

Equilibres acido-basiques

Cours n°3



Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.

Sommaire

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

A) Couple acide base

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

➤ H_2O est une molécule faiblement ionisée en H^+ et OH^- et avec un équilibre : $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol/L}$ ou 100 nmol/L 25°C .

Etat acido-basique

- ♥ Solution neutre → $[\text{H}^+] = 100 \text{ nmol/L}$
- ♥ Solution acide → $[\text{H}^+] > 100 \text{ nmol/L}$
- ♥ Solution basique → $[\text{H}^+] < 100 \text{ nmol/L}$

➤ Un couple acido-basique est une molécule capable dans l'eau de déplacer l'équilibre entre les ions H^+ et les ions OH^- .

Les fonctions cellulaires sont influencées par l'état acido-basique d'où la nécessité d'une fine régulation

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

Le PH influe sur des fonctions vitales de l'organisme :

- Ouverture des canaux membranaires
- Vitesse des interactions enzymatiques
- Interaction entre les protéines (modification de forme)
- **Transport de l'oxygène par l'hémoglobine**

Le PH du milieu extracellulaire varie peu : 7,38 à 7,42

Mais ..

- L'organisme est soumis en permanence à une « **charge acide** » due au métabolisme énergétique (phosphorylation oxydative ++).
- Ce métabolisme produit principalement des protons qui vont donner du CO₂ (car $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) mais aussi des acides lactiques, sulfuriques, corps cétoniques..
- Le CO₂ sera éliminé par les poumons alors que les protons libres seront associés à des anions organiques et éliminés par les reins sous forme d'ammonium ou d'acide phosphorique.

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

B) Rôles des rein/poumons

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

➤ AU REPOS

- Métabolisme de base : énergie produite principalement par lipolyse mais rejette des H^+
- Déplacement équilibre de la réaction vers la création de CO_2 => Elimination par les poumons
- les reins peuvent **sécréter les protons dans les urines et rejeter des bicarbonates (HCO_3^-) dans le sang.**
Recyclage ++

➤ A L'EFFORT

- Demande énergétique augmente ainsi que la production de H⁺
- $H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow CO_2 + H_2O$ équilibre déplacé ++ vers la production de CO₂
- **Adaptation des poumons qui augmentent la fréquence ventilatoire d'un facteur 15 maximum**
- On évite l'acidose
- **ATTENTION : LES REINS NE S'ADAPTENT PAS DURANT L'EFFORT**

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

➤ A L'ARRET DE L'EFFORT

- On revient à un métabolisme de base
- Le rein augmente sa capacité de sécrétion des protons et fabrique des bicarbonates qu'il rejette dans le milieu extracellulaire
- Le NH_4^+ (ammonium) résultant du trappage des protons par le NH_3 (ammoniac) dans l'urine primitive, **augmente d'un facteur 5 au maximum.**
- **ON PARLE DE COUPLAGE FONCTIONNEL POUMON/REIN ABOUTISSANT A UN EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE.**

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

Les bicarbonates sont fabriqués par les reins

$$\text{pH} = 6,10 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 6,10 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{\alpha \text{ PCO}_2}$$

$\text{H}_2\text{CO}_3 = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

Le gaz carbonique est éliminé par les poumons

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

$\text{H}_2\text{CO}_3 =$ coefficient de solubilité (α) x pression partielle du CO_2 .
La régulation de la PCO_2 et des bicarbonates permet une régulation de la concentration de protons donc du PH.

La PCO_2 est régulée par la ventilation

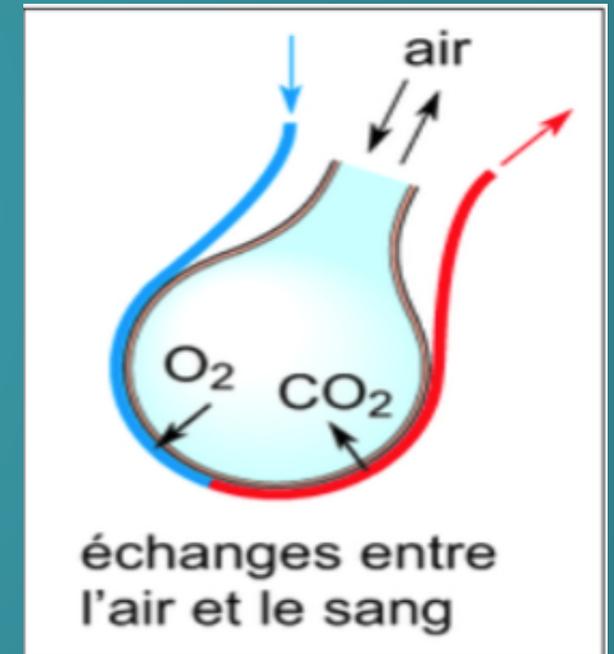
A) Les alvéoles pulmonaires

L'hématose (oxygénation) et l'épuration du CO₂ va se faire au niveau de la membrane alvéolo-capillaire de l'alvéole pulmonaire.

Les échanges gazeux se font selon la **loi de FICK**. La diffusion du CO₂ de du sang vers l'air va alors s'exprimer :
S : surface d'échange de la membrane / ΔPCO_2 : gradient de pression partielle du CO₂ entre l'air et le sang / *e* : épaisseur de la membrane alvéolo-capillaire.

$$\frac{S \times \Delta PCO_2}{e}$$

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

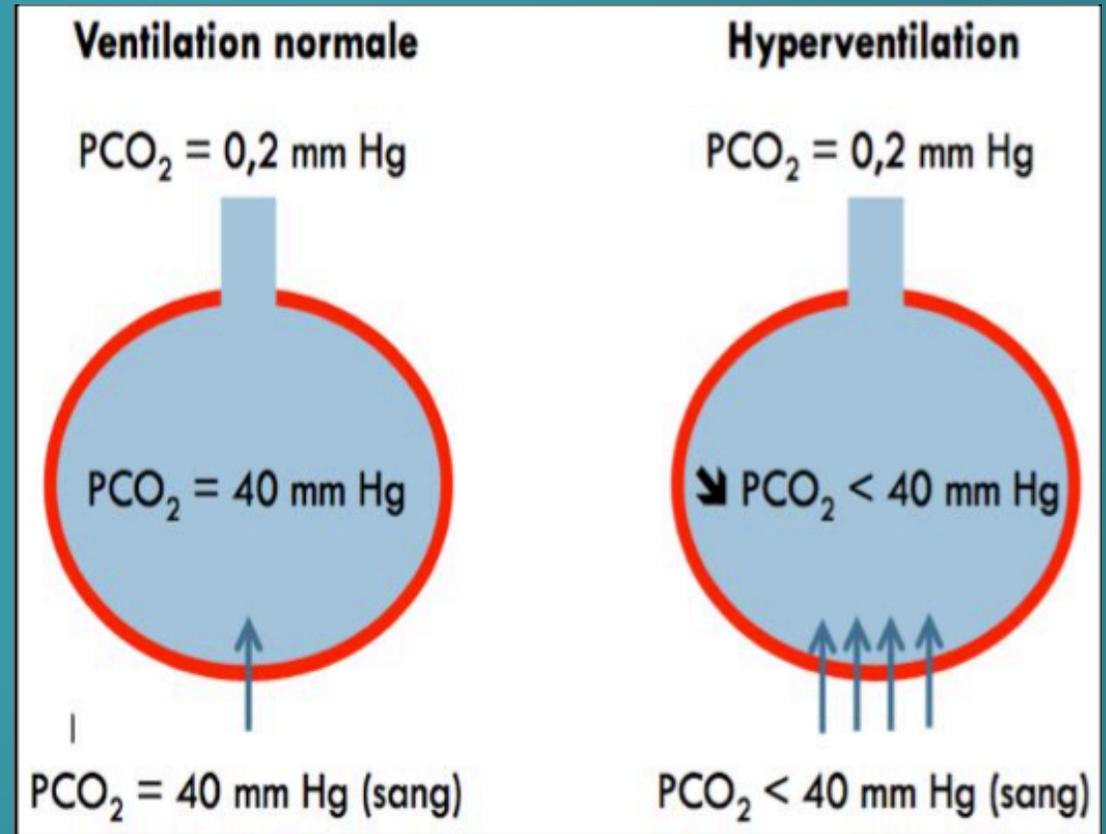


B) Diffusion du CO₂ et ventilation

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

➤ Le renouvellement de l'air alvéolaire par l'air atmosphérique permet de faire baisser la PCO₂ de l'air alvéolaire et donc d'augmenter le gradient de diffusion du CO₂ du sang vers l'alvéole.

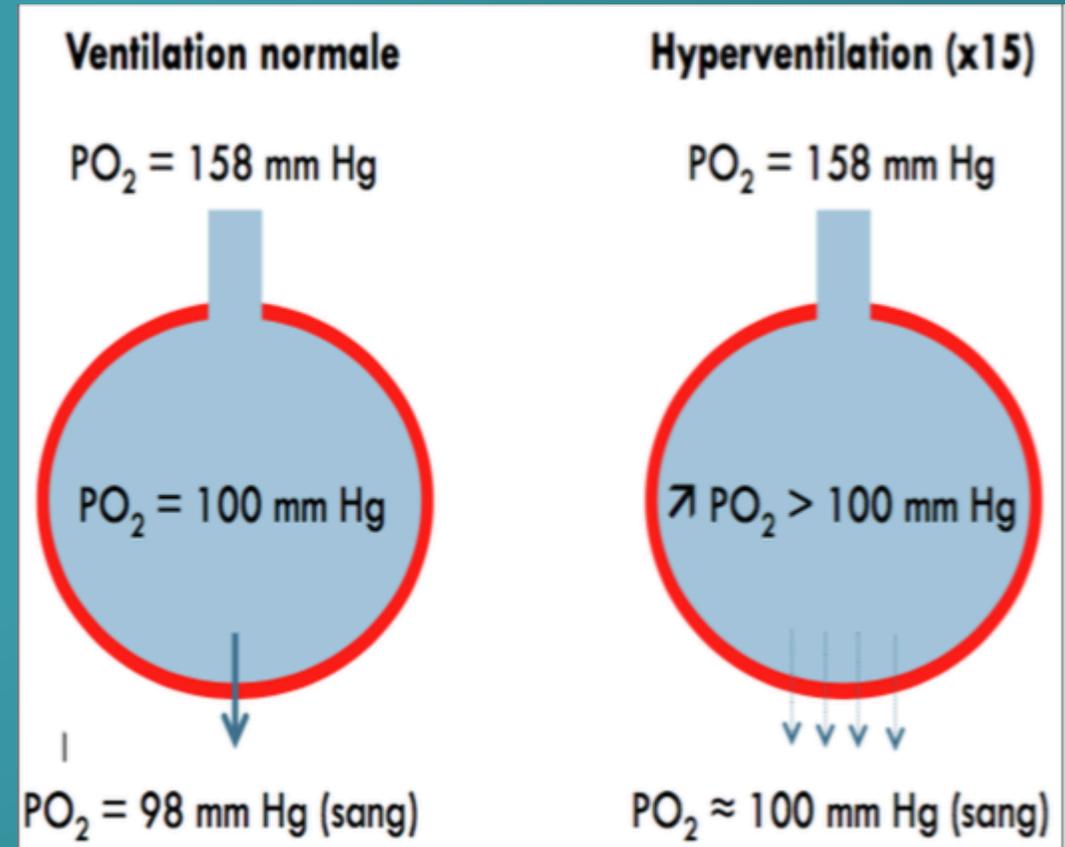
➤ En cas d'hyperventilation, ↗ diffusion du CO₂ vers l'extérieur => ↘ PCO₂ alvéolaire => ↗ diffusion CO₂ du sang vers l'alvéole.



C) Diffusion de l'O₂ et ventilation

- faible gradient de PO₂ entre l'air alvéolaire et atmosphérique
- Le renouvellement de l'air alvéolaire à partir de l'air atmosphérique **augmente peu la PO₂** dans les alvéoles.
- Cette fois ci, en cas d'hyperventilation on aura une **faible augmentation de la PO₂ sanguine** mais une forte épuration en CO₂.

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine



Crise de tétanie

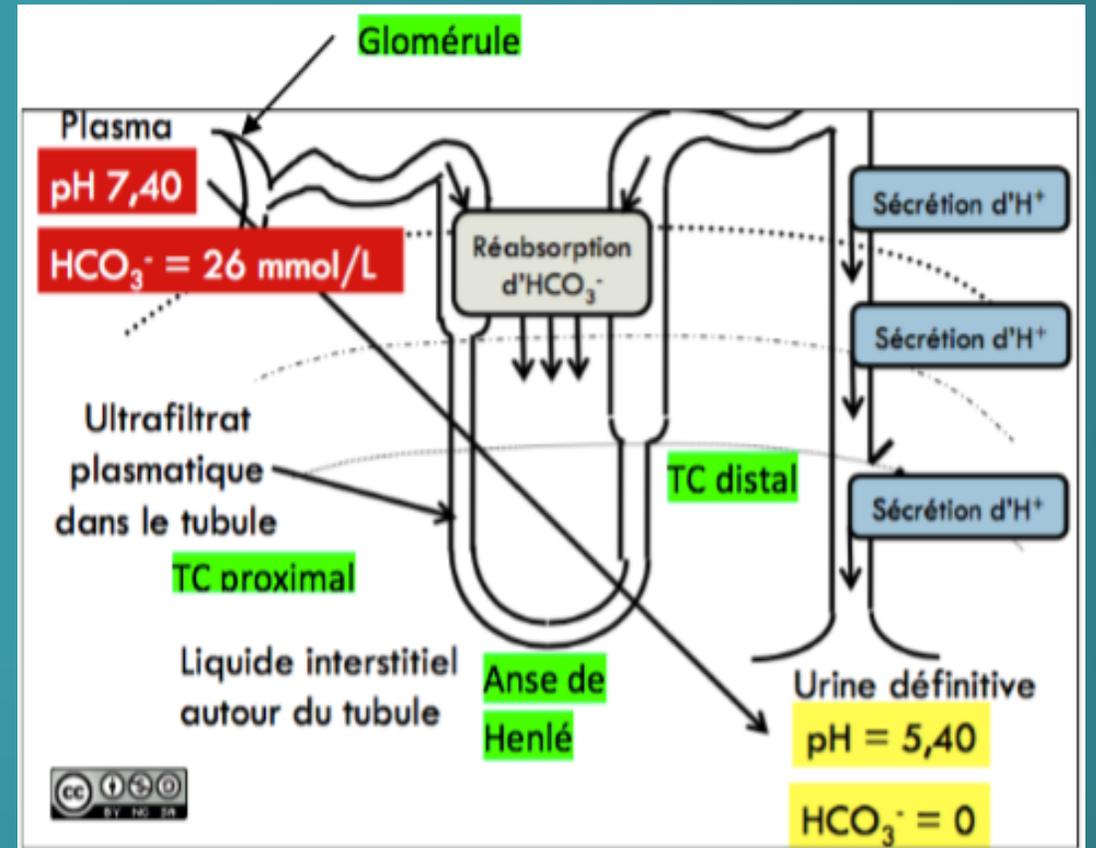
- Le Ca_{2+} et les H^+ sont en équilibre dynamique avec les anions protéiques selon l'équation : $\text{H}^+ + \text{Ca}_{2+} + \text{Pr}^- \rightarrow \text{PrCa} + \text{PrH}$.
- L'hyperventilation diminue la quantité de CO_2 et donc de H^+ ce qui libère des sites protéiques qui vont capter encore plus de calcium ionisé.
- **La diminution de la calcémie ionisée entrave le fonctionnement des muscles striés squelettiques.**
- **On ne modifie pas le calcium total!**

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

D) Reins et bicarbonates

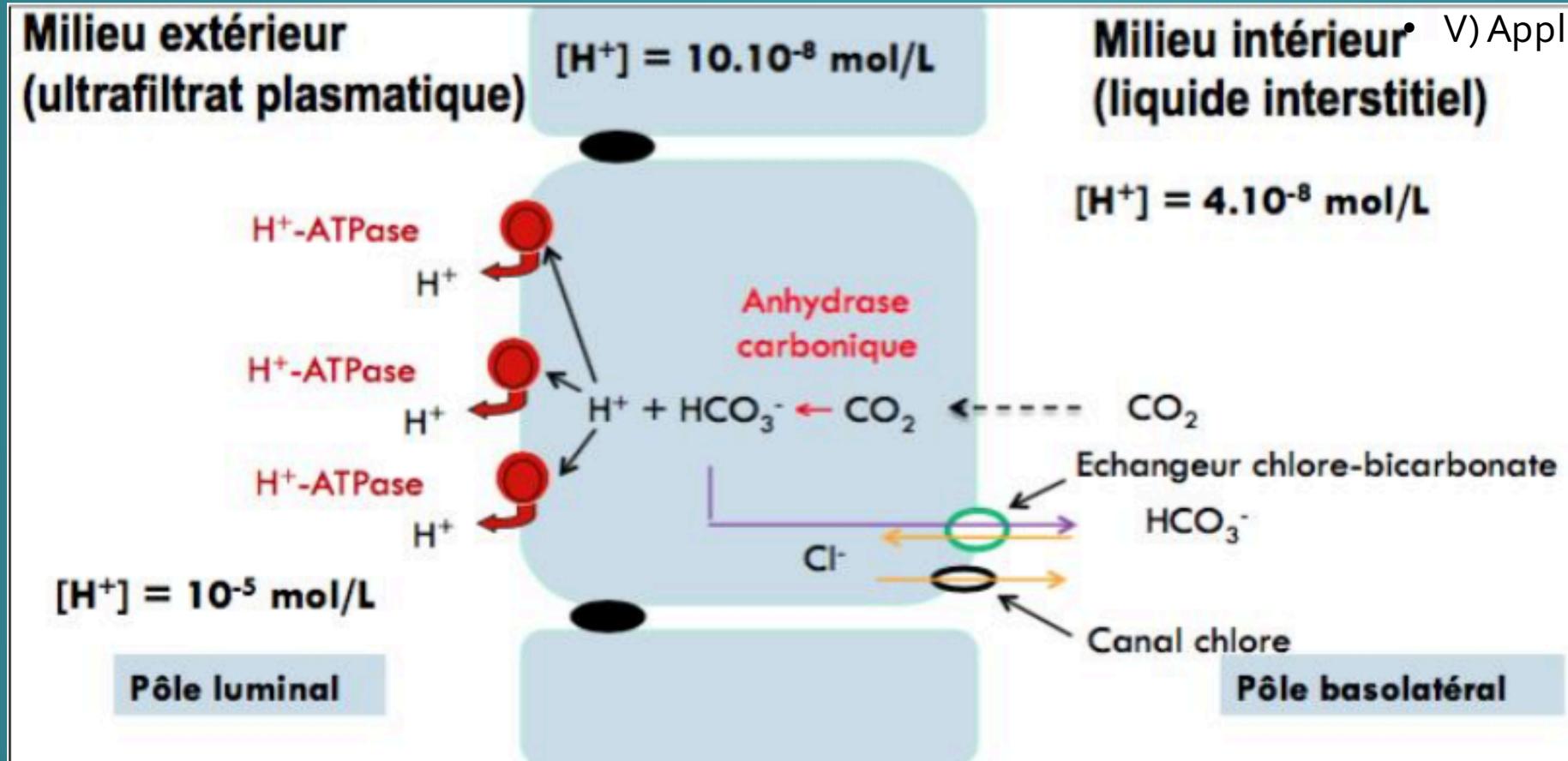
- Sécrétion de protons dans l'urine primitive (pompe H^+ /ATPase) et réabsorption de bicarbonates = recyclage ++
- Les protons sécrétés ne restent pas à l'état libre mais s'associent avec la base de 2 principaux couples acido-basiques de l'urine : **le couple l'acide phosphorique ($HPO_4^{2-}/H_2PO_4^-$) et l'ammoniac.**
- La sécrétion de protons est modulable car permet la régulation du PH du milieu intérieur.

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine



E) Sécrétion des protons

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine



Etapes

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

- 1) **Fabrication des protons** : à partir du CO₂ qui diffuse librement du milieu intérieur à la cellule.
L'Anhydrase carbonique catalyse l'hydratation du CO₂ pour produire au final des H⁺ et des bicarbonates
- 2) **Devenir des protons** : Les pompes H⁺/ATPase situées au **pôle luminal** des cellules épithéliales font sortir de manière active (contre le gradient de concentration de H⁺) les protons vers le milieu extérieur.
- 3) **Les bicarbonates (HCO₃⁻)** : Retournent dans le milieu intérieur via un échangeur chlore/bicarbonate du côté basolatéral de la cellule.
- 4) **Les ions chlore** : diffusent passivement selon leur potentiel chimique via un canal du côté basolatéral.

Epithélium serré à ce niveau donc aucun passage paracellulaire

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

Puis : fixations des protons sur des anions organiques présents dans l'urine = HPO_4^{2-} OU NH_3

(PKA = 6,80 ce qui explique que sa forme A^- prédomine au niveau du glomérule (PH=7,40) et permet donc la captation d'un maximum de protons.) => Tout au long du conduit, l'urine s'acidifie ce qui explique que la forme AH prédomine.

Les protons H^+ sécrétés sont donc éliminés grâce au fonctionnement du couple $\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$ Il se passe la même chose pour le couple ammonium/ammoniac ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$).

F) Capacité à fabriquer des bicarbonates

- I) Généralités
- II) Acide carbonique
- III) Pouvoir tampon
- IV) Analyse du pouvoir tampon
- V) Applications en médecine

➤ Le couple $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ est le principal accepteur de protons de l'urine. En effet, l'ammoniac est facilement renouvelable car c'est un gaz qui diffuse librement selon son gradient de concentration.

$\text{NH}_4^+ = 75\%$ des bicarbonates → Augmentation possible de la production x5

$\text{H}_2\text{PO}_4^- = 25\%$ des bicarbonates → Pas d'augmentation

QCM

Concernant les échanges gazeux donnez la(les) vraie(s) :

- A) Un gaz diffuse du milieu où sa pression partielle est la plus faible à celle où elle est la plus forte
- B) L'hyperventilation modifie plus la quantité d'O₂ que de CO₂ dissous dans le sang
- C) Il existe une forte différence de PCO₂ entre l'air alvéolaire et l'air atmosphérique
- D) L'hématose se réalise au niveau de la membrane alvéolo-capillaire
- E) Les réponses A, B, C et D sont fausses

QCM

Concernant les échanges gazeux donnez la(les) vraie(s) :

- A) Un gaz diffuse du milieu où sa pression partielle est la plus faible à celle où elle est la plus forte
- B) L'hyperventilation modifie plus la quantité d'O₂ que de CO₂ dissous dans le sang
- C) Il existe une forte différence de PCO₂ entre l'air alvéolaire et l'air atmosphérique
- D) L'hématose se réalise au niveau de la membrane alvéolo-capillaire
- E) Les réponses A, B, C et D sont fausses

QCM

Concernant le rôle des reins dans l'équilibre acide-base donnez la(les) vraie(s) :

- A) Le rein utilise la pompe Na/K/ATPase pour sécréter des protons dans les urines
- B) Les protons sécrétés ne restent pas à l'état libre mais s'associent avec des acides comme l'ammoniac (NH_3)
- C) La sécrétion de protons est modulable car elle permet de réguler le pH du milieu intérieur
- D) L'acide phosphorique est responsable du recyclage de 75% des bicarbonates
- E) Les réponses A, B, C et D sont fausses

QCM

Concernant le rôle des reins dans l'équilibre acide-base donnez la(les) vraie(s) :

- A) Le rein utilise la pompe Na/K/ATPase pour sécréter des protons dans les urines
- B) Les protons sécrétés ne restent pas à l'état libre mais s'associent avec des acides comme l'ammoniac (NH_3)
- C) La sécrétion de protons est modulable car elle permet de réguler le PH du milieu intérieur
- D) L'acide phosphorique est responsable du recyclage de 75% des bicarbonates
- E) Les réponses A,B,C et D sont fausses