

Gaz du sang : interprétation des analyses

Conditions d'interprétation

Pour évaluer correctement une anomalie des gaz du sang, il faut connaître :

1. Gazométrie artérielle : pH, PaO₂, PaCO₂, HCO₃⁻, BE
2. Comportement ventilatoire : FR, VT, VA
3. Réponse à l'oxygénothérapie
4. Évaluation oxygénation tissulaire (hypoxie), notamment état cardiovasculaire et taux d'hémoglobine circulante

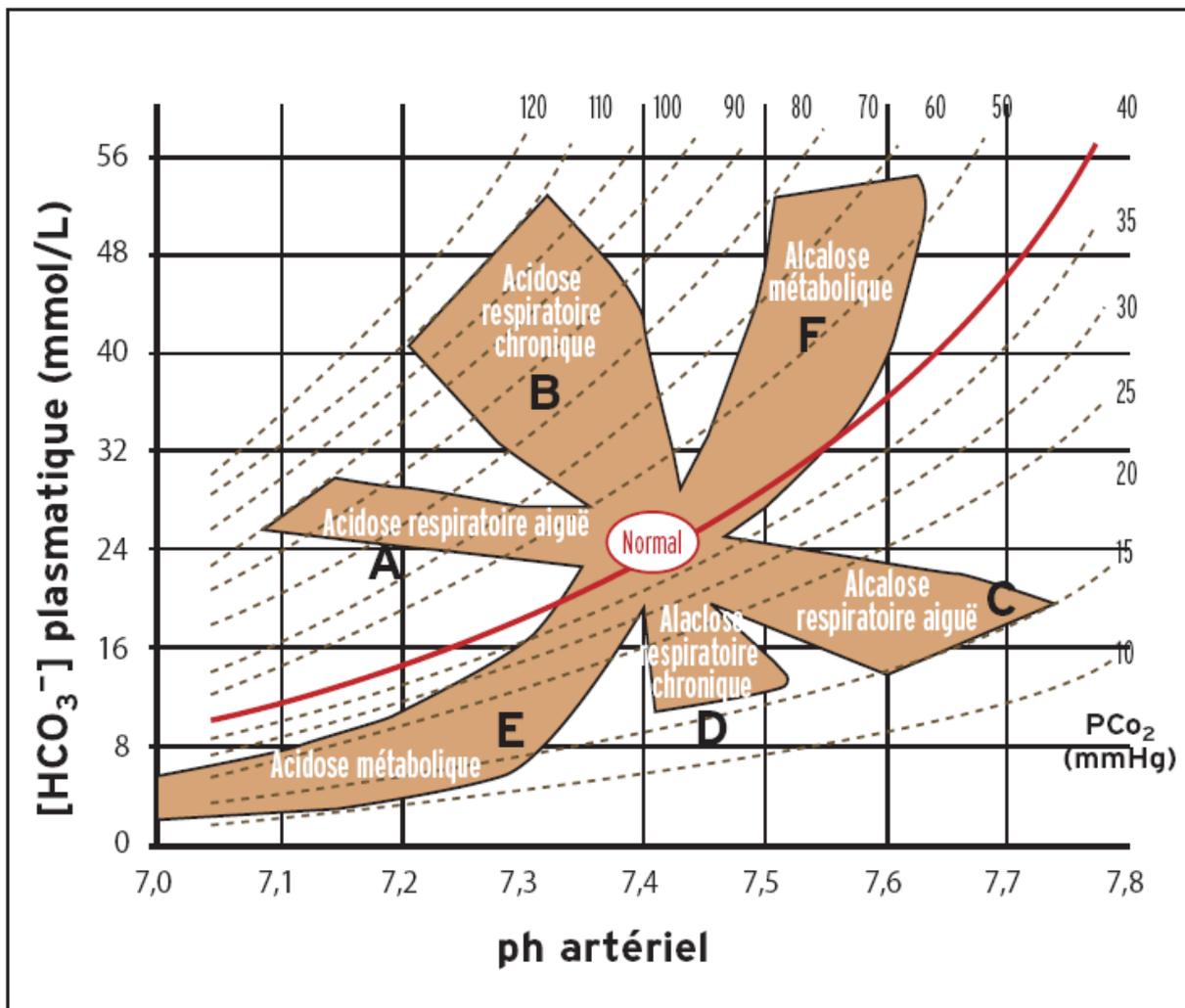


Figure 1 Diagramme de Davenport représentant la relation entre le pH, la concentration en bicarbonate plasmatique et la PCO_2 .

Règles d'interprétation

Les intervalles normaux

- pH plasmatique = 7,38 - 7,42

Troubles de l'équilibre acido-basiques

| | pH < 7,38 = acidose | pH > 7,42 = alcalose | Commentaires |
|---|--|---|--|
| HCO ₃ ⁻ < 21 mmol/L et PaCO ₂ basse (< 38 mmHg) | ■ Acidose métabolique avec compensation respiratoire | ■ Alcalose respiratoire, non compensée par l'acidose métabolique | ■ La PaO ₂ augmente en cas d'hyper- ventilation, sauf en cas d'effet shunt |
| HCO ₃ ⁻ > 25 mmol/L et PaCO ₂ > 42 mmHg | ■ Acidose respiratoire, avec compensation métabolique | ■ Alcalose métabolique, avec hypoventilation compensatrice | ■ La PaO ₂ diminue en cas d'hypoventilation |
| Remarques | ■ L'acidose mixte métabolique (HCO ₃ ⁻ < 21 mmol/L) et respiratoire (PaCO ₂ > 42 mmHg) est possible | ■ L'alcalose mixte métabolique et respiratoire est rare, et souvent iatrogène | |

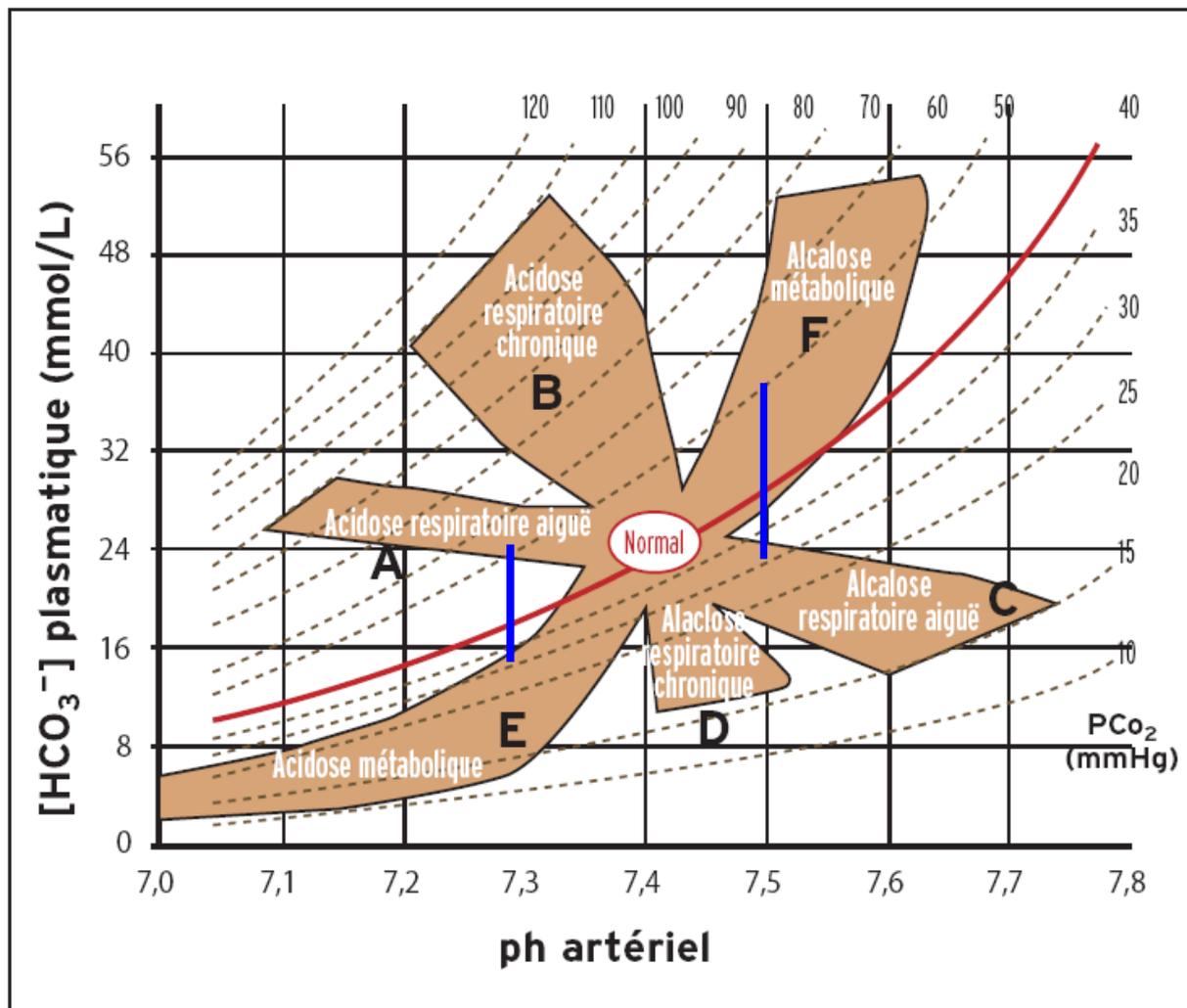
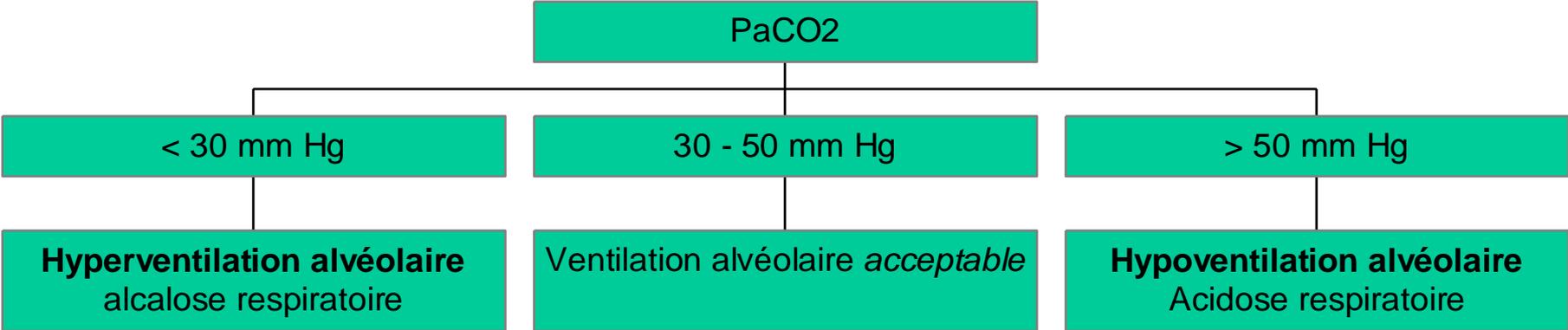


Figure 1 Diagramme de Davenport représentant la relation entre le pH, la concentration en bicarbonate plasmatique et la PCO₂.

A. PaCO₂ : état ventilatoire

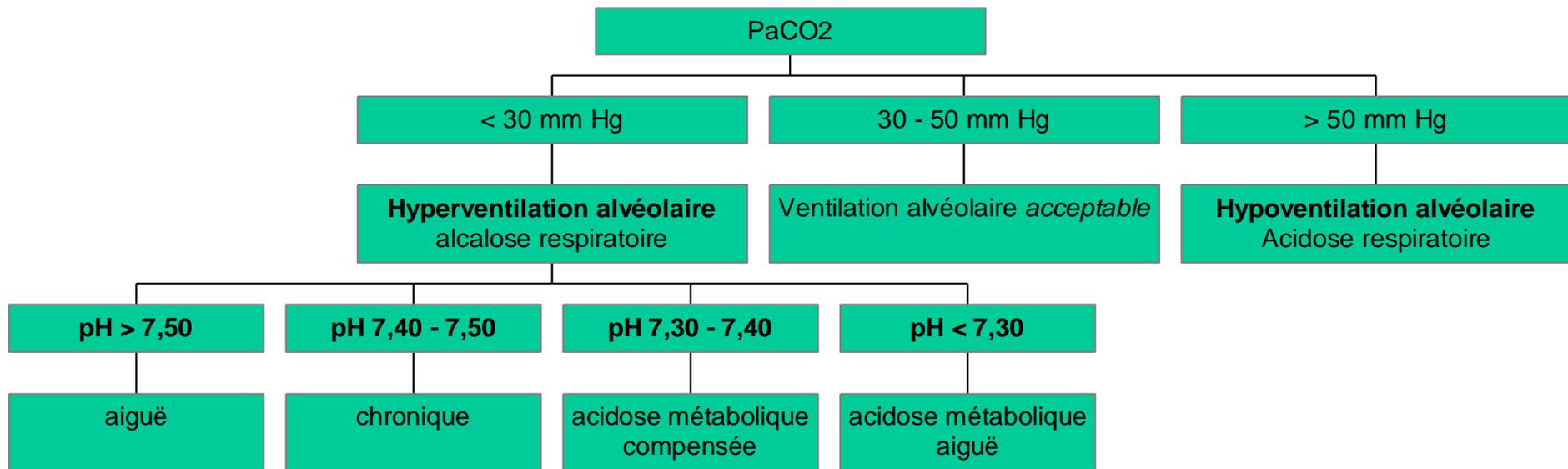
- < 30 mm Hg : hyperventilation alvéolaire (alcalose respiratoire)
- 30-50 mm Hg : ventilation alvéolaire acceptable
- > 50 mm Hg : hypoventilation alvéolaire (acidose respiratoire)



B. pH : alcalose/acidose
aiguë/compensée

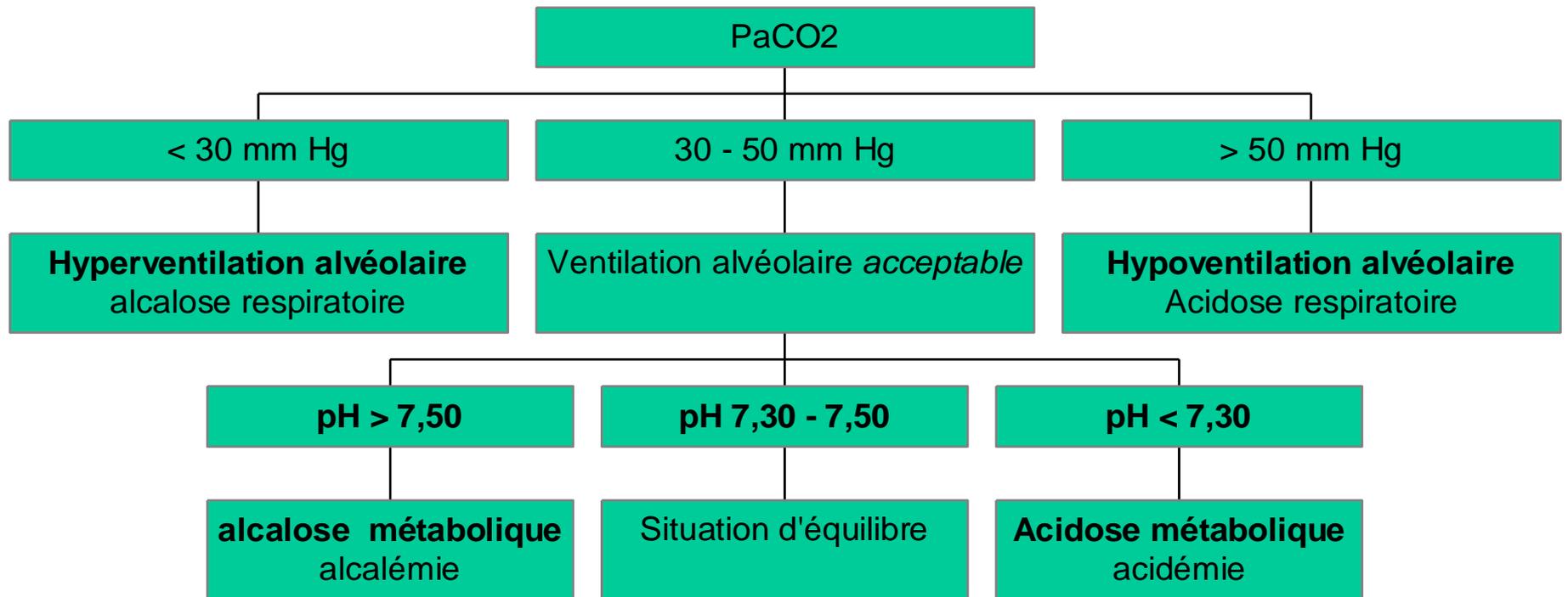
1. Hyperventilation alvéolaire

- aiguë : $\text{pH} > 7,50$
- chronique : $\text{pH} 7,40 - 7,50$
- acidose métabolique compensée : $\text{pH} 7,30 - 7,40$
- acidose métabolique partiellement compensée :
 $\text{pH} < 7,30$



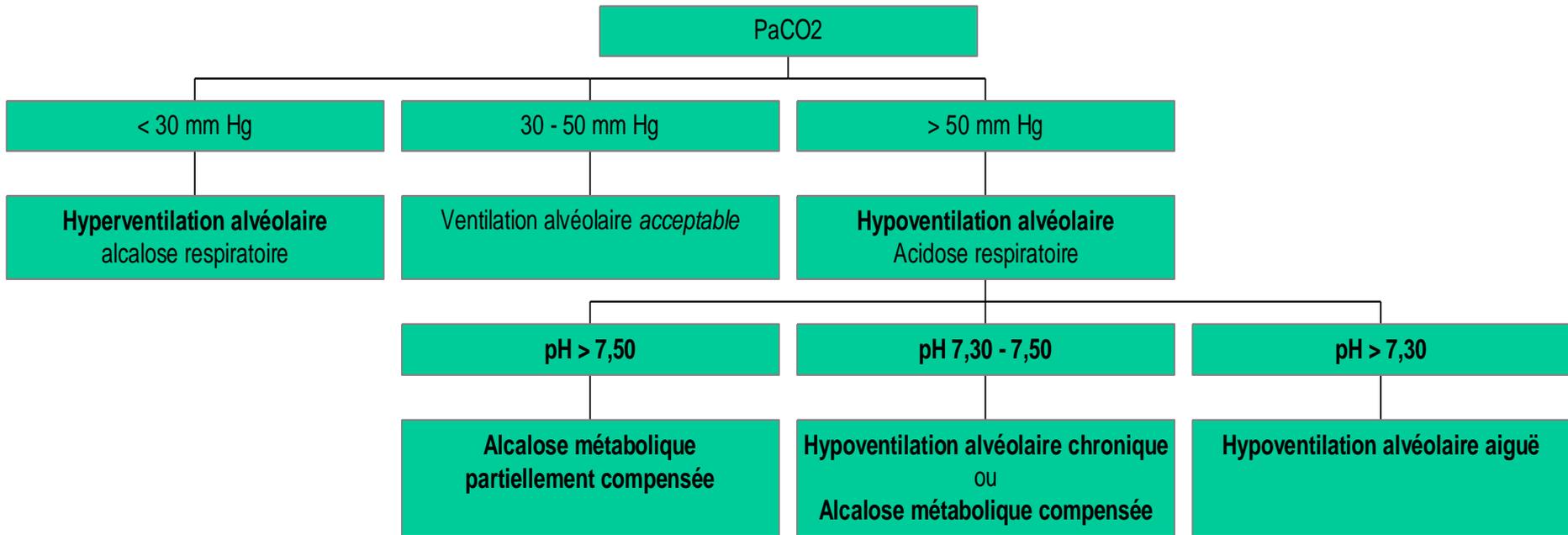
2. Ventilation alvéolaire acceptable

- alcalose métabolique : $\text{pH} > 7,50$ (alcalémie)
- situation d'équilibre : $\text{pH} 7,30 - 7,50$
- acidose métabolique : $\text{pH} < 7,30$ (acidémie)



3. Hypoventilation alvéolaire

- alcalose métabolique partiellement compensée :
 $\text{pH} > 7,50$
- hypoventilation alvéolaire chronique : $\text{pH} 7,30 - 7,50$ (ou alcalose métabolique compensée)
- hypoventilation alvéolaire aiguë : $\text{pH} < 7,30$



C. PaO₂

1. A l'air ambiant

- normal : > 80 mm Hg (limite acceptable)
- hypoxémie modérée : < 80 mm Hg
- moyenne : < 60 mm Hg
- sévère : < 40 mm Hg

NB : par année au-delà de 60 ans, retrancher 1 mm Hg aux limites indiquées pour les hypoxémies modérées et moyennes (si < 40 mm Hg : toujours sévère)

2. Réponse à l'oxygénothérapie de l'hypoxémie

- non corrigée : $\text{PaO}_2 < \text{limites acceptables en air ambient}$
- corrigée : $\text{PaO}_2 > \text{limites acceptables an air ambient mais } < 100 \text{ mm Hg}$
- surcorrigée : $\text{PaO}_2 > 100 \text{ mm Hg}$

D. Etat d'oxygénation tissulaire : critères cliniques

- état cardiaque (DC)
- état de perfusion périphérique
- mécanismes de transport de l'O₂ : PaO₂, CaO₂,
taux d'Hb, affinité Hb pour O₂

Situations cliniques

1. acidose métabolique

Tableau

- gaz du sang :
 - pH < 7,30
 - PaCO₂ : < 40 mm Hg
 - PaO₂ > 80 mm Hg
 - HCO₃ : habituellement diminuée
 - BE : négatif
- ventilation : VT : augmenté; FR : tachypnée; Vmin : augmentée
- oxygénothérapie : augmentation ++ PaO₂
- oxygénation tissulaire : diminution contenu en O₂; dépend avant tout fonction cardiovasculaire; si hypoxémie : considérer qu'il y a hypoxie tissulaire

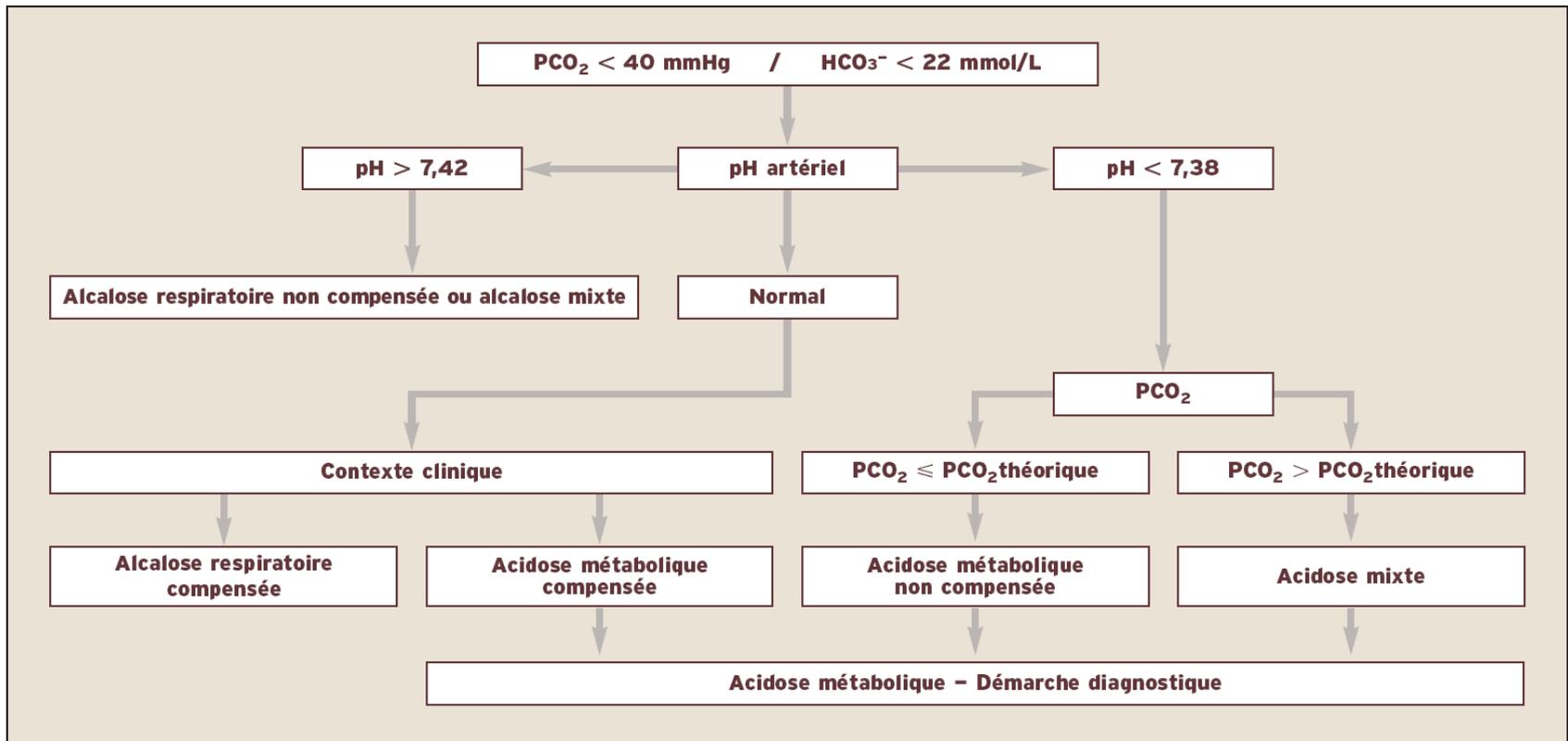


Figure 2 Diagnostic positif de l'acidose métabolique.

$$\text{PCO}_2 \text{ (mm Hg) théorique} = 1,5 \times [\text{HCO}_3^-] \text{ (mEq/L)} + (8 \pm 2)$$

Principales causes

1. Insuffisance rénale
2. Acidose tubulaire rénale
3. Acido-cétose :
 - diabète sucré
 - jeûne
4. Diarrhée et fistules digestives par perte de bicarbonate
5. Acidose lactique :
 - Choc
 - Sepsis
 - Arrêt circulatoire
 - Affections néoplasiques
 - Liée à la prise de médicaments (metformine, etc.)

Table 1. Causes of Lactic Acidosis.*

| Cause | Presumed Mechanism or Mechanisms | Comments |
|--|--|---|
| Cardiogenic or hypovolemic shock, advanced heart failure, or severe trauma | Decreased O ₂ delivery to tissues; epinephrine-induced β_2 -adrenoceptor stimulation can be a contributory factor | With sepsis, these causes account for the majority of cases of lactic acidosis |
| Sepsis | Epinephrine-induced β_2 -adrenoceptor stimulation with or without decreased O ₂ delivery to tissues; reduced clearance of lactate even in hemodynamically stable patients | Evidence of decreased O ₂ delivery can be subtle; even in the absence of macrocirculatory impairment, dysfunction of microcirculation can be present |
| Severe hypoxemia | Decreased O ₂ delivery to tissues | Requires Pao ₂ <30 mm Hg |
| Carbon monoxide poisoning | Decreased O ₂ delivery to tissues, interference with oxidative phosphorylation | Hyperbaric O ₂ therapy is recommended if pH <7.1 |
| Severe anemia | Decreased O ₂ delivery to tissues | Requires hemoglobin level <5 g/dl |
| Vigorous exercise, seizures, or shivering | Increased O ₂ requirements | The decrease in pH and hyperlactatemia is transient; lactic acidosis can impair exercise performance |
| Diabetes mellitus | Mechanism unclear | The risk of death in patients with ketoacidosis can be increased by coexisting lactic acidosis |
| Cancer | Increased glycolytic activity of tumor (Warburg effect), tumor tissue hypoxia, decreased clearance of lactate with severe liver metastases | Lactic acidosis can be seen in association with lymphomas, leukemias, and solid tumors; HCO ₃ ⁻ administration may increase lactic acid production; acidic microenvironment is critical for tumorigenesis, angiogenesis, and metastasis |
| Liver disease | Lactate clearance decreased | Fulminant liver disease can cause substantial hyperlactatemia; hyperlactatemia is usually mild with chronic liver disease alone; lactate clearance can also be decreased when liver function is normal, in association with sepsis |
| Pheochromocytoma | Decreased O ₂ delivery to tissues and epinephrine-induced β_2 -adrenoceptor stimulation | In rare cases, lactic acidosis is a presenting feature of pheochromocytoma |
| Metformin | Interference with oxidative phosphorylation, suppression of hepatic gluconeogenesis | This is usually seen in association with high plasma metformin levels; treatment with dialysis is beneficial |
| Nucleoside reverse-transcriptase inhibitors | Interference with oxidative phosphorylation | Marked hyperlactatemia is uncommon in the absence of other predisposing factors |
| Cocaine | Decreased O ₂ delivery to tissues and epinephrine-induced β_2 -adrenoceptor stimulation | Marked hyperlactatemia is seen in some patients having seizures or being restrained |
| Toxic alcohols, methanol, ethylene glycol, diethylene glycol | Interference with oxidative phosphorylation | The increase in lactate is small; a small increase in the osmolal gap (usually <20 mOsm/kg H ₂ O) can be seen in some cases of lactic acidosis without toxic alcohols |
| Propylene glycol | D-Lactate and L-lactate are normal products of metabolism | Lactic acidosis can occur in the absence of impaired oxidative phosphorylation |
| Salicylates | Interference with oxidative phosphorylation | Hyperlactatemia is usually minimal |
| Cyanide | Interference with oxidative phosphorylation | Lactic acidosis is an important manifestation of poisoning |
| β_2 agonists | Stimulation of aerobic glycolysis | This is most common with treatment of acute asthma; hypokalemia can result from enhanced cellular uptake of potassium |
| Propofol | Interference with oxidative phosphorylation | Lactic acidosis can be seen with prolonged high-dose infusion |
| Thiamine deficiency | Impairment of pyruvate dehydrogenase activity | This is most common in children or adults receiving parenteral nutrition or those with fulminant beriberi |

Trou anionique

- Outil diagnostique sans réalité physiologique
- Trou anionique = $[\text{Na}^+] - [\text{Cl}^-] - [\text{HCO}_3^-]$
- Selon les laboratoires: va de 3,0 to 12,0 mmol/l voire 8,5 à 15,0 mmol/l
- Se et Sp < 80 % pour l'acidose lactique

Table 2. The Anion Gap in Relation to Common Medical Conditions with Metabolic Acidosis.*

High anion gap

Overproduction of acid

Ketoacidosis (diabetic ketoacidosis, alcoholic ketoacidosis, starvation)

Lactic acidosis

L-Lactic acidosis

Type A — hypoxic (septic shock, mesenteric ischemia, hypoxemia, hypovolemic shock, carbon monoxide poisoning, cyanide)

Type B — nonhypoxic (thiamine deficiency, seizure, medications [nucleoside reverse-transcriptase inhibitors, metformin, propofol, niacin, isoniazid, iron], intoxication [salicylate, ethylene glycol, propylene glycol, methanol, toluene ingestion (early), paraldehyde])

D-Lactic acidosis in the short-bowel syndrome

Underexcretion of acid (advanced renal failure)†

Impaired lactate clearance in liver failure (also type B acidosis)

Cell lysis (massive rhabdomyolysis)

Use of penicillin-derived antibiotics

Pyroglutamic acid (5-oxoproline)³²

Normal anion gap

Loss of bicarbonate

Gastrointestinal conditions (diarrhea, ureteral diversions, biliary or pancreatic fistulas)

Renal conditions (type 2 [proximal] renal tubular acidosis, toluene ingestion [late in the process of toluene intoxication], conditions associated with medications [ifosfamide, tenofovir, topiramate, carbonic anhydrase inhibitors such as acetazolamide])^{3,41}

Decreased renal acid excretion

Early uremic acidosis

Type 1 renal tubular acidosis (e.g., due to amphotericin, lithium, Sjögren's syndrome)³

Type 4 renal tubular acidosis (hypoaldosteronism or pseudohypoaldosteronism)

Other causes: fluid resuscitation with saline, hyperalimentation (lysine, histidine, or arginine hydrochloride), administration of hydrochloride, ammonium chloride, cholestyramine, hippuric acid, sulfuric acid

* An anion gap of more than 10 mmol per liter above the upper limit of the reference value is highly suggestive of organic acidosis. A minor increase in the anion gap is less helpful in diagnosing metabolic acidosis.

† Advanced renal failure is indicated by a glomerular filtration rate below 20 ml per minute.

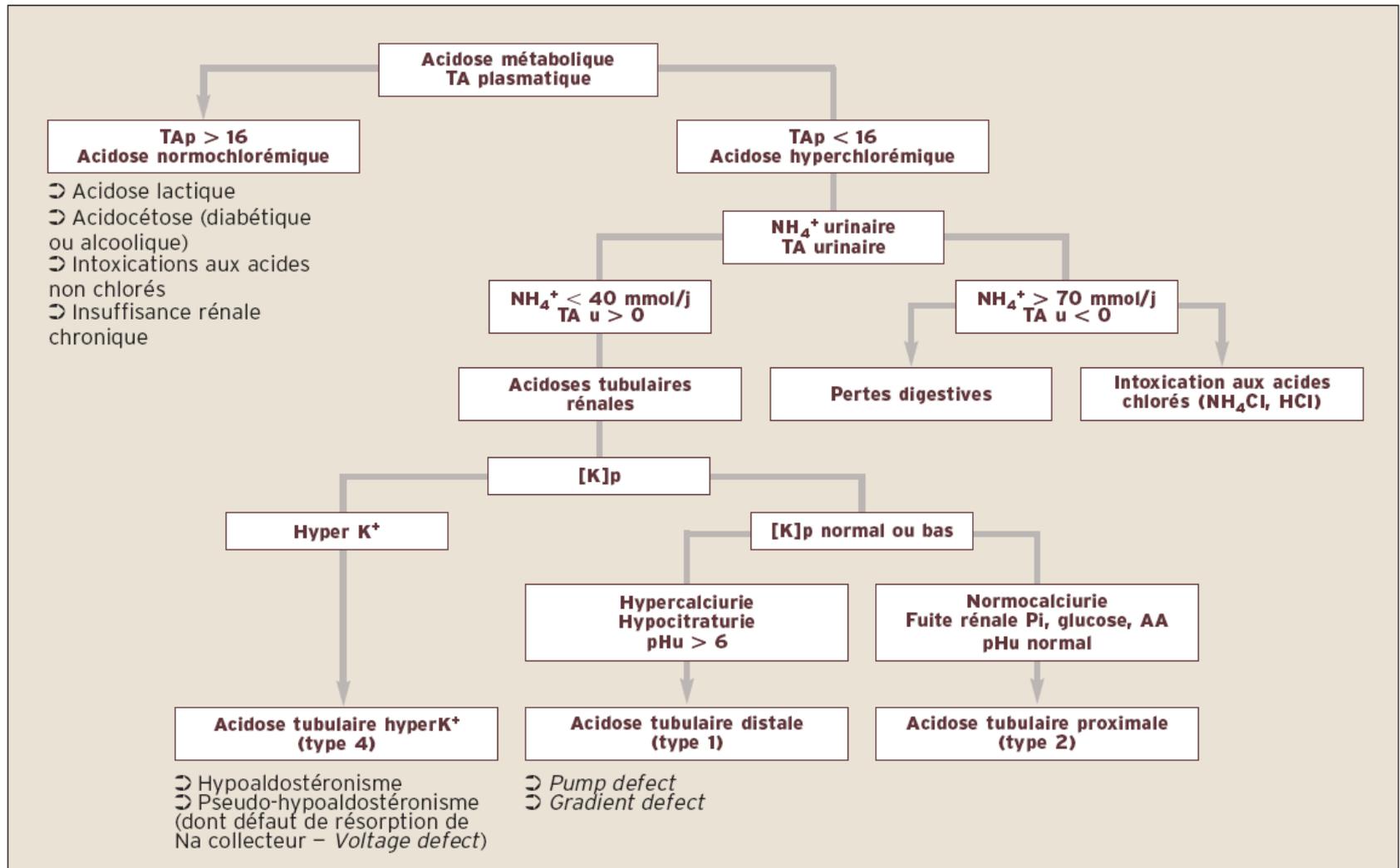


Figure 3 Démarche diagnostique mécanistique de l'acidose métabolique.

$$\text{Tau} = \text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-$$

Tableau 2 Principales causes d'acidoses tubulaires distales (AT1)

Maladies systémiques

- Maladie de Sjögren (AT1 → AT2)
- Sarcoidose
- Drépanocytose

Maladies génétiques

- H⁺ ATPase avec surdité (AR)
- Ovalocytose héréditaire (AD)

Toxiques

- Amphotéricine B

Néphropathie

- Uropathies obstructives
- Néphrocalcinose
- Autres néphropathies interstitielles

Tableau 1 Principales causes d'acidoses tubulaires proximales (AT2)

Maladies systémiques

- Myélome à chaînes légères
- Hyperparathyroïdie primitive
- Maladie de Sjögren (atteinte distale plus fréquente)

Maladies génétiques

- Cystinose (AR)
- Maladie de Wilson (AR)
- Ostéopétrose par mutation du gène *ACII* (AR)

Toxiques

- Chimiothérapie par Ifosfamide
- Métaux lourds (Pb, Cu, Hg)
- Inhibiteur de l'AC (acétazolamide)
- Ténofovir

Tableau 3 Principales causes d'acidoses tubulaires distales de type 4 (AT1)

Hypoaldostéronisme « primaire » (rénine élevée)

Insuffisance surrénalienne

- Tuberculose
- Auto-immune
- Amylose
- Blocs enzymatiques (210Hase, 110Hase, 170Hase)

Toxiques

- IEC et ARA II
- Héparine

Hypoaldostéronisme secondaire (rénine basse)

Maladies génétiques

- Syndrome de Gordon (AD)

Maladies systémiques

- HIV
- Diabète

Toxiques

- Bêtabloquants
- AINS et Coxib
- Inhibiteurs de la calcineurine

Pseudohypoaldostéronisme (rénine et aldostérone élevées)

Maladies génétiques

- PHA de type 1a par mutation inhibitrice de ENaC (AR)
- PHA de type 1b par mutation inhibitrice de MR (AD)

Toxiques

- Antialdostérone (Aldactone)
- Amiloride
- Inhibiteurs de la calcineurine
- Bactrim

Dans le NEJM

Uses and Limitations of the Anion Gap

Lactic acidosis accounts for about half the cases of a high anion gap³³⁻⁴⁹ and is often due to shock or tissue hypoxia.^{44,47} However, the anion gap is a relatively insensitive reflection of lactic acidosis — roughly half the patients with serum lactate levels between 3.0 and 5.0 mmol per liter have an anion gap within the reference range.^{39,40} The anion gap, which has a sensitivity and specificity below 80% in identifying elevated lactate levels, cannot replace a measurement of the serum lactate level.^{39,40,47-50} Nevertheless, lactate levels are not routinely measured or always rapidly available, and a high anion gap can alert the physician that further evaluation is necessary.^{34,39,43} Unfortunately, a baseline value of the anion gap is generally not available for an individual patient. In addition, the anion gap should always be adjusted for the albumin concentration, because this

2. alcalose métabolique

Tableau

- gaz du sang :
 - pH > 7,40
 - PaCO₂ > 40 mm Hg
 - PaO₂ 60 -100 mm Hg
 - HCO₃ habituellement augmenté
 - BE : positif
- ventilation : VT : N ou légèrement diminuée; FR : N ou diminuée
- oxygénothérapie : nette augmentation PaO₂ sans changement majeur du type de ventilation
- oxygénation tissulaire :
 - augmentation contenu en O₂
 - si hypoxémie significative : l'oxygénation tissulaire dépendra de la fonction cardiovasculaire

Principales causes

1. Hypokaliémie

- Penser aux diurétiques
- Hyperaldostéronismes primaires (adénome de Conn) et secondaires

2. Hypochlorémie

3. Aspiration gastrique ou vomissements

4. Administration de bicarbonate de sodium

5. Administration massive de stéroïdes

3. alcalose respiratoire

Types

- I. Aiguë avec hypoxémie
- II. Chronique avec hypoxémie
- III. Par acidose métabolique (alcalose respiratoire compensatoire) : cf acidose métabolique
- IV. Origine centrale (non pulmonaire)

Tableaux

| TYPE | I | II | IV |
|--|--|--|---|
| | Aiguë avec hypoxémie | Chronique avec hypoxémie | Origine centrale |
| gaz du sang pH PaCO ₂ (mm Hg) PaO ₂ (mm Hg) HCO ₃ BE | > 7,50 < 35 40 - 80 N N | 7,4 - 7,5 < 30 < 70 diminué nég. | > 7,4 < 30 N ou augmenté (diminué) nég. |
| ventilation VT FR V min subjectif | augmenté augmentée augmentée dyspnée | diminué augmentée | N ou augmenté augmentée |
| oxygénothérapie PaO ₂ Travail ventilatoire Travail myocardique | augmentation diminué diminué | stable fort diminué fort diminué | augmentation forte stable stable |
| oxygénation tissulaire | rarement atteinte si réserves ventilatoires et myocardiques bonnes | rarement atteinte si perfusion correcte | voir transport |

Principales causes

I. hyperventilation alvéolaire aiguë avec hypoxémie

1. pathologie pulmonaire aiguë:
 - pneumopathie et atélectasie (shunt)
 - SDRA
 - crise d'asthme aiguë (augmentation admission veineuse)
2. affection myocardique aiguë (diminution DC)
 - infarctus myocardique
 - œdème pulmonaire
 - insuffisance cardiaque aiguë
 - circulation extra-corporelle (shunt cardiopulmonaire)

II. hyperventilation alvéolaire chronique avec hypoxémie

1. période postopératoire (2^{ème} jour)
2. insuffisance cardiaque chronique
3. troisième trimestre grossesse
4. affections limitant la mécanique musculaire ventilatoire : polyneuropathies, myasthénie ...
5. affections limitant l'expansion thoracique : cyphoscoliose, fractures costales ...
6. affections limitant la descente du diaphragme : péritonite, tumeurs abdominales, ascite

IV. hyperventilation alvéolaire sans hypoxémie

1. anxiété, névrose, psychose
2. douleur
3. affections du SNC
4. anémie
5. intoxication au CO

4. acidose respiratoire

4 types

I. Insuffisance respiratoire chronique
(hypercapnie chronique) = BPCO

II. Hyperventilation alvéolaire aiguë surajoutée à
une insuffisance respiratoire chronique

$\Delta\Delta$: alcalose métabolique non compensée
avec hypoxémie

III. Insuffisance ventilatoire aiguë surajoutée à
une insuffisance ventilatoire chronique

IV. Insuffisance ventilatoire aiguë

Tableaux

| TYPE | I | II | III | IV |
|--|---|--|--|---------------------------------|
| | Insuffisance respiratoire chronique | Hyperventilation alvéolaire aiguë surajoutée | Insuffisance ventilatoire aiguë surajoutée | Insuffisance ventilatoire aiguë |
| gaz du sang pH PaCO ₂ (mm Hg) PaO ₂ (mm Hg) HCO ₃ BE | 7,4 - 7,5 > 50 < 60 augmenté positif | > 7,5 > 40 < 60 augmenté positif | < 7,3 > 60 < 50 N ou augmenté N ou positif | < 7,3 > 50 < 60 N N |
| ventilation VT FR | ↓ augmentée | | | |
| oxygénothérapie PaO ₂ VA | petite augmentation ↓ * | ! risque type III ↓ * | augmentation ** | (augmentation légère) stable |
| oxygénation tissulaire | hypoxie si ↓ DC | | hypoxie (acidémie) | hypoxie (acidémie) |

HYPOVENTILATION ALVÉOLAIRE NON PULMONAIRE

Défaillance du contrôle ventilatoire

Dysfonction cérébrale

- Infection (encéphalite)
- Traumatisme
- Tumeur
- Accident vasculaire avec atteinte bulbaire
- Atteinte centrale des pathologies neurologiques chroniques
- Surdosage sédatif ou narcotique

Dysfonction des centres respiratoires

Perte de contrôle

- Hypoventilation alvéolaire du syndrome d' Ondine
- Syndrome obésité-hypoventilation
- Syndrome d'apnées du sommeil de type central
- Hypothyroïdie
- Alcalose métabolique
- Drogues déprimant le système nerveux central (narcotiques, sédatifs...)
- Syndrome de Parkinson
- Tétanos

Lésions des voies afférentes et efférentes :

- Cordotomie bilatérale cervicale haute
- Traumatisme médullaire cervical (au-dessus de C5)
- Myélite transverse
- Sclérose en plaques
- Maladie de Parkinson

Dysfonction des récepteurs périphériques

- Destruction des corpuscules carotidiens (endartérectomie carotidienne bilatérale)
- Syndrome d'Arnold-Chiari avec syringomyélie
- Dysautonomie familiale
- Neuropathie diabétique
- Tétanos

Défaillance de la pompe ventilatoire

Altération de la fonction neuro-musculaire

Corne antérieure médullaire

- Poliomyélite
- Sclérose latérale amyotrophique

Nerfs périphériques, polyradiculonévrites :

- Atteintes des nerfs phréniques (compression, envahissement tumoral)
- Syndrome de Guillain-Barré
- Porphyrie aiguë intermittente
- Toxiques

Jonction neuromusculaire

- Myasthénie
- Intoxication à la toxine botulinique, aux anticholinestérasiques

Muscles respiratoires (diaphragme)

- Myopathies, myosites inflammatoires
- Poliomyélite
- Hypokaliémie
- Hypophosphatémie
- Hypermagnésémie

Pathologie de la cage thoracique

- Cyphoscoliose, spondylarthrite ankylosante, thoracoplastie
- Fibrose ou calcification pleurale, épanchement pleural liquidien ou gazeux
- Obésité

HYPOVENTILATION ALVÉOLAIRE PULMONAIRE

(associée à une autre cause d'hypoxémie)

- BPCO sévère
- Emphysème pulmonaire sévère

- Restriction parenchymateuse (l'hypoventilation alvéolaire ne survient qu'en cas d'amputation majeure) : résection chirurgicale, lésions cicatricielles étendues (tuberculose...)

- Pneumopathies inflammatoires avec myosite diaphragmatique (lupus systémique, dermatopolymyosite)

5. affections responsables d'une augmentation de l'espace mort

valeurs des gaz du sang dénuées de sens si elles ne sont pas comparées aux données du travail ventilatoire (l'oxygénothérapie ne modifie que peu la ventilation alors qu'elle augmente fortement la PaO_2) :

- embolie pulmonaire aiguë
- diminution du débit cardiaque