

EXTRAIT CAHIER PASS

Physiologie

Equilibres acido-basiques

2020-2021

Préface

Pour mieux appréhender le programme qui vous attend en PASS, voici **un extrait de notre cahier Galien de Physiologie**, matière du 2nd semestre à la faculté de Lyon Sud.



Cet extrait correspond à un **cours de 30 min** à la Faculté **sur les 24h** consacrées à la physiologie.

Il aborde le thème des équilibres acido-basiques, notion à l'interface de vos cours de SVT et de physique-chimie au lycée puisque les équilibres chimiques ici décrits sont en lien avec le milieu intérieur cellulaire.



Ce cahier a pour but de vous apporter la majorité de l'apport théorique dans ce chapitre de la physiologie respiratoire et rénale, une des bases du métier que la plupart d'entre vous souhaitez réaliser. C'est une matière qui nécessite **ÉNORMEMENT** de travail, tout comme les autres matières du reste, mais la difficulté est qu'il s'agit non seulement d'apprendre et retenir ces cours, mais aussi de les comprendre, ce qui demande plus de temps pour les maîtriser.

La compréhension est la clé de la réussite dans cette matière. Schémas, tableaux, indications particulières complètent les notions traitées pour une compréhension. Les fiches de synthèse complémentaires aux cahiers de cours sont principalement réalisées par nos soins et adaptées aux cours.

Table des matières

I. RAPPELS.....	3
II. CONTRÔLE DE L'ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE DANS L'ORGANISME	3
A. GÉNÉRALITÉS.....	3
B. MOYENS DE DÉFENSE CONTRE LES DÉSEQUILIBRES ACIDO-BASIQUES.....	3
1. Mécanismes humoraux : les tampons.....	3
2. Mécanismes viscéraux : poumons et reins.....	4
III. SOURCES DE PRODUCTION D'ACIDES DANS L'ORGANISME.....	4
A. ACIDITÉ VOLATILE.....	4
B. ACIDITÉ NON VOLATILE OU FIXE	5
IV. MÉCANISMES DE RÉGULATION DE L'ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE	5
A. MÉCANISMES PULMONAIRES	5
1. Mécanismes.....	5
2. Facteur de régulation de la ventilation pulmonaire.....	6
B. MÉCANISMES RÉNAUX	7
1. Sécrétion urinaire des ions H ⁺	7
2. Réabsorption des bicarbonates.....	7
3. Régénération des bicarbonates et élimination de la charge acide (H ⁺)	8
4. Les tampons urinaires	8
V. L'ESSENTIEL – POINTS À RETENIR.....	9

I. RAPPELS

L'acidité d'une solution correspond à la concentration en ions H^+ libres.

- Celle-ci est plutôt faible dans les milieux physiologiques (de 10^{-6} à 10^{-8} mol/L)

L'expression de cette concentration est sous forme de pH :

- La relation liant pH et concentration d'ions H^+ : $pH = -\log[H^+]$

Nécessité d'une régulation très précise dans l'organisme de la concentration en H^+ libres :

- Valeur normale : $7,38 < pH < 7,42$

II. CONTRÔLE DE L'ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE DANS L'ORGANISME

A. GÉNÉRALITÉS

Stabilité du pH : Il est important de maintenir le pH car la **structure des protéines, le fonctionnement des enzymes, l'excitabilité neuronale et le transfert de potassium** par exemple nécessitent un **pH constant**.

Il y a donc une régulation précise du pH.

$$7,38 < pH < 7,42$$

- Si $pH < 7,38 \rightarrow$ **acidose**
- Si $pH > 7,42 \rightarrow$ **alcalose**

B. MOYENS DE DÉFENSE CONTRE LES DÉSEQUILIBRES ACIDO-BASIQUES

Moyens de défense

- mécanismes humoraux
 - tampons

1^{ère} ligne de défense
limite les grandes variations

- mécanismes viscéraux
 - poumons
 - reins

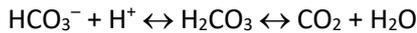
2^{ème} ligne de défense
poumons : mécanisme rapide
reins : réponse retardée mais complète

1. Mécanismes humoraux : les tampons

Phénomène chimique rapide mais limité : première ligne de défense

Sang	Autre LEC	LIC	Urines
Bicarbonates 65%	Bicarbonates	Protéines ++++	Ammoniaque
Hémoglobine 30%	Protéines	Phosphates	Phosphates
Protéines 5%	Phosphates		
Phosphates 1%			

Les bicarbonates sont les composants principaux du milieu extracellulaire avec un $pK = 6,1$



2. Mécanismes viscéraux : poumons et reins

C'est la **deuxième ligne de défense** de l'organisme après les mécanismes humoraux. Les mécanismes viscéraux peuvent lutter **plus efficacement que les tampons**, avec une action **retardée**, contre les attaques acides.

- Mécanisme pulmonaire qui permet de réguler la pression partielle en CO_2 (PCO_2) qui représente le CO_2 dissout dans le sang
- Mécanisme rénal qui permet de réguler la concentration en bicarbonates

Le pH de l'organisme répond à l'équation de Henderson-Hasselbach :

$$pH = pK + \log \frac{[base]}{[acide]}$$

Exemple : dans le cas du système bicarbonate / acide carbonique / gaz carbonique

- Pas d'accumulation de H_2CO_3 : forme transitoire
- Le tampon est donc assimilé au couple $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_2$
- L'équation devient :

$$7,4 = 6,1 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\alpha \cdot \text{PCO}_2]}$$

La forme acide CO_2 ne peut pas être mesurée, mais elle est proportionnelle à la pression partielle en CO_2 dans le sang (mesurable) que l'on écrit $\alpha \cdot \text{PCO}_2$, avec $\alpha=0,03$ coefficient de dissolution.

On voit donc que le pH peut-être régulé soit par la concentration en bicarbonates (régulée par le rein), soit par la PCO_2 (régulée par le poumon)

III. SOURCES DE PRODUCTION D'ACIDES DANS L'ORGANISME

Le corps est en lutte permanente contre l'acidose

A. ACIDITÉ VOLATILE

- Liée au **métabolisme aérobie** (dégradation glucides, lipides et protides) avec O_2 au niveau du cycle de Krebs des mitochondries : production H_2O et CO_2 .
- Le CO_2 est potentiellement **source d'acide** et sa **production quotidienne** est de **15000 mmol/j**.
 $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$
- Si non éliminé par les poumons (insuffisance respiratoire) \rightarrow 15000 mmoles de H^+ s'accumulent dans l'organisme, d'où la nécessité de l'éliminer sinon il y a une acidose respiratoire

B. ACIDITÉ NON VOLATILE OU FIXE

- Non éliminée par les poumons
- Éliminée pas les **reins**
- Production d'acides forts selon 2 origines :

1^{ère} origine = alimentation

Le métabolisme des protéines est la plus grande source d'acides forts (acide chlorhydrique et acide sulfurique).

Dans les conditions physiologiques :

- **Acide sulfurique** qui est le plus **abondant**
→ Origine : des aminoacides soufrés (cystéine/cystine, méthionine)
- **Acide chlorhydrique**
→ Origine : des aminoacides cationiques (lysine, arginine, histidine)

2^{ème} origine = pathologique

Acides organiques (en pathologie) :

- **Acide lactique** si hypoxie (baisse d'oxygène)
- **Acide cétonique** si diminution de l'insuline ou jeûne...

On produit en moyenne **1 mmol/kg/jour** d'acides fixes

L'H⁺ produit est tamponné par HCO₃⁻ (=bicarbonate) tel que : HCO₃⁻ + H⁺ → CO₂ + H₂O

Donc :

- La **production de CO₂** est éliminée par les **poumons**
- Mais cela **consomme du HCO₃⁻** → nécessité de renouvellement du stock de HCO₃⁻ (réserve alcaline) = **rôle du rein**

$$7,40 = 6,10 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

La régulation permet le maintien du pH à 7,4

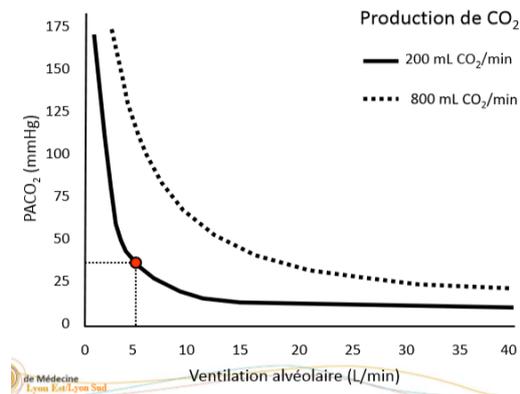
IV. MÉCANISMES DE RÉGULATION DE L'ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

A. MÉCANISMES PULMONAIRES

1. Mécanismes

- **Hyperventilation** = **diminution** de la PCO₂ jusqu'à un certain point.
- **Hypoventilation** (= insuffisance respiratoire) = **augmentation** de la PCO₂ avec risque **d'acidose respiratoire**.

Relation de nature hyperbolique entre la pCO₂ et la ventilation pulmonaire :

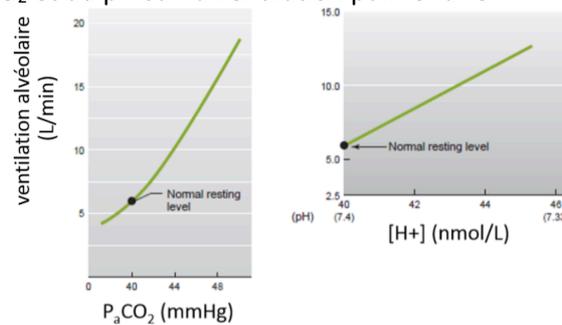


P_{aCO_2} : pression alvéolaire ; en fonction de la ventilation alvéolaire

- En cas d'effort, il y a une régulation de la pCO_2

2. Facteur de régulation de la ventilation pulmonaire

Influence de la variation de la pCO_2 et du pH sur la ventilation pulmonaire :



- pCO_2 : une **petite augmentation** de la pCO_2 stimule **rapidement** la ventilation pulmonaire
- **pH** : plus il diminue, plus on stimule la ventilation pulmonaire

Stimulation de la ventilation pulmonaire :

- Augmentation de pCO_2 plasmatique
 - Baisse du pH sanguin ou augmentation de $[H^+]$
- } Régulent la ventilation pulmonaire **rapidement**

Chémorécepteurs = récepteurs **sensibles à la composition du milieu** qui les entoure :

- **Chémorécepteurs centraux** :
 - Stimulés par l'augmentation de la pCO_2 et la diminution du pH :
- **Chémorécepteurs périphériques, aortiques ou carotidiens**
 - Sensibles à l'augmentation de la pCO_2 et **diminution** du pH.

Ainsi on a une augmentation de la ventilation pulmonaire si le pH diminue (c'est-à-dire si l'acidité augmente) ou si la PCO_2 augmente.

Au contraire, on va freiner la ventilation pulmonaire si le pH augmente (c'est-à-dire si l'acidité diminue : milieu alcalin) ou si la PCO_2 diminue.

Ces mécanismes pulmonaires vont permettre de corriger le pH au prix d'une modification de l'amplitude et de la fréquence respiratoire :

Si alcalose métabolique : on freine amplitude et fréquence de la ventilation = Hypoventilation
 Si acidose métabolique : on augmente amplitude et fréquence de la ventilation = Hyperventilation

Mais attention, si cette adaptation respiratoire s'arrête, le trouble acido-basique réapparaît.

B. MÉCANISMES RÉNAUX

C'est le deuxième mécanisme de régulation.

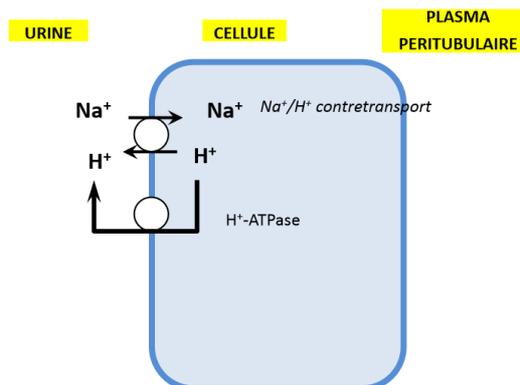
Ce mécanisme permet, d'une part, l'élimination définitive des acides (les protons) dans les urines et, d'autre part, la régénération du pool de bicarbonates qui ont été consommés comme tampons

1. Sécrétion urinaire des ions H^+

Cellules rénales polarisées :

- **Pôle basolatéral péritubulaire** : présence de la Na-K-ATPase qui crée un gradient de sodium
- **Pôle apical urinaire** : présence du contre-transport Na^+/H^+ qui fait sortir un proton contre l'entrée d'un sodium et du transport primaire H^+ -ATPase qui fait sortir un proton

Rôle de ces protons = réabsorption des bicarbonates



2. Réabsorption des bicarbonates

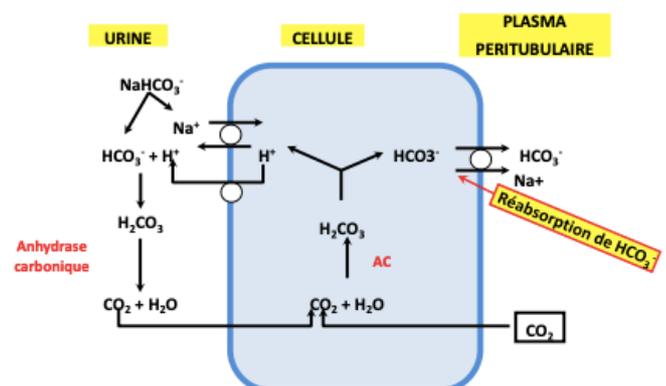
- **Mécanisme :**

→ Après filtration glomérulaire, les ions HCO_3^- se retrouvent dans l'urine primitive → la concentration en bicarbonates de l'urine primitive est proche de celle du plasma

→ En captant un ion H^+ , un ion HCO_3^- est converti en H_2CO_3 , lequel peut être déshydraté en CO_2 grâce à l'action d'une **anhydrase carbonique**

→ Le CO_2 peut diffuser librement à travers la membrane des cellules tubulaires pour être hydraté en H_2CO_3 qui est rapidement converti en HCO_3^- et en proton.

- A lieu dans toutes les cellules tubulaires, essentiellement au niveau du tube proximal.



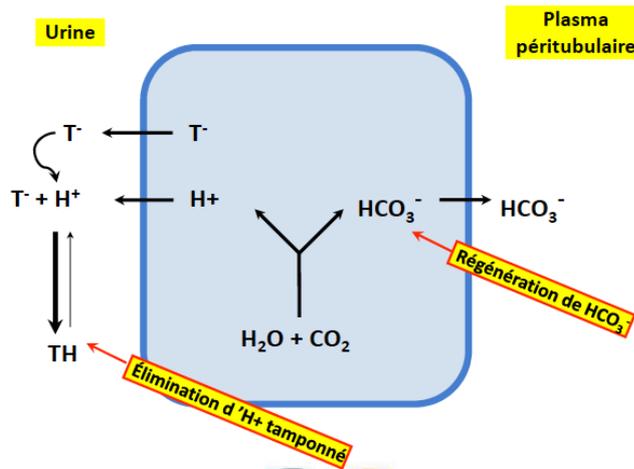
Cela a un double effet :

→ Pour chaque proton éliminé, un bicarbonate est **réabsorbé** puis **régénéré**

Cela permet de **réabsorber 85% des bicarbonates filtrés**.

3. Régénération des bicarbonates et élimination de la charge acide (H⁺)

- Mécanisme :
 - Les H⁺ sécrétés sont fixés par les tampons urinaires, éliminant le proton dans l'urine
 - Pour sécréter un H⁺ qui sera tamponné, un bicarbonate a été régénéré
- A lieu au niveau du tube collecteur



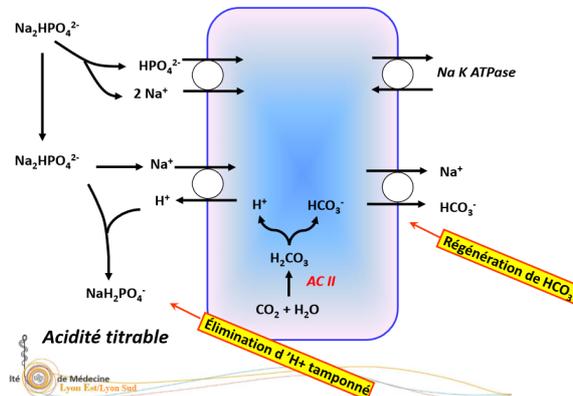
4. Les tampons urinaires

Deux types de tampons urinaires sur lesquels vont se fixer les protons devant être éliminés définitivement :

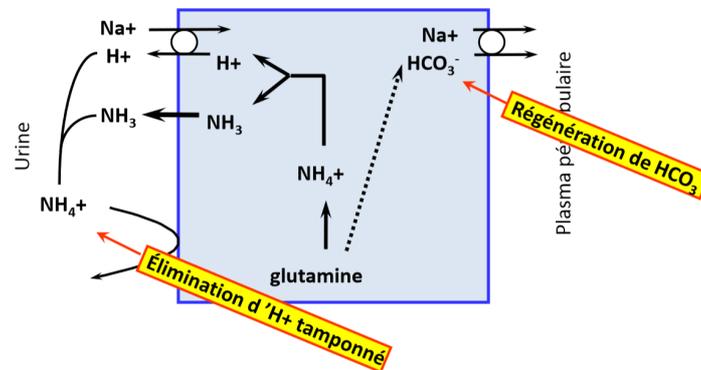
- Phosphate
- Ammoniac

Acidité titrable : essentiellement du **phosphate** :

- Le phosphate est présent dans le **plasma**.
- Il passe dans l'**urine primitive**. La plus grande partie du phosphate est **réabsorbée** par un **Cotransport** et une **petite partie reste dans l'urine**.
- Le **H⁺ sécrété** dans l'urine est tamponné par le **phosphate** → création d'un H⁺ = **régénération d'un bicarbonate**.



Ammoniac : fabrication dans la cellule rénale à partir de la **glutamine**



La quantité de phosphate dans les urines est **limitée**.

La production locale d'ammoniaque est **adaptable** dans la cellule : **mécanisme de défense très actif**

Une fois que l'ammoniac est passé dans l'urine, il ne peut plus la quitter.

Ainsi, l'élimination de la charge acide par le rein se fait :

- 1/3 par acidité titrable
- 2/3 par ammoniac

Les reins ont une action définitive, efficace contrairement aux poumons.

V. L'ESSENTIEL – POINTS À RETENIR

- Régulation très fine du pH de l'organisme : elle est nécessaire pour maintenir un fonctionnement correct de nos cellules puisque les H^+ sont très réactifs et vont se fixer aux protéines et modifier leur fonctionnement
- Plusieurs niveaux de régulation :
 - Immédiat mais avec action limitée du fait de la concentration : mécanisme humoral par le biais des tampons, en particulier le tampon bicarbonate
 - Action retardée : mécanisme viscéral
 - Adaptation respiratoire : régulation du pH par le biais de la PCO_2
 - Adaptation rénale : élimination des protons et reconstitution du pool de tampons

ANNALES CLASSÉES CORRIGÉES

2015-2016

46.
Si un patient présente une acidose respiratoire compensée
- le pH plasmatique est dans les valeurs normales
 - la $p\text{CO}_2$ est augmentée
 - cette anomalie est liée à une hypoventilation
 - la concentration de bicarbonates plasmatiques est diminuée
 - en l'absence de réponse rénale, le pH plasmatique serait abaissé et la concentration plasmatique de bicarbonates serait normale

Réponses : ABCE

- A- VRAI : Grâce à la compensation
 B- VRAI : Le CO_2 est une charge acide, sa quantité dans le corps est mesurable par la $p\text{CO}_2$. Lors d'une acidose respiratoire, la quantité de CO_2 augmente et donc la $p\text{CO}_2$ augmente.
 C- VRAI : L'hypoventilation empêche l'élimination du CO_2
 D- FAUX : C'est l'inverse, la concentration en bicarbonates augmente car les bicarbonates sont une charge basique.
 E- VRAI : L'acidose serait décompensée

2016-2017

43. Physiologie
 Si un patient présente une acidose métabolique compensée liée à un apport exogène d'acides (intoxication), indiquer la (les) affirmation(s) exacte(s) :
- le pH plasmatique sera dans les valeurs normales
 - la $p\text{CO}_2$ sera augmentée
 - l'acidité titrable et l'ammoniurie dans les urines seront augmentées témoignant de la réponse rénale à l'acidose
 - la concentration de bicarbonates plasmatiques sera augmentée
 - la compensation pulmonaire peut être expliquée par la stimulation des chémorécepteurs centraux et périphériques par la diminution initiale du pH

Réponses : ACE

- A- VRAI : Grâce à la compensation
 B- FAUX : L'acidose est liée à un apport EXOGENE d'acide donc on n'a pas de modification de la $p\text{CO}_2$. (Bien lire les énoncés)
 C- VRAI : Les reins vont permettre d'éliminer les ions H^+ via l'acidité titrable et l'ammoniac. (voir p16)
 D- FAUX : On est dans une acidose métabolique donc la concentration en bicarbonates va diminuer.
 E- VRAI : Voir C

2017-2018

- 24, Quelle(s) est (sont) la (les) proposition(s) juste (s) concernant la régulation de l'équilibre acido-basique ?
- une acidose respiratoire compensée est caractérisée par un pH normal et une diminution de la bicarbonatémie
 - la diminution du pH sanguin est responsable d'une hypoventilation
 - l'augmentation de la pression partielle artérielle en CO_2 (paCO_2) est responsable d'une stimulation de la ventilation pulmonaire par l'intermédiaire des chémorécepteurs
 - l'hyperventilation chez un sujet sain est responsable d'une acidose
 - le rein permet d'éliminer une charge acide exogène en augmentant l'excrétion d'acidité titrable et d'ions ammonium

Réponses : CE

- A- FAUX : Lors d'une acidose respiratoire compensée, on aura un pH normal mais une bicarbonatémie augmentée (pour compenser l'augmentation de la $p\text{CO}_2$)
- B- FAUX : Elle est responsable d'une hyperventilation pour éliminer la charge acide.
- C- VRAI : Voir p13
- D- FAUX : Chez un sujet SAIN, elle sera responsable d'une alcalose respiratoire.
- E- VRAI : voir p16

2018-2019

QCM 31 Vous obtenez tes résultats biologiques suivants chez un patient hospitalisé aux urgences de l'hôpital

- pH sang artériel : 7,15 (7,38-7,42)
- $p\text{CO}_2$ sang artériel : 23 mmHg (35-45)
- bicarbonates plasmatiques 17 mmol/L (N 22-28)
- pH urinaire 5.0
- ions ammoniums urinaires augmentés

Parmi les affirmations suivantes, indiquez la (les) réponse(s) exacte(s) :

- A. le patient présente une acidose métabolique décompensée
- B. un mécanisme de compensation respiratoire est activé
- C. ce patient présente une hypoventilation
- D. le pH urinaire bas indique une atteinte rénale primitive
- E. ce patient présente un défaut de réabsorption rénal des bicarbonates

Réponses : BE

- A- FAUX : La valeur de pH est trop faible pour que l'acidose soit totalement compensée mais les valeurs anormales de $p\text{CO}_2$ et de bicarbonates nous indiquent que l'acidose est partiellement compensée.
- B- VRAI : La $p\text{CO}_2$ est faible indiquant une faible quantité de CO_2 , soit une élimination de la charge acide.
- C- FAUX : Ce patient est en hyperventilation pour éliminer plus de CO_2
- D- FAUX : Le pH urinaire bas indique une élimination de la charge acide.
- E- VRAI : On voit cela par le taux très bas de bicarbonates

QCM 32 Quelle(s) est (sont) la proposition (s) juste (s) concernant l'équilibre acido-basique ?

- A. le pH d'une solution est proportionnel à la concentration en ions H^+ libres.
- B. un tampon est d'autant plus efficace que son pK est proche de la solution à tamponner
- C. l'augmentation de la pression partielle en CO_2 ($p\text{CO}_2$) plasmatique entraîne une stimulation de la ventilation pulmonaire.
- D. dans les conditions physiologiques, la production d'acides dans l'organisme est essentiellement due à l'apport alimentaire de protéines
- E. l'augmentation du pH plasmatique entraîne une stimulation de la ventilation pulmonaire.

Réponses : BCD

- A- FAUX : Ils sont inversement proportionnels.
- E- FAUX : L'augmentation du pH entrainera une hypoventilation