

Effets tampons, tampons ouverts et fermés

I. Introduction - Généralités	2
A. Rappels	2
B. Répartition du pouvoir tampon de l'organisme	4
1. Dans le milieu intracellulaire	4
2. Dans le milieu extracellulaire	4
II. Loi d'Henderson Hasselbach	5
III. Pouvoir tampon du sang	6
A. Système tampon Bicarbonate H_2CO_3/HCO_3^- : tampon ouvert	6
B. Système tampon hémoglobine (Hb) : tampon fermé	7
C. Système protéinate : les protéines plasmatiques et les phosphates inorganiques : tampon fermé	9
1. Les protéines plasmatiques	9
2. Les phosphates inorganiques	10
IV. Les organes régulateurs	11
A. Le poumon	11
B. Les reins	11
V. Les déséquilibres du pH - Diagramme de Davenport	11
VI. Applications dans la nature	13

I. Introduction - Généralités

A. Rappels

Un solution tampon est soit :

- Un acide faible avec un anion (CH_3COOH , acide acétique / CH_3COONa , acétate de sodium)
- Une base faible avec un sel (NH_3 / NH_4Cl)

⇒ L'intérêt des solutions tampons est de maintenir la valeur d'un pH constante.

C'est d'une grande importance notamment car les réactions doivent se faire à pH constant comme c'est le cas dans le corps humain.

⇒ Le sang de l'organisme humain est tamponné à **pH = 7,4** (un peu basique) par des systèmes tampons qu'on va étudier.

On rappelle que la neutralité est obtenue à un pH de 7.

Un acide est capable de céder un proton alors qu'une base capte un proton ++.

⇒ **La concentration en protons varie d'un facteur 10 pour une unité pH, d'où l'importance des chiffres après la virgule. +++**

$\text{pH} = 7,4 \Rightarrow$

La neutralité correspond à un $\text{pH} = 7$. La concentration en ions H^+ est alors de 10^{-7} mol/L .

Donc le pH sanguin ($\text{pH} = 7,4$) est un pH basique, essentiellement dû aux ions bicarbonates.

⇒ **Formule du pH en conditions physiologiques**

$$\text{pH}_{\text{sanguin}} = 6,1 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 6,1 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{rein}}}{[\text{CO}_2]_{\text{poumon}}} = 7,4$$

⇒ HCO_3^- : bicarbonate

⇒ H_2CO_3 : acide carbonique

Les bicarbonates sont régulés par les reins alors que le CO_2 (acide carbonique) est régulé par les poumons.

A l'état physiologique, la valeur de pH sanguin = 7,4 est obtenue si les conditions suivantes sont réunies :

- Une concentration en protons égale à 40 mmol/L.
- Une concentration de bicarbonates et de gaz carbonique.

⇒ Concentration de bicarbonates entre 24 et 30 mmol/L.

⇒ Pression partielle en CO₂ au niveau des artères : PaCO₂ = 40 mmHg.

Le pH sanguin, normalement de 7,4, doit être compris entre des limites précises de 7,38 et 7,42 (7,4 ± 0,02). Il est donc basique, la neutralité étant à 7.

Au-delà, c'est incompatible avec la vie notamment à cause des réactions *chimiques* et enzymatiques du métabolisme, **au-delà on remet en cause l'homéostasie.**

Le pH intracellulaire est plus acide, de l'ordre de 7,25.

pH de la peau = 4,7 et 5,75 (*acide*)

pH estomac = entre 2 et 5 (*très acide*)

L'homéostasie est l'équilibre physiologique de notre corps.

Maintenir l'homéostasie dans son ensemble est essentiel, d'où l'importance de l'effet tampon pour maintenir un pH dans les normes.

Notre organisme est soumis **en permanence** à des agressions acides par production d'ions H⁺.

- Par l'organisme, essentiellement **l'acide lactique** produit par le muscle lors d'efforts physiques par glycolyse anaérobie, absence d'oxygène (lorsqu'on court).
- Par **l'alimentation** de façon mineure.

♥ **Définition :** Un milieu est tamponné si malgré l'ajout de base (soude) ou d'acide, ou on dilue la solution dans le milieu, le pH reste pratiquement constant.

On peut considérer que l'Homme est un système tampon à lui seul.

Exemple :

Un verre de vin : pH très acide compris entre 3,5 et 4

Coca : pH de 2,5 à 4,2.

Citron autour de 2,4.

Nous disposons de 3 lignes de défense contre les agressions acides :

- **Les tampons plasmatiques** : produisant une réponse **brève et instantanée** (immédiat).
- **Les poumons** par l'élimination pulmonaire du dioxyde de carbone lors de la respiration, ventilation : cela a lieu en quelques minutes, on parle de système tampon **intermédiaire** (barrière intermédiaire). *Quand on fournit un effort physique, on respire plus fort et vite pour éliminer plus vite le CO₂.*

- **Les reins** permettent l'élimination des protons par la diurèse qui est le volume d'urines produites en 24 h. C'est une **réponse lente** en quelques heures mais **durable**.
Lors d'analyses, on a besoin de connaître le volume urinaire en 24 h.

B. Répartition du pouvoir tampon de l'organisme

On distingue 2 milieux : intra-cellulaire et extra-cellulaire.

1. Dans le milieu intracellulaire

Le pH intra-cellulaire est de 7,25 donc plus acide que le pH du sang. Le milieu intra cellulaire est peu connu car il est difficile à étudier.

Au niveau intra-cellulaire, malgré l'intervention de tous les tissus, deux types cellulaires sont très importants dans le maintien du pH

- ▶ Les **hématies** ou globules rouges
- ▶ Le tissu osseux (**os**) a également une action au niveau de l'effet tampon de l'organisme,

2. Dans le milieu extracellulaire

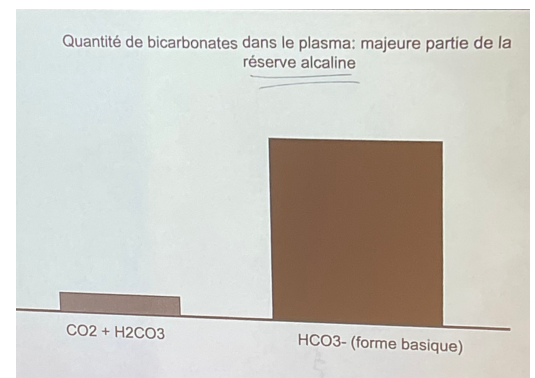
Il y a également deux grands compartiments :

- Le **milieu interstitiel (dépourvu de protéines)** : représente 20% du pouvoir tampon du sang
- Le **sang** : représente 20% du pouvoir tampon de l'organisme et il est de loin **le plus important** car c'est la première ligne de défense mise en route, il permet une réponse **immédiate**.

Ce pouvoir tampon est essentiellement formé par le couple acide bicarbonique/bicarbonate ($\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$) : couple principal, c'est un tampon ouvert

⇒ L'acide **bicarbonique** est un acide **faible**.

⇒ Le bicarbonate (HCO_3^-) est aussi appelé **réserve alcaline**.



Notre organisme est agressé en permanence et ce bicarbonate permet de tamponner.

La concentration en bicarbonates, en conditions physiologiques, est comprise (il insiste sur les valeurs). ❤️

- Au niveau des **artères** entre **24 et 30** mmol/L de sang.
- Au niveau des **veines** entre **22 et 30** mmol/L de sang.

C'est ce couple qui permet essentiellement de maintenir le pH sanguin entre 7,38 et 7,42.

Définitions :

- On définit le pKa comme le **pH de demi-dissociation caractéristique du tampon**. C'est le pH pour lequel 50% du tampon se trouvent sous forme acide et 50% sous forme basique. Si on prend le couple acide carbonique/bicarbonate, il y a autant d'acide carbonique que de bicarbonate.

- Le pouvoir tampon **maximum** est obtenu, en général (ce n'est pas le cas pour les bicarbonates), lorsque **pH = pKa** du couple en solution, c'est-à-dire pour un **mélange équimolaire** (il y en a autant) entre un acide faible et son anion correspondant (AH/A⁻).
pH=pKa est valable en général mais pas pour le sang, où le pH=7,4 et le pKa = 6,1 à cause des bicarbonates qui sont des tampons « ouverts ».

Le pH sanguin = 7,4 et le pKa du couple H₂CO₃/HCO₃⁻ = 6,1, donc pH ≠ pKa.

⇒ ❤ Une solution tampon est **saturable**, elle doit être en quantité suffisante +++++

II. Loi d'Henderson Hasselbach

Le pH sanguin est basé sur la loi d'Henderson Hasselbach :

$$pH = pKa + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

Avec : ⇒ HA = acide faible (H₂CO₃)

⇒ A⁻ = anion ou base conjuguée (HCO₃⁻)

⇒ pKa = point de demi-dissociation du tampon

Dans le sang, **une réaction s'effectue**, un équilibre se crée :



H₂CO₃ donne de façon spontanée mais de façon lente et réversible du gaz carbonique et de l'eau.

Cette réaction peut être accélérée jusqu'à **2 000 fois** par une enzyme, **l'anhydrase carbonique** ++. Elle se trouve essentiellement dans les **hématies** et au niveau des **reins**.

Elle accélère la formation de CO₂.



Soit en pratique dans le sang : $\text{pH} = 6,1 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 6,1 + \log \frac{[\text{bicarbonate}]_{\text{rein}}}{[\text{CO}_2]_{\text{poumon}}} = 7,4$

Le pH sanguin est basique 7,4 du fait de l'excès de bicarbonates.

III. Pouvoir tampon du sang

Un système tampon ouvert correspond à une solution qui a une masse totale **variable** (urines) (élimination du gaz carbonique par les poumons et élimination des ions H^+ par le rein).

Un système tampon fermé correspond à une solution qui a une masse totale **constante**, donc un volume constant.

Il existe 3 systèmes tampons dans le sang chez les êtres humains : 1 ouvert et 2 fermés.

A. Système tampon Bicarbonate $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$: tampon ouvert

Il représente 55% du pouvoir tampon du sang chez les mammifères.

Le pKa du bicarbonate est de 6,1, donc différent du pH du sang humain physiologique de 7,4.

Variations du pH sanguin en fonction du rapport $[\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3]$

Le pouvoir tampon est maximum quand $\text{pH} = \text{pKa}$.

