat** perd des **ions** mais **non** de l'**H₂O** dans la **partie ascendante de l'anse de Henlé**
 - ⇒ **filtrat** devient **hypo-osmotique** par rapport au **plasma sanguin** et au **liquide interstitiel cortical** : ≈ 100 mmol/ kg à l'entrée du **TCD**.

LES VASA RECTA SERVENT D'ECHANGEURS A CONTRE-COURANT POUR MAINTENIR LE GRADIENT OSMOTIQUE TOUT EN IRRIGANT LES CELLULES

- Les **vasa recta** permettent le **maintien du gradient osmotique** de la **médulla** établi par le **transport des ions** dans les **parties descendante** et **ascendante** de l'**anse de Henlé** :
 - ρ Les **vasa recta** sont **perméables** à l'**H₂O** et aux **ions** ⇒ **échanges passifs** entre le **sang** (= des **vasa recta**) et le **liquide interstitiel** jusqu'à l'obtention d'un **équilibre osmotique**).
 - ρ **Conséquences** :
 - au niveau de la **région profonde de la médulla rénale** : le **sang** perd de l'**H₂O** et gagne des **ions** (= devient **hypertonique**);

- au niveau du **cortex rénal** : le **sang** gagne de l' H_2O et perd des ions;
- le **sang** qui *entre* dans la **médulla rénale** et qui *en sort* par les **vasa recta** est **isotonique** par rapport au **liquide interstitiel** ⇒ **maintien de la forte osmolalité** dans la **médulla**.

Figure 10 : Formation d'urine concentrée



FORMATION D'URINE DILUEE

- En l'absence d'**hormone antidiurétique ADH** ⇒ formation par les **reins** d'une **urine diluée**.
 ρ Cause : Les **tubules collecteurs** restent **impermeables** à l' H_2O et **ne la réabsorbent pas** ⇒ le **filtrat dilué** atteignant le **TCD** est **excrété** sans que l' H_2O soit réabsorbée vers l'**espace interstitiel**.

FORMATION D'URINE CONCENTREE

- L'**hormone antidiurétique** ou **ADH** *inhibe la diurèse* = ↓ de l'*excrétion d'urine*.
- L'↑ de la **concentration sanguine d'ADH**
 ⇒ ↑ de la **perméabilité** à l' H_2O des **tubules rénaux collecteurs** et des **TCD** ;
 ⇒ **diffusion** de l' H_2O vers l'**espace interstitiel** dans les **régions hyperosmotiques** de la **médulla rénale** ;
 ⇒ **conséquence** : production de **petites quantités d'urine concentrée**.
- Mécanisme d'action de l'**ADH** :
 ρ ↑ du **nombre des canaux** de l' H_2O situés dans les parois des **TCD** et des **tubules rénaux collecteurs**.
- Selon la **quantité d'ADH libérée** (= *quantité adaptée au degré d'hydratation de l'organisme*) :
 ρ la concentration de l'**urine** peut atteindre **1200 mmol/ kg** (= concentration égale à celle du **liquide interstitiel** dans les **parties profondes** de la **médulla**) ;
 ρ 99% de l' H_2O contenue dans le **filtrat** peut être **réabsorbée** et **renvoyée** dans le **sang**.
- La **réabsorption** de l' H_2O qui dépend de l'**ADH** est appelée **réabsorption facultative de l'eau** car elle dépend des **besoins hydriques** de l'**organisme**.

DIURETIQUES

- Substances chimiques qui ↑ la **diurèse**.
- Par définition, toute **substance filtrée** qui n'est pas **réabsorbée** par les **néphrons**, ou dont la **concentration dépasse ses capacités de réabsorption**
 ⇒ ↑ de l'**osmolalité** du **filtrat**,
 ⇒ **rétenion** d' H_2O dans la **lumière tubulaire**,
 ⇒ joue le rôle de **diurétique osmotique**.

PHYSIOLOGIE HUMAINE

→ Ex. de diurétiques ou d'effets diurétiques :

- ρ En cas de *diabète sucré non équilibré*, l'**hyperglycémie**
 - ⇒ **glucosurie** (= le **glucose** dans l'**urine** agit comme un diurétique osmotique),
 - ⇒ **polyurie** (= ↑ de la **diurèse**).
- ρ **L'alcool**
 - ⇒ ↑ de la libération d'*opiacés endogènes*,
 - ⇒ ↓ de la libération d'**ADH**,
 - ⇒ ↑ de la **diurèse**.
- ρ La **caféine**, la plupart des **médicaments diurétiques** (= traitement de l'hypertension ou de l'œdème causé par l'insuffisance cardiaque)
 - ⇒ ↓ de la **réabsorption** des **ions Na⁺** (= inhibition du transport actif du Na⁺),
 - ⇒ ↓ de la **réabsorption obligatoire** de l'**H₂O**,
 - ⇒ ↑ de la **diurèse**.

CLAIRANCE RENALE

→ La **clairance rénale CR** correspond au *volume de plasma* que les **reins** débarrassent complètement d'une substance *par unité de temps*.

→ Rôles des épreuves de la **clairance rénale** :

- ρ *Détermination* du **débit de filtration glomérulaire DFG** : information sur la quantité de tissu rénal sain.
- ρ *Détection* des **atteintes glomérulaires**.
- ρ *Suivi* de l'**évolution** d'une **maladie rénale**.

→ Expression mathématique de la **clairance rénale CR** d'une substance quelconque (= en mL/ min ou mL/ s) :

$$CR = \frac{U \times V}{P}$$

U = concentration de la substance dans l'**urine** (= en mg/ mL);

V = taux de formation de l'**urine** (= en mL/ min);

P = concentration de la substance dans le **plasma** (= en mg/ mL).

→ La substance utilisée est souvent l'**inuline** (= polysaccharide synthétique) car elle n'est :

- ρ *ni réabsorbée*,
- ρ *ni emmagasinée*,
- ρ *ni sécrétée* par les **reins**.

→ Comme l'**inuline** injectée est éliminée intégralement dans l'**urine**

⇒ la **CR de l'inuline = DFG**.

ρ Pour des **reins en bon état**, on trouve :

- U = 125 mg/ mL,
 - V = 1 mL/ min,
 - P = 1 mg/ mL,
- ⇒ **CR = (125 x 1) / 1 = 125 mL/ min.**

ρ *Interprétation* : les **reins** ont *éliminé en 1 min* toute l'**inuline** présente dans 125 mL de plasma.

ρ Alternative à l'**inuline** : la **créatinine** qui est *légèrement sécrétée* par les **tubules**, d'où un **CR légèrement > 125 mL/ min** (avantage : **substance naturelle non injectée**).

→ Différents types de substances :

- ρ **CR < CR (inuline)** ⇒ substance **partiellement réabsorbée**.
 - Ex. : CR (urée) ≈ 70 mL/ min : 70 des 125 mL de **filtrat glomérulaire** formés chaque minute sont débarrassés de l'*urée*, tandis que l'*urée* contenue dans les 55 mL restants est renvoyé dans le **plasma**.
- ρ **CR = 0** ⇒ substance **complètement réabsorbée**.
 - Ex. : CR (glucose) = 0; CR (HCO₃⁻, Na⁺, Cl⁻, Ca²⁺) ≈ 0 (= proches de 0).
- ρ **CR > CR (inuline)** ⇒ **substance sécrétée** dans le **filtrat**.
 - Ex. : CR (PAH) ≈ 650 mL/ min (= PAH : para-amino-hippurate).

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE L'URINE

COULEUR ET TRANSPARENCE

→ La *couleur jaune normale* de l'**urine** est due à la présence d'**urochromes** (= **urobiline** et **stercobiline**) qui proviennent de la *transformation* de la **bilirubine** (= produit du catabolisme des hèmes de l'hémoglobine).

PHYSIOLOGIE HUMAINE

- L'apparition d'une *couleur anormale* (= rose, brun, gris) peut être due à :
 - ρ la *présence pathologique* : de *pigments biliaires* (= **bilirubine**) ou de **sang** ;
 - ρ l'ingestion de certains aliments comme la betterave.
- L'**urine** qui sort de la **vessie** est *normalement stérile* ⇒ ne contient **pas de bactéries**.
 - ρ Une *urine trouble* peut traduire une *infection bactérienne des voies urinaires*.

ODEUR

- L'**urine fraîche** est *légèrement aromatique*, alors que l'**urine** qu'on *laisse reposer* dégage une *odeur d'ammoniac* (= transformation des substances azotées par les bactéries ayant contaminées l'urine à sa sortie de l'organisme).
- En cas de *diabète sucré non traité*, l'**urine** prend une *odeur fruitée* due à la présence d'**acétone** (= **cétonurie** du diabétique).

PH

- Normalement, le **pH urinaire** est compris **entre 4,5 et 8** (= pH moyen ≈ 6).
 - ρ Sa valeur est influencée par le *régime alimentaire* (= si riche en protéines ⇒ urine acide), les *infections urinaires* (= urine alcaline), etc.

DENSITE

- À cause de la *présence des solutés*, la **densité** de l'**urine** > **densité** de l'**eau distillée** (d = 1,0) : varie de **1,001 à 1,035** (= selon sa concentration).
 - ρ Quand l'**urine** devient *très concentrée*, les *solutés* commencent à *précipiter*.

COMPOSITION CHIMIQUE DE L'URINE

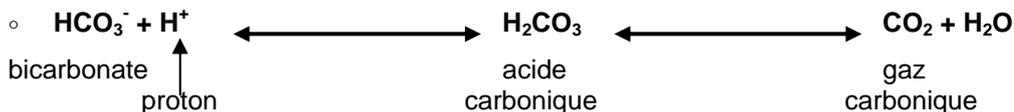
- Elle est composée de :
 - ρ **95% d'H₂O** ;
 - ρ **5% de solutés** par *ordre décroissant de concentration* :
 - *urée* (= dérive du catabolisme des acides aminés),
 - *ions Na⁺, K⁺, HPO₄²⁻ et SO₄²⁻*,
 - *créatinine* (= dérive de la *créatine-P des muscles squelettiques*),
 - *acide urique* (= dérive du *catabolisme des bases puriques*),
 - *ions Ca²⁺, Mg²⁺ et HCO₃⁻* : quantités normalement très faibles.

AUTRES ROLES DES REINS

- En dehors de la **formation de l'urine** et de l'**élimination des déchets**, les autres fonctions des **reins** sont :

MAINTIEN DE L'EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

- Les **reins** sont capables de répondre à toute *modification* de la *concentration plasmatique en ions H⁺ libres* (= à toute variation du pH) de 2 façons :
 - ρ Une ↓ du **pH** (= ↑ des **ions H⁺**)
 - ⇒ **excrétion urinaire d'ions H⁺**,
 - ⇒ **formation et sécrétion** dans le sang d'**ions bicarbonate HCO₃⁻**.
 - ρ Une ↑ du **pH** (= ↓ des **ions H⁺**)
 - ⇒ **baisse de l'excrétion urinaire d'ions H⁺**,
 - ⇒ **élimination urinaire d'ions bicarbonate HCO₃⁻**.
- Les **ions bicarbonate HCO₃⁻** *tamponnent* les **ions H⁺ plasmatiques** en excès de la façon suivante :



ROLE ENDOCRINE : SECRETION DE L'ERYTHROPOÏËTINE OU EPO

- L'**EPO** est sécrétée par les **cellules de la médulla rénale** :
 - ρ Elle agit sur la **moelle osseuse** en **stimulant l'érythropoïèse** : *augmentation* de la *prolifération* et de la *maturation* des **globules rouges**.

REGULATION DE LA PRESSION ARTERIELLE PAR LE SYSTEME RENINE ANGIOTENSINE

- En cas d'*hypovolémie* et/ou d'*hypotension*, le **système rénine angiotensine SRA** est stimulé ⇒ libération d'**aldostérone** (déjà vu précédemment).

PHYSIOLOGIE HUMAINE

ρ L' aldostérone

- ⇒ l' ↑ de la réabsorption d'ions Na^+ et de H_2O au niveau du **TCD** et du **tubule rénal collecteur** ;
- ⇒ l' ↑ de la **volémie** et donc restauration d'une **pression artérielle normale**.

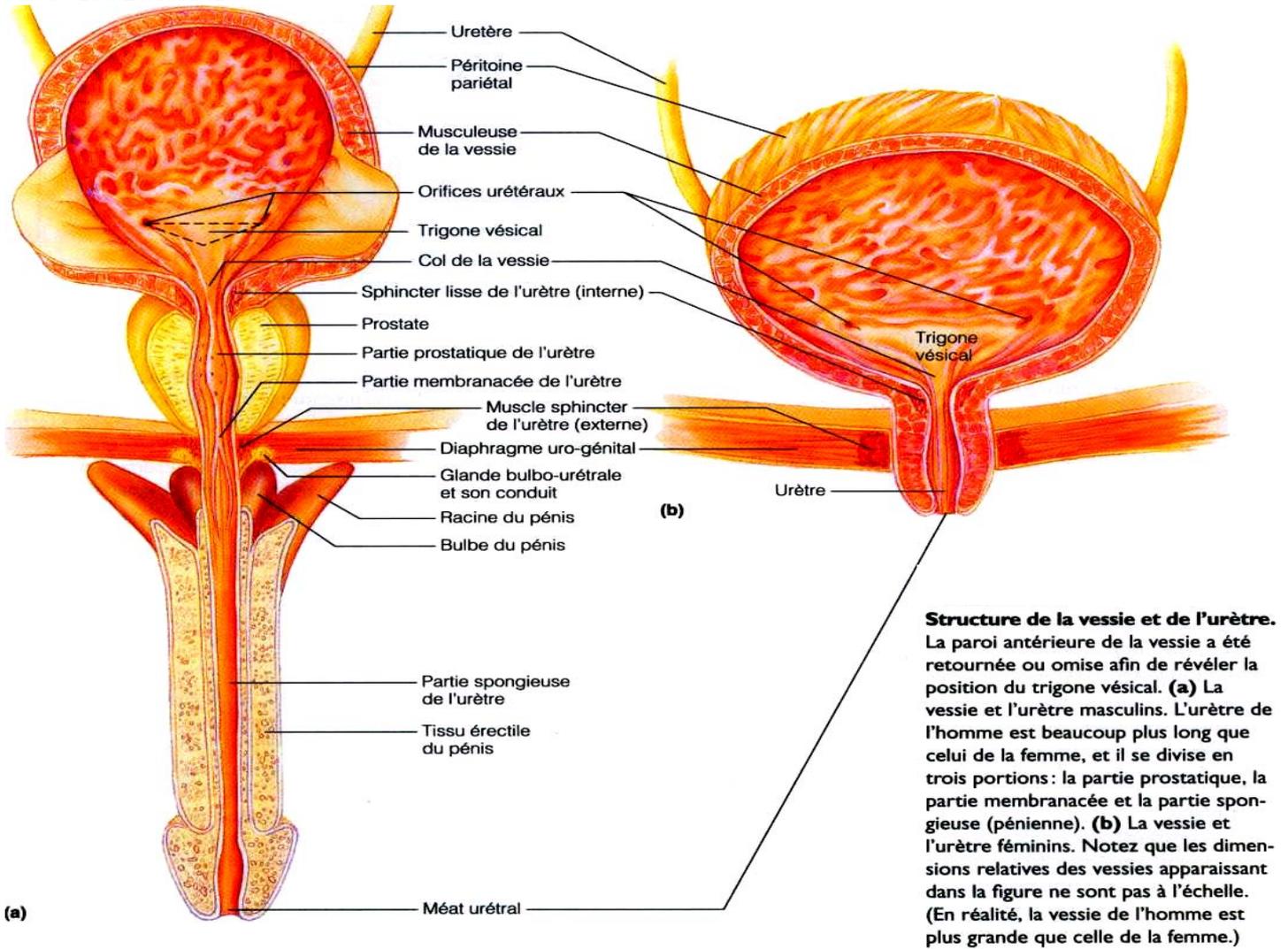
URETERES

- Les **uretères** sont des conduits qui acheminent l'**urine** des **reins** à la **vessie**.
 - ρ Chaque **uretère** est le prolongement du **bassinets** (= **pelvis rénal**) et descend ensuite *derrière le péritoine* jusqu'à la **vessie**.
- La **paroi** de l'**uretère** est formée de **3 couches** :
 - ρ la **muqueuse** (= couche *interne* en contact direct avec la lumière de la **vessie**) ;
 - ρ la **muscleuse** (= couche *intermédiaire*) ;
 - ρ l'**adventice** (= couche *externe*) formée de *tissu conjonctif lâche*.
- L'**urine** descend dans la **vessie** grâce à :
 - ρ la **force de la gravité** ;
 - ρ des **ondes péristaltiques** adaptées à la *vitesse de la formation* de l'**urine** :
 - la *distension* de l'**uretère** due à l'arrivée de l'**urine**
 - ⇒ *contraction de la muscleuse*,
 - ⇒ *propulsion* de l'**urine** dans la **vessie** ;

VESSIE

- La **vessie** est un **sac musculaire contractile** situé derrière la symphyse pubienne.
 - ρ Position *rétropéritonéale*.
 - ρ Est percée de **3 orifices** : les 2 des **uretères** et celui de l'**urètre**
 - ⇒ délimitation du **trigone vésical** (= base triangulaire de la **vessie**).
- Chez l'**homme** :
 - ρ La **vessie** est située *devant* le **rectum**.
 - ρ La **prostate** *entoure* la portion supérieure de l'**urètre** (= col de la **vessie**).
- Chez la **femme**, la **vessie** est située *devant* le **vagin** et l'**utérus**.
- La **paroi** de la **vessie** est composée de **3 couches** :
 - ρ d'une **muqueuse** (= couche interne) ;
 - ρ d'une **muscleuse** (= couche intermédiaire) ;
 - ρ d'une **adventice** (= couche externe) de *tissu conjonctif*.
- Rôle de la vessie : Réservoir qui stocke l'**urine** temporairement entre 2 mictions.
- La **vessie vide** ou *presque vide* est contractée et de *forme pyramidale*.
 - ρ La **vessie pleine** est *dilatée* et prend la *forme d'une poire* : s'élève dans la cavité abdominale.
 - ρ Sa **capacité moyenne** est ≈ **500 mL** (= en cas de besoin peut atteindre **1 L**).

Figure 11 : Structure de la vessie et de l'urètre



URETRE

→ **Rôle de l'urètre :**

ρ conduit musculaire transportant l'urine de la vessie vers l'extérieur de l'organisme.

→ A l'endroit où l'urètre rejoint la vessie :

ρ Est entouré par le sphincter lisse de l'urètre (= interne et involontaire) formé de muscle lisse.

ρ Ferme l'urètre et empêche l'écoulement d'urine entre les mictions.

→ Le muscle sphincter de l'urètre (= externe et volontaire), formé de muscle squelettique, entoure l'urètre à l'endroit où il traverse le diaphragme uro-génital.

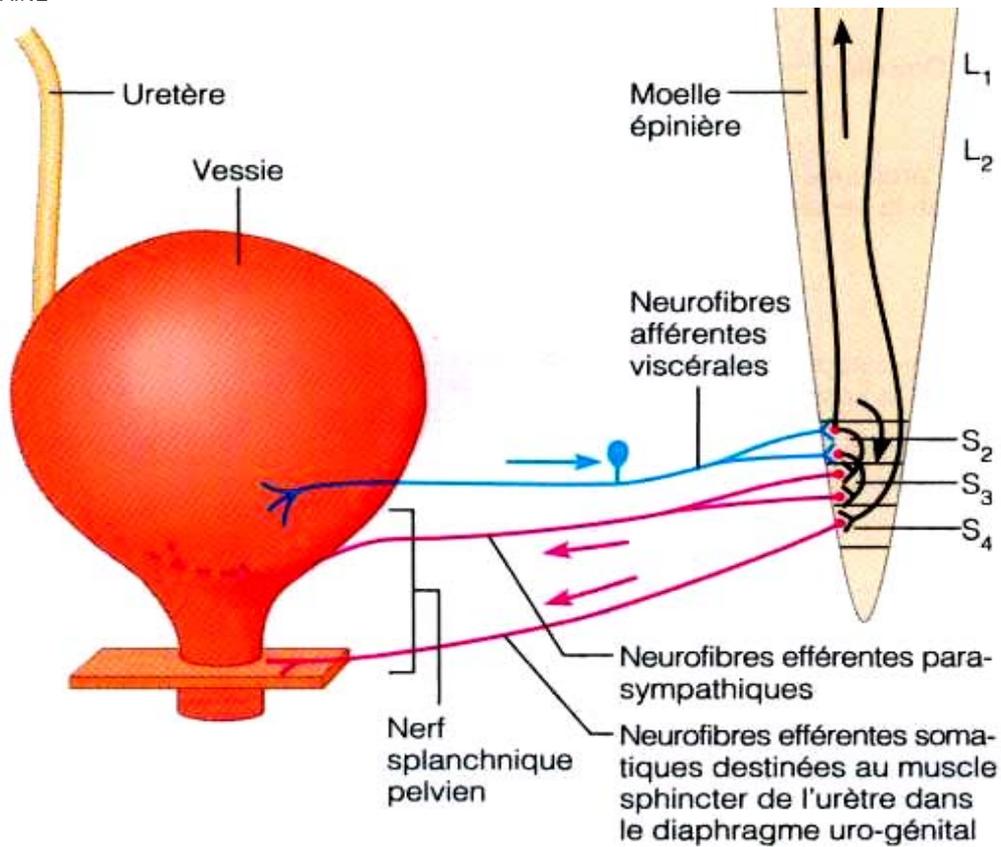
→ Chez la femme, l'urètre mesure de 3 à 4 cm de long.

ρ Ne transporte que l'urine.

→ Chez l'homme, l'urètre mesure ≈ 20 cm de long.

ρ Transporte l'urine ou le sperme.

Figure 12 : Arc réflexe de la miction



MICTION

→ La **miction** est l'émission d'urine.

→ L'accumulation d'urine étire la paroi de la **vessie**
 ⇒ activation de **mécanorécepteurs**,
 ⇒ déclenchement du **réflexe de miction**.

- ρ Les **influx afférents sensitifs** sont transmis à la **région sacrale** de la **moelle épinière**.
- ρ Les **influx efférents moteurs (= viscéraux)** retournent à la **vessie** par l'intermédiaire de **nerfs parasymphatiques (= nerfs splanchniques pelviens)**.
- ρ Ce **réflexe** provoque :
 - o la **contraction** de la **muscleuse** de la **vessie**,
 - o le **relâchement** du **sphincter lisse interne** de l'**urètre**.
- ρ Des **influx sensoriels afférents** parviennent aussi à l'**encéphale**
 ⇒ **perception consciente** du **besoin d'uriner**.

→ Comme le **muscle sphincter externe** de l'**urètre** est **volontaire**
 ⇒ **possibilité de retarder la miction**.

- ρ Ce mécanisme est sous le contrôle de **neurofibres efférentes motrices somatiques** qui innervent le **muscle sphincter externe (= volontaire)** de l'**urètre** (= au niveau du **diaphragme uro-génital**).