



# L'interprétation de la gazométrie sanguine

## la fin du casse-tête!

Philippe Woods

Un homme de 73 ans consulte à l'urgence pour des difficultés respiratoires. Il souffre de broncho-pneumopathie chronique obstructive, se dit cardiaque et prend des médicaments pour le cœur. À l'examen, il est obnubilé, cyanosé et sa pression artérielle systolique est de 70 mm Hg. Sa gazométrie artérielle et son bilan biochimique donnent les résultats suivants : pH de 7,10 ; pCO<sub>2</sub> de 70 mm Hg ; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 21 mmol/l ; Na<sup>+</sup> de 144 mmol/l ; Cl<sup>-</sup> de 100 mmol/l et K<sup>+</sup> de 3,3 mmol/l.

Quels sont les troubles acidobasiques en cause ? Pour y répondre, voyons comment interpréter la gazométrie sanguine.

**L'**ÉQUILIBRE ACIDOBASIQUE, si complexe soit-il, dépend de nos poumons (qui éliminent le gaz carbonique ou CO<sub>2</sub>) et de nos reins (qui permettent la réabsorption des bicarbonates et l'excrétion des acides). Cette homéostasie est définie par le pH résultant du CO<sub>2</sub> et des bicarbonates. La relation entre ces paramètres s'exprime par la fameuse équation d'Henderson-Hasselbach (*encadré*). Dans la pratique clinique, il est important de soupçonner et de diagnostiquer un trouble acidobasique afin d'entreprendre le traitement approprié. Les troubles acidobasiques peuvent se manifester sous différentes formes cliniques, mais certains symptômes sont caractéristiques de l'acidose et de l'alcalose (*tableau I*).

### Encadré

#### Équation d'Henderson-Hasselbach

$$\text{pH} = 6,10 + \log \left( \frac{\text{HCO}_3^-}{[0,03 \times \text{pCO}_2]} \right)$$

### Quand soupçonner un trouble acidobasique ?

Plusieurs affections cliniques peuvent engendrer un déséquilibre acidobasique, et même si la plupart des troubles acidobasiques sont légers et bien tolérés, il est primordial de pouvoir les diagnostiquer rapidement dans certaines situations critiques. On doit donc de-

Le Dr Philippe Woods, spécialiste en médecine interne et en soins intensifs, pratique au Centre hospitalier Pierre-Le Gardeur, à Lachenaie.

### Tableau I

#### Manifestations cliniques de troubles acidobasiques

##### Acidose

- ⊕ Troubles cardiovasculaires
  - ⊕ Troubles de contractilité cardiaque
  - ⊕ Vasodilatation
  - ⊕ Hypotension
  - ⊕ Arythmies
  - ⊕ Diminution de la sensibilité aux catécholamines
- ⊕ Troubles respiratoires
  - ⊕ Hyperventilation
  - ⊕ Fatigue respiratoire
  - ⊕ Dyspnée
- ⊕ Troubles métaboliques
  - ⊕ Insulinorésistance
  - ⊕ Hyperkaliémie
- ⊕ Troubles cérébraux
  - ⊕ Altération de l'état de conscience (de l'agitation au coma)

##### Alcalose

- ⊕ Troubles cardiovasculaires
  - ⊕ Constriction artériolaire
  - ⊕ Baisse du débit coronaire
  - ⊕ Diminution du seuil angineux
  - ⊕ Arythmies
- ⊕ Troubles respiratoires
  - ⊕ Hypoventilation (dans l'alcalose métabolique)
- ⊕ Troubles métaboliques
  - ⊕ Hypokaliémie
  - ⊕ Hypomagnésémie
  - ⊕ Hypophosphatémie
- ⊕ Troubles cérébraux
  - ⊕ Tétanies, convulsions, léthargie, délire et stupeur

mander une gazométrie dans les situations suivantes :

- ⊕ possibilité d'intoxication ;

## Tableau II

### Étapes pour interpréter les résultats de la gazométrie sanguine

1. Évaluer le pH : acidémie ou alcalémie ?
2. Analyser les valeurs de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{HCO}_3^-$  : trouble respiratoire ou métabolique ?
3. Calculer les compensations : trouble simple ou mixte ?
4. Calculer les « trous » : trou anionique et trou osmolaire
5. Calculer le delta-delta

- ⊗ altération de l'état de conscience ;
- ⊗ hémodynamie instable (bas débit cardiaque, hypotension) ;
- ⊗ troubles respiratoires (hypo- ou hyperventilation).

En situation non critique, certains indices doivent nous inciter à demander une gazométrie :

- ⊗ pertes digestives ou urinaires anormales ;
- ⊗ perturbations volémiques ;
- ⊗ troubles électrolytiques.

### Interprétation de la gazométrie en cinq étapes

Une fois les résultats de la gazométrie obtenus, il faut les interpréter. Des étapes faciles nous permettent de trouver le ou les problèmes acidobasiques présents (tableau II). La première est de différencier l'acidémie de l'alcalémie grâce au pH. Les valeurs de  $\text{pCO}_2$  et de bicarbonates nous aident ensuite à faire la distinction entre un problème métabolique et un trouble respiratoire (tableau III). Il y a donc quatre affections primaires : l'acidose métabolique, l'alcalose métabolique, l'acidose respiratoire et l'alcalose respiratoire. Les problèmes métaboliques étant associés à plusieurs tableaux cliniques, ils sont plus difficiles à diagnostiquer et à traiter que les troubles respiratoires, d'où l'importance de les reconnaître. L'acidose métabolique est,

de loin, l'affection la plus complexe à repérer et demeure la « bête noire » des médecins quand vient le temps d'analyser les résultats de la gazométrie.

Après avoir vérifié le pH, la  $\text{pCO}_2$  et les bicarbonates, on doit ensuite calculer les compensations qui permettent de différencier un trouble simple d'un trouble mixte (tableaux IV et V). Quelques indices nous aident à dépister un trouble mixte (voir plus loin). Il faut se rappeler qu'il n'y a jamais de compensation parfaite ni de surcompensation.

### Trou anionique et trou osmolaire

L'étape suivante consiste à calculer les divers trous. Le trou anionique demeure essentiel dans l'analyse des gaz artériels et représente les charges négatives des protéines dans le plasma, particulièrement l'albumine. Il augmente, entre autres, en présence d'anions non mesurés dans le plasma, tels que ceux d'acides organiques (responsables alors d'une acidose métabolique). De façon pratique, le trou anionique, selon qu'il est normal ou augmenté, permet de diagnostiquer une acidose métabolique qui n'était pas soupçonnée initialement. Le trou anionique est donc un incontournable dans l'interprétation de la gazométrie sanguine.

Advenant la présence d'une acidose métabolique avec augmentation du trou anionique, on doit ensuite calculer le trou osmolaire, soit la différence entre l'osmolarité plasmatique mesurée et l'osmolarité plasmatique calculée. Certaines substances peuvent accroître l'osmolarité sanguine qui devient alors différente de l'osmolarité plasmatique mesurée, ce qui crée un trou osmolaire. On doit alors penser à une intoxication, que ce soit par des alcools (éthanol, méthanol ou éthylène glycol) ou par d'autres substances. Les valeurs normales du trou anionique et du trou osmolaire sont indiquées dans le tableau VI.

### Valeurs normales des paramètres de gaz sanguins et définition des troubles acidobasiques

Valeurs normales				
<b>pH :</b>	Acidémie	← < 7,35	7,35 – 7,45	> 7,45 ⇒ Alcalémie
<b>pCO<sub>2</sub> :</b>	Alcalose respiratoire	← < 35	35 mm Hg – 45 mm Hg	> 45 ⇒ Acidose respiratoire
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> :</b>	Acidose métabolique	← < 22	22 mmol/l – 28 mmol/l	> 28 ⇒ Alcalose métabolique

**Tableau IV**

**Compensations des troubles acidobasiques**

	$\text{HCO}_3^-$ mmol/l	$\Rightarrow$	$\text{pCO}_2$ mm Hg
⊕ Acidose métabolique	- 10	$\Rightarrow$	- 10-13
⊕ Alcalose métabolique	+ 10	$\Rightarrow$	+ 6-7
<hr/>			
⊕ Acidose respiratoire			
⊕ aiguë	+ 1	$\Leftarrow$	+ 10
⊕ chronique	+ 3	$\Leftarrow$	+ 10
<hr/>			
⊕ Alcalose respiratoire			
⊕ aiguë	- 2	$\Leftarrow$	- 10
⊕ chronique	- 5-6	$\Leftarrow$	- 10

**Delta-delta**

La cinquième et dernière étape dans l'évaluation des gaz sanguins consiste à calculer le delta-delta, soit la différence entre la variation du trou anionique et la variation des bicarbonates. La valeur obtenue est utilisée en cas d'acidose métabolique avec augmentation du trou anionique. S'il s'agit du seul trouble acidobasique présent, il devrait y avoir une corrélation 1 pour 1 entre la hausse du trou anionique et la baisse de la concentration des bicarbonates. S'il y a moins de bicarbonates que prévu, le patient souffre d'acidose métabolique à trou anionique normal (hyperchlorémique) surajoutée. À l'inverse, si le taux de bicarbonates est plus élevé que prévu, il y a plutôt alcalose métabolique surajoutée. Le delta-delta s'exprime de deux façons (tableau VII). La première, plus difficile à calculer (il faut s'en souvenir !), permet de préciser la cause de l'acidose métabolique avec augmentation du trou anionique. La deuxième consiste à calculer la valeur corrigée des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )<sup>1</sup>. Cette dernière nous permet de dépister un trouble surajouté à l'acidose métabolique, à savoir une acidose métabolique hyperchlorémique (trou anionique normal) ou une alcalose métabolique.

**Tableau V**

**Compensation respiratoire dans l'acidose métabolique**

Calculer la compensation respiratoire avec la formule de Winter :

$$\text{pCO}_2 = (1,5 \times \text{HCO}_3^-) + 8$$

Avec un écart de  $\pm 2$

Si la  $\text{pCO}_2$  réelle est inférieure à la valeur prévue, le patient souffre d'alcalose respiratoire primaire.

Si la  $\text{pCO}_2$  est plus élevée que la valeur prévue, le patient souffre d'acidose respiratoire primaire.

**Tableau VI**

**Trou anionique et trou osmolaire**

**Trou anionique :**  $\text{Na}^+ - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$

Valeur normale  $\approx 8$

(si le taux de potassium n'est pas pris en compte)

**Trou osmolaire :**  $\text{OSMp mesurée} - \text{OSMp calculée}$

$\text{OSMp calculée} = 2 (\text{Na}^+) + \text{glucose (mmol/l)}$

$+ \text{urée (mmol/l)} + \text{éthanol (mmol/l)}$

Valeurs normales du trou osmolaire :  $< 10$

OSMp : osmolarité plasmatique

**Gaz artériels, veineux ou microméthode ?**

Différentes méthodes de prélèvements existent, et chacune a son lot d'avantages et de désavantages. Même si la gazométrie artérielle demeure la méthode de référence, la technique est plus effractive, plus difficile d'accès et associée à des complications, telles qu'une thrombose, un hématome, une dissection artérielle, de la douleur et un risque de piqûre accidentelle. La gazométrie veineuse ou capillaire peut alors être intéressante pour obtenir des renseignements sur l'équilibre acidobasique. Quelques études ont comparé la voie veineuse et artérielle chez des patients à l'urgence et aux soins intensifs<sup>2-4</sup>. Chez des personnes dont l'état hémodynamique est stable, les valeurs de pH, de  $\text{pCO}_2$  et

**On doit soupçonner un trouble acidobasique dans des situations critiques, telles que les intoxications, une baisse de l'état de conscience, une hémodynamie instable ou des troubles respiratoires, que ce soit par hypoventilation ou hyperventilation.**

**Repère**

## Tableau VII

### Delta-delta : Différence entre la variation du trou anionique et la variation du taux de bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

#### 1. Delta-delta

$\Delta$  trou anionique /  $\Delta \text{HCO}_3^-$  ou

(Trou anionique réel – trou anionique normal)  
( $\text{HCO}_3^-$  réels –  $\text{HCO}_3^-$  normal)

Si  $\geq 2,1$  : alcalose métabolique surajoutée

Si  $\approx 1,6$  : acidose lactique

Si  $\approx 1,1$  : acidocétose

Si  $\leq 1,1$  : acidose métabolique à trou anionique normal  
combinée à une acidose avec augmentation du trou anionique

#### 2. $\text{HCO}_3^-$ corrigés

$\text{HCO}_3^-$  mesurés + (trou anionique – 12)

Si  $\text{HCO}_3^-$  corrigés  $> 24$ mmol/l : alcalose métabolique surajoutée

Si  $\text{HCO}_3^-$  corrigés  $< 24$ mmol/l : acidose métabolique  
à trou anionique normal surajoutée

$\text{HCO}_3^-$  normal : on peut utiliser 24 comme valeur normale des  $\text{HCO}_3^-$ .

de bicarbonates ont une bonne corrélation, c'est-à-dire qu'elles sont reproductibles. Il existe, par contre, une différence artérioveineuse entre les paramètres que le clinicien doit connaître pour bien comprendre l'état du patient, le pH étant plus bas et la  $\text{pCO}_2$  plus élevée dans le sang veineux que dans le sang artériel. La différence en ce qui a trait au pH est de 0,03 à 0,04 unité à la baisse, de 5 mm Hg à 7 mm Hg à la hausse pour la  $\text{pCO}_2$  et de 0,5 mmol/l à 1,5 mmol/l à la baisse pour les bicarbonates. Les données probantes sont plus éparses quant aux valeurs de lactate et d'excès de base, quoiqu'une étude récente faite dans un contexte de soins intensifs révèle des différences de 0,08 mmol/l et de 0,19 mmol/l, respectivement. Même si elles ne sont pas significatives, ces différences restent trop importantes en pratique pour que les gaz veineux et artériels soient considérés comme interchangeable.

Chez des patients dont l'état hémodynamique est significativement instable (tel un état de choc), le degré d'extraction de l'oxygène et le métabolisme cellulaire étant altérés. Il n'y a donc plus de corrélation entre les valeurs de pH, de  $\text{pCO}_2$  et de bicarbonates et l'écart est plus grand entre les valeurs du sang artériel et du sang veineux. Il n'y a donc pas de modèle reproduc-

tible, et on ne peut se fier aveuglément aux valeurs de la gazométrie veineuse dans ces conditions. L'intérêt est alors d'évaluer simultanément les échantillons de sang artériel et veineux pour suivre l'évolution de l'état hémodynamique du patient.

Quant à la méthode du gaz « capillaire », aussi appelée microméthode, couramment employée chez les enfants, elle demeure sous-utilisée chez les patients adultes. D'un point de vue technique, plusieurs éléments peuvent modifier les résultats, tels que l'application ou non de chaleur avant l'échantillonnage, la présence de bulles d'air, le temps d'entreposage et l'exposition à l'air libre (l'héparine apportant des modifications négligeables à la qualité du sang prélevé). Malgré tout, la corrélation est bonne entre les valeurs de pH, de  $\text{pCO}_2$  et de bicarbonates si la technique est adéquate, car le taux d'échec est plus grand<sup>5</sup>. La différence en ce qui a trait aux valeurs de pH, de  $\text{pCO}_2$  et de bicarbonates entre le sang capillaire et le sang artériel est du même ordre que celle entre le sang veineux et le sang artériel. Dans le sang provenant des capillaires et des veinules, la différence de la pression partielle d'oxygène ( $\text{pO}_2$ ) est plus grande. Par rapport à la  $\text{pO}_2$  du sang artériel, la  $\text{pO}_2$  du sang capillaire est plus basse d'environ

**Parce qu'il permet de détecter une acidose métabolique qui n'était pas soupçonnée au moment de l'évaluation initiale, le trou anionique est un incontournable dans l'interprétation de la gazométrie sanguine.**

**Chez les patients dont l'état hémodynamique est stable, il y a une bonne corrélation pour les valeurs de pH, de  $\text{pCO}_2$  et de bicarbonates des gaz artériels et veineux. Toutefois, en situation de faible débit, comme un état de choc, cette corrélation est perdue et les différences sont plus grandes.**

Repères



20 mm Hg à 30 mm Hg et celle du sang veineux est plus basse de 50 mm Hg en moyenne. Le gaz capillaire a été étudié chez les patients atteints de bronchopneumopathie chronique obstructive. Les données montrent une bonne corrélation et peu de différences entre les valeurs de pH, de pCO<sub>2</sub> et de bicarbonates du sang artériel, à condition bien sûr de se fier à la saturométrie pour l'oxygénation et que l'hémodynamie soit stable<sup>6</sup>.

### Existe-t-il des troubles acidobasiques à pH normal ?

On doit soupçonner un trouble acidobasique mixte lorsque les valeurs de pCO<sub>2</sub> ou de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> sont anormales et que le pH est normal. Parmi les autres indices évoquant un problème mixte, il y a les valeurs de pCO<sub>2</sub> et de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> qui vont dans des directions opposées ou le pH qui est à l'opposé des valeurs prévues pour un trouble primaire connu (Ex. : une alcalose respiratoire est présente, mais le pH est acide). Il faut se rappeler qu'il n'y a jamais de compensation parfaite ni de surcompensation. Donc, si les compensations ne fonctionnent pas, il y a certainement un trouble mixte.

### Retour au cas clinique

Le pH sanguin nous indique que le patient souffre d'une acidémie. La faible concentration des bicarbonates et le taux élevé de pCO<sub>2</sub> nous indiquent deux problèmes : une acidose métabolique et une acidose respiratoire. Les deux valeurs vont dans des directions opposées, ce qui ne correspond pas à une compensation. Le trou anionique est de 23, donc augmenté. Quant au delta-delta, le calcul des bicarbonates « corrigé » nous donne 32, soit bien au-dessus de 24. L'alcalose métabolique est donc surajoutée à l'acidose métabolique avec augmentation du trou anionique. En résumé, le patient a une insuffisance ou une acidose respiratoire, une acidose métabolique avec augmentation du trou anionique causée par son état de choc ainsi qu'une alcalose métabolique due à la prise de diurétiques. Ces données nous montrent que plusieurs troubles acidobasiques peuvent coexister et que quelques étapes simples permettent de faire ressortir tous les éléments pertinents de la gazométrie sanguine. ☞

**Date de réception :** 15 décembre 2006

**Date d'acceptation :** 15 janvier 2007

**Mots clés :** gaz sanguins, trou anionique, trou osmolaire, delta-delta, gaz veineux, troubles acidobasiques mixtes

Le Dr Philippe Woods n'a signalé aucun intérêt conflictuel.

### Summary

**Acid-base Disorders: The End of the Puzzle!** Blood gases analysis may be confusing but a few simple steps can render the process user-friendly. After having determined whether alkalemia or acidemia is present by looking at the pH, the next step is to identify one or more of the four primary disorders with respect to the pCO<sub>2</sub> and bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) levels: metabolic acidosis, metabolic alkalosis, respiratory acidosis and respiratory alkalosis. Compensations, the third step, help differentiate simple from mixed disorders. It is then imperative to calculate the "gaps". The anion gap can expose an unsuspected metabolic acidosis and the osmolar gap indicates specific intoxications. The fifth and final step is the delta-delta representing the difference between the anion gap variation and the bicarbonate variation. Used in the context of metabolic acidosis, it is expressed in different ways and sheds a light on the cause of the metabolic acidosis and the detection of additional disorders that may be present. Whether arterial, venous or capillary, the values of pH, pCO<sub>2</sub> and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> correlate well, but with differences to which clinicians must be attentive. In the presence of unstable hemodynamics, this correlation is lost. A normal pH does not exclude an acid-base disorder as the pCO<sub>2</sub> and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> levels may be abnormal, representing a mixed acid-base disorder. Other clues for mixed disorders are when the pCO<sub>2</sub> and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> values are in opposite directions or when the pH is opposite the expected value of a specific disorder that is present. Finally, keep in mind that perfect compensation or overcompensation do not exist.

**Key words:** acid-base disorders, anion gap, osmolar gap, delta anion gap, venous pH, mixed acid-base disorders

### Bibliographie

1. Martin L. *All you really need to know to interpret arterial blood gases*. 2<sup>e</sup> éd. Philadelphie : Lippincott Williams & Wilkins ; 1999.
2. Kelly AM, McAlpine R, Kyle E. Venous pH can safely replace arterial pH in the initial evaluation of patients in the emergency department. *Emerg Med J* 2001 ; 18 (5) : 340-2.
3. Middleton P, Kelly AM, Brown J et coll. Agreement between arterial and central venous values for pH, bicarbonate, base excess, and lactate. *Emerg Med J* 2006 ; 23 (8) : 622-4.
4. Rang LCF, Murray HE, Wells GA et coll. *Can peripheral venous blood gases replace arterial blood gases in emergency department patients?* Canadian Association of Emergency Physicians ; 2004. [Résumé] Site Internet : <http://caep.ca/template.asp?id=DF4F1372D05847E49AC9A90A7DC469B9> (Date de consultation : 14 décembre 2006).
5. Ugramurthy S, Rathna N, Naik SD et coll. Comparative study of blood gas and acid base parameters of capillary with arterial blood samples. *Indian J Anaesth* 2004 ; 48 (6) : 469-71.
6. Murphy R, Thethy S, Raby S et coll. Capillary blood gases in acute exacerbations of COPD. *Respir Med* 2006 ; 100 (4) : 682-6.

### Pour en savoir plus

- ☉ Shen C, Warren S, Schmidt S et coll. Nephrology. Dans : Bergin JD, rédacteur. *Medicine Recall*. 1<sup>re</sup> éd. Baltimore : Williams & Wilkins ; 1997. p. 151-218.
- ☉ Cifu A. *Basic blood gases interpretation*. The University of Chicago Personal Web Pages. Site Internet : <http://home.uchicago.edu/~adamcifu/abg.htm> (Date de consultation : 14 décembre 2007).