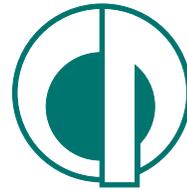




*ORDRE PROFESSIONNEL DES
TECHNOLOGISTES MÉDICAUX
DU QUÉBEC*



ORDRE
DES CHIMISTES
DU QUÉBEC

GUIDE SUR LES GAZ SANGUINS, LE pH ET LES PARAMÈTRES CONNEXES





**ORDRE PROFESSIONNEL DES
TECHNOLOGISTES MÉDICAUX
DU QUÉBEC**



**ORDRE
DES CHIMISTES
DU QUÉBEC**

GUIDE SUR LES GAZ SANGUINS, LE pH ET LES PARAMÈTRES CONNEXES

Ordre professionnel des technologistes médicaux du Québec (OPTMQ)
281, avenue Laurier Est, Montréal (Québec) H2T 1G2
Tél. : 514-527-9811 Sans frais : 1-800-567-7763 Téléc. : 514-527-7314
Courriel : info@optmq.org Adresse Internet : www.optmq.org

Ordre des chimistes du Québec (OCQ)
Place du Parc, 300, rue Léo-Pariseau, bureau 2199, Montréal (Québec) H2X 4B3
Tél. : 514-844-3644 Téléc. : 514-844-9601
Courriel : information@ocq.org Adresse Internet : www.ocq.qc.ca

ISBN : 978-2-9816759-4-1 (version imprimée)
ISBN : 978-2-9816759-5-8 (version PDF)
Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2018
Dépôt légal - Bibliothèque et Archives Canada, 2018

© 2018 OPTMQ et OCQ. Tous droits réservés. Toute reproduction ou copie sans modification du présent ouvrage, en tout ou en partie, est autorisée à des fins non commerciales et à titre gratuit seulement, avec mention de la source.

AVANT-PROPOS

Voici la première édition d'un guide sur l'analyse des gaz sanguins, du pH et des paramètres connexes. Ce guide a été élaboré conjointement par l'Ordre professionnel des technologistes médicaux du Québec (OPTMQ) et l'Ordre des chimistes du Québec (OCQ), avec la collaboration de l'Association des médecins biochimistes du Québec (AMBQ).

Afin de remplir leur mandat qui est de protéger le public, l'OPTMQ et l'OCQ encadrent l'exercice de leur profession respective, d'une part, par la surveillance générale et, d'autre part, par la formation de leurs membres. L'OPTMQ et l'OCQ s'assurent que leurs membres maintiennent leurs compétences et ont accès à des outils appropriés pour les guider dans l'exercice de leurs fonctions.

Le présent guide précise les compétences relatives à l'analyse des gaz sanguins, du pH et des paramètres connexes. Il vise à compléter les connaissances et à améliorer les pratiques des professionnels de la santé qui effectuent ces analyses. Il collige les renseignements existants afin de renforcer les critères de qualité et de sécurité s'appliquant aux activités et aux analyses réalisées au laboratoire de biochimie et à proximité du patient, en vue d'accorder la primauté au bien-être et à la protection du patient et à l'amélioration de la qualité des services dispensés. Ce document rassemble les meilleures pratiques connues à ce jour, évaluées par les membres du groupe de travail.

Cet ouvrage ne vise pas à créer de nouvelles obligations non prévues par la loi. Les renseignements qu'il contient ne sont pas exhaustifs et ne remplacent pas la réglementation en vigueur. Compte tenu de l'évolution rapide de la technologie, il fera l'objet de révisions et toute suggestion susceptible d'en améliorer le contenu sera accueillie avec intérêt.

Quand une référence citée dans le présent document n'est pas datée, c'est qu'elle renvoie à la plus récente édition du document. Les hyperliens figurant dans le texte étaient opérationnels quand ce guide a été publié.

Dans le présent document, le terme « laboratoire » désigne une entité qui comprend, entre autres, le personnel du laboratoire, les gestionnaires et la direction du laboratoire.

La mention d'un fournisseur, d'une entreprise, d'un produit ou d'un service dans ce guide ne signifie pas que l'OPTMQ ou l'OCQ se porte garant dudit fournisseur, entreprise, produit ou service; de même, le fait de ne pas mentionner un fournisseur, une entreprise, un produit ou un service ne doit pas être interprété comme un désaveu.

AVANT-PROPOS (suite)

Membres du groupe de travail sur les gaz sanguins, le pH et les paramètres connexes :

Kévin Allard, T.M.

Grappe OPTILAB Mauricie – Centre-du-Québec
CIUSSS de la Mauricie-et-du-Centre-du-Québec, CHAUR

Sarah Castonguay, T.M.

Grappe OPTILAB Montréal-CHUM
CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal, Hôpital Notre-Dame

Marie-Josée Champagne, Ph.D., CSPQ, biochimiste clinique, Présidente du comité de biochimie clinique de l'OCQ

Grappe OPTILAB Montréal-CHUM
CIUSSS de l'Est-de-l'Île-de-Montréal, Hôpital Santa Cabrini

Carine Nyalendo, Ph.D., DEPD, CSPQ, biochimiste clinique

Grappe OPTILAB Montréal-CHUM
CHU Sainte-Justine

Julie St-Cyr, MDCM, FRCPC, AMBQ, médecin spécialiste en biochimie médicale

Grappe OPTILAB Montréal-CUSM
CIUSSS de l'Ouest-de-l'Île-de-Montréal, Centre hospitalier de St. Mary

Anne-Marie Martel, T.M., chargée de dossiers scientifiques

OPTMQ

Remerciements

L'OPTMQ et l'OCQ souhaitent remercier les réviseurs externes et les organismes qui ont participé à la révision et à la validation scientifique de l'ébauche de ce guide, ainsi que Mme Marie-Hélène Bouchard, T.M., qui a participé à la rédaction de l'ébauche de ce guide. Les conclusions et recommandations de ce guide ne reflètent pas forcément les opinions des réviseurs externes ou des autres personnes consultées.

Réviseurs externes

**Fatima-Zahra Bouchouirab, M.D.,
FRCPC, médecin spécialiste en
biochimie médicale**

Grappe OPTILAB Estrie
CIUSSS de l'Estrie – CHUS installation
Fleurimont

**Silvia Fabiola Caruntu, M.D., FRCPC,
médecin spécialiste en biochimie
médicale**

Grappe OPTILAB Laval – Lanaudière -
Laurentides
CIUSSS de Laval, Hôpital de la Cité-de-la-
santé

**Daniel Deslauriers M.D., M.Sc.,
FRCPC, médecin spécialiste en
biochimie médicale**

Grappe OPTILAB Chaudière-Appalaches
CIUSS Chaudière-Appalaches
Hôtel-Dieu de Lévis

**Said El Kholty, Ph.D., CSPQ,
biochimiste clinique**

Grappe OPTILAB Mauricie – Centre-du-
Québec
CIUSSS de la Mauricie-et-du-Centre-du-
Québec, CHAUR

**Carol Fortin, Ph.D., CSPQ,
biochimiste clinique**

Grappe OPTILAB Saguenay-Lac-Saint-
Jean – Côte-Nord – Nord-du-Québec
CIUSSS de la Côte-Nord
Hôpital de Sept-Îles

**Pierre-Olivier Gagnon, M.D.,
anesthésiste**

CISSS du Bas-St-Laurent
CH Régional du Grand Portage

**Daniel Gauthier, Ph.D., CSPQ, FCACB,
biochimiste clinique**

Grappe OPTILAB Montérégie
CISSS de la Montérégie-Est
Hôpital Pierre-Boucher

Pierre Gauthier, T.M.

Grappe OPTILAB Outaouais
CISSS de l'Outaouais
Hôpital de Hull

Lyne Gervais

Grappe OPTILAB Outaouais
CISSS de l'Outaouais
Hôpital de Hull

Sylvie Gilbert

Grappe OPTILAB Chaudière-Appalaches
CISSS Chaudière-Appalaches
Hôtel-Dieu de Lévis

**Nadine Kadri, MD, FRCPC, médecin
spécialiste en biochimie médicale**

Grappe OPTILAB Montréal-CHUM
CHUM

**Pierre Lachance, M.D., FRCPC, AMBQ,
médecin spécialiste en biochimie
médicale**

Grappe OPTILAB Chaudière-Appalaches
CISSS Chaudière-Appalaches
Hôtel-Dieu de Lévis

Remerciements (suite)

Réviseurs externes (suite)

Gaston Lalumière, Ph.D., CSPQ,
biochimiste clinique

Fabienne Parente, M.D., Ph.D.,
FRCPC, FCCMG, AMBQ, médecin
spécialiste en biochimie médicale
Grappe OPTILAB Montréal-CUSM
Centre Universitaire de Santé McGill

Frédéric Pelletier
Grappe OPTILAB Montréal - CUSM
Centre de santé Inuulitsivik

Réal Petit, T.M.
Grappe OPTILAB Laval – Lanaudière -
Laurentides
CISSS de Laval, Hôpital de la Cité-de-la-
santé

Daniel Robitaille, M.D., M.Sc.,
FRCPC, DABCC, FAACC, médecin
spécialiste en biochimie médicale
Grappe OPTILAB Saguenay-Lac-Saint-
Jean – Côte-Nord – Nord-du-Québec
CISSS de la Côte-Nord
Hôpital Le Royer

Robert Robitaille, Ph.D., DEPD,
FCACB, CSPQ, biochimiste clinique
Grappe OPTILAB Montréal-CHUM
CIUSSS de l'Est-de-l'Île-de-Montréal
Hôpital Maisonneuve-Rosemont

Nicolas Tetreault, Ph.D., CSPQ,
biochimiste clinique
Grappe OPTILAB Montérégie
CISSS de la Montérégie-Centre
Hôpital du Haut-Richelieu

Annie-Claude Tremblay, T.M.
Grappe OPTILAB Montréal-CUSM
Centre Universitaire de Santé McGill

Organismes consultés

Association des pneumologues de la
province du Québec
François Beaucage, M.D.

Collège des médecins du Québec (CMQ)
Pauline Gref, M.D.

Institut national d'excellence en santé et
en services sociaux (INESSS)
Michel Lebrun, M.B.A., Ph.D
Andrée Fortin, Ph.D
Mélanie Martin, Ph.D

Ordre des chimistes du Québec, Comité
de biochimie clinique
Philippe Desmeules, Ph.D., CSPQ,
biochimiste clinique
Marie-Hélène Lévesque, Ph.D., CSPQ,
biochimiste clinique

Ordre des infirmières et infirmiers du
Québec
Suzanne Durand, M.Sc. inf.
Anciennement Directrice
Direction, Développement et soutien
professionnel

Ordre professionnel des
inhalothérapeutes du Québec
Marise Tétreault, inh., M.A.
Sandra Di Palma, inh., C. Adm.

Société de biologie clinique du Québec
(SQBC)
Michel Bouthillier, Ph.D., CSPQ, biochimiste
clinique
Samuel Dugré-Brisson, Ph.D., CSPQ,
FCACB, biochimiste clinique

Société des néonatalogistes du Québec
Romain Mandel, M.D., M.Sc.
Valérie Bertelle, M.D.
Christian Lachance, M.D.

Abréviations et acronymes

ADBD : analyses de biologie délocalisées
AMBQ : Association des médecins biochimistes du Québec
CAN/CSA : Association canadienne de normalisation/Canadian Standards Association
CHUM : Centre hospitalier de l'Université de Montréal
CISSS : Centre intégré de santé et de services sociaux
CIUSSS : Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux
CLSI : Clinical and Laboratory Standards Institute
CO₂ : dioxyde de carbone
COHb : carboxyhémoglobine
αO₂ : concentration totale du sang en oxygène
EBMD : examens de biologie médicale délocalisée
H⁺ : ion hydrogène
HbF : hémoglobine fœtale
HCO₃⁻ : ion bicarbonate
H₂CO₃ : acide carbonique
HHb : désoxyhémoglobine
H₂O : eau
ISE : électrode à membrane sélective (*ion-specific electrode*)
ISO : Organisation internationale de normalisation (*International Organization for Standardization*)
MetHb : méthémoglobine
OCQ : Ordre des chimistes du Québec
OPTMQ : Ordre professionnel des technologistes médicaux du Québec
O₂Hb : oxyhémoglobine
pH : potentiel d'hydrogène
PCO₂ : pression partielle de dioxyde de carbone
PO₂ : pression partielle d'oxygène
RTMD : *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*
SHb : sulfhémoglobine
SIMDUT : Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail
SO₂ : saturation de l'hémoglobine en oxygène
T.M. : technologiste médical

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	III
REMERCIEMENTS	V
ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES	VII
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 DOMAINE D'APPLICATION	1
3.0 DÉFINITIONS	2
4.0 SYSTÈME DE GESTION DE LA QUALITÉ	5
5.0 MESURES DE SÉCURITÉ	5
5.1 SERINGUES ET TUBES CAPILLAIRES.....	6
5.2 GAZ COMPRIMÉS.....	6
5.3 GESTION DES DÉCHETS.....	6
6.0 PERSONNEL	7
7.0 MATÉRIEL DIDACTIQUE ET DE RÉFÉRENCE	7
8.0 LOCAUX ET CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	7
9.0 GESTION DE LA DOCUMENTATION	8
10.0 CONCEPTS THÉORIQUES S'APPLIQUANT AUX PARAMÈTRES ANALYSÉS	8
11.0 EXIGENCES PRÉANALYTIQUES	8
11.1 ORDONNANCE.....	8
11.2 PRÉLÈVEMENT.....	9
11.2.1 Prélèvement de sang artériel.....	10
11.2.1.1 Usages.....	11
11.2.1.2 Sites de prélèvement	11
11.2.1.3 Précautions	11
11.2.2 Prélèvement de sang capillaire	12
11.2.2.1 Usage	12
11.2.2.2 Choix du point de ponction.....	12
11.2.2.3 Réchauffement.....	13
11.2.2.4 Collecte du sang capillaire.....	14
11.2.3 Prélèvement de sang veineux	16
11.2.3.1 Prélèvement de sang veineux mêlé.....	16
11.2.3.2 Prélèvement de sang veineux central.....	16
11.2.3.3 Prélèvement de sang veineux périphérique.....	16
11.2.4 Prélèvement de sang de cordon.....	17
11.2.5 Prélèvements à partir d'appareils d'assistance cardiorespiratoire.....	17
11.3 CONSERVATION DES ÉCHANTILLONS.....	18
11.3.1 Température de conservation et délai d'analyse.....	18
11.4 TRANSPORT DES ÉCHANTILLONS.....	19
11.4.1 Transport par système pneumatique automatisé.....	20
11.5 RÉCEPTION DES ÉCHANTILLONS.....	20
11.5.1 Enregistrement de la réception des échantillons.....	20
11.5.2 Critères de conformité des échantillons	20
12.0 EXIGENCES ANALYTIQUES	21
12.1 MATÉRIEL DE LABORATOIRE.....	21
12.1.1 Instrumentation.....	21
12.1.1.1 Entretien préventif.....	21
12.1.2 Réactifs	22
12.1.2.1 Gestion des réactifs.....	22
12.2 ANALYSES	22
12.2.1 Analyseurs de gaz sanguins.....	22

12.2.1.1 Paramètres mesurés.....	22
12.2.1.2 Paramètres calculés.....	24
12.2.2 Oxymètre de pouls.....	25
12.2.3 Co-oxymètre	26
12.3 FACTEURS POUVANT NUIRE À LA QUALITÉ DES RÉSULTATS DES ANALYSES	27
12.3.1 Présence d'air.....	27
12.3.2 Mélange inadéquat du sang.....	29
12.3.3 Additifs	29
12.3.4 Caillots	30
12.3.5 Agglutinines froides.....	30
12.3.6 Correction pour la température	30
12.4 PROGRAMME DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ	30
12.4.1 Contrôle interne de la qualité	30
12.4.2 Contrôle externe de la qualité	32
12.4.3 Comparaison parallèle	32
12.5 RÉPÉTITION DES ANALYSES.....	32
13.0 EXIGENCES POSTANALYTIQUES.....	33
13.1 VALIDATION DES RÉSULTATS.....	33
13.2 RÉPÉTITION DES ANALYSES.....	34
13.3 TEMPS DE RÉPONSE ET GESTION DES RÉSULTATS CRITIQUES.....	34
13.4 CONSERVATION DES RAPPORTS D'ANALYSE DES GAZ SANGUINS.....	34
ANNEXE 1 RÉGULATION DE L'ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE	35
ANNEXE 2 SOMMAIRE DES TYPES DE PRÉLÈVEMENT	38
ANNEXE 3 PRINCIPES GOUVERNANT LES MESURES EFFECTUÉES SUR ANALYSEUR DES GAZ SANGUINS.....	39
ANNEXE 4 AUTRES PARAMÈTRES ANALYSÉS	45
BIBLIOGRAPHIE.....	50
COMMENTAIRES.....	59

1.0 Introduction

Les analyses des gaz sanguins, du pH et des paramètres connexes permettent au clinicien d'évaluer le degré d'oxygénation et la qualité de la ventilation, de même que les facteurs respiratoires et métaboliques qui participent à l'équilibre acido-basique du patient. Ces analyses servant principalement à évaluer l'état des patients en situation d'urgence ou d'épisode de soins critiques, elles méritent toute notre attention.

Un des buts de ce guide est d'aider le personnel chargé de ces analyses à en comprendre les principes et les paramètres qui peuvent les modifier. Les activités effectuées à la phase préanalytique ayant une grande incidence sur la qualité des résultats, une partie importante de ce guide leur est consacrée. L'échantillon à analyser fournit une image précise de l'état du patient au moment du prélèvement, et il faut tout faire pour préserver et présenter cette image avec exactitude et sans équivoque.

Ce guide a été préparé en tenant compte de tous ces facteurs, et conformément avec les bonnes pratiques de laboratoire généralement reconnues, les guides et les normes comme celles du *Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI)* et de l'Organisation internationale de normalisation (ISO).

Ce guide vise à assurer l'obtention de résultats de qualité, représentatifs de l'état du patient, pour favoriser l'établissement d'un diagnostic fiable et une prise en charge adéquate.

2.0 Domaine d'application

Le présent document couvre toutes les phases (préanalytique, analytique et postanalytique) de l'analyse des gaz sanguins, du pH et des paramètres connexes. Dans la suite du document, l'ensemble de ces analyses sont parfois désignées collectivement par le terme « gaz sanguins ».

Les paramètres connexes désignent d'autres paramètres sanguins que l'on analyse parfois afin d'évaluer le degré d'homéostasie, notamment les électrolytes, le calcium ionisé, le lactate et les formes d'hémoglobine mesurées par co-oxymétrie.

Ce guide s'applique autant aux examens de biologie médicale délocalisés (EBMD, anciennement ADBD [analyses de biologie délocalisées]) qu'aux analyses effectuées au laboratoire de biologie médicale.

Seules quelques précautions spécifiques des analyses des gaz sanguins en ce qui a trait aux méthodes de prélèvement y sont présentées. Pour obtenir des détails sur les techniques de prélèvement, le lecteur devra consulter d'autres sources documentaires ^{(1) (2) (3) (4)}.

3.0 Définitions

Définitions spécifiques	
Acide	<p>Substance qui se dissocie dans l'eau en libérant des ions hydrogène (H⁺) et qui peut former un sel lorsque combinée à une base.</p> <p>Le pH des solutions acides est inférieur à 7.</p> <p>Acide ⇌ H⁺ + Base⁻</p> <p>La force des acides – et leur capacité de se dissocier dans une solution - s'exprime par la mesure de la pK_a.</p> $pK_a = \log \frac{1}{K_a} \quad \text{où } K_a = \frac{[H^+] \times [base^-]}{[acide]}$ <p>Plus l'acide se dissocie facilement dans l'eau, plus sa pK_a est faible.</p>
Base	<p>Substance qui accepte des ions hydrogène (H⁺).</p> <p>Le pH des solutions basiques est supérieur à 7.</p>
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	Base conjuguée de l'acide carbonique ⁽⁵⁾ .
Carboxyhémoglobine (COHb)	Forme d'hémoglobine combinée au monoxyde de carbone et inapte au transport de l'oxygène ⁽⁶⁾ .
Compensation	Processus par lequel l'organisme tente de corriger un déséquilibre acido-basique par l'intermédiaire des poumons ou des reins.
Co-oxymétrie	Technique de quantification des différentes formes d'hémoglobine fondée sur la spectrophotométrie ⁽⁷⁾ .
Désoxyhémoglobine (HHb)	Forme d'hémoglobine non liée à l'oxygène (réduite) ⁽⁶⁾ .
Examens de biologie médicale délocalisée (EBMD, anciennement ADBD : Analyses de biologie délocalisées)	Toute analyse de biologie médicale effectuée hors laboratoire dans une unité de soins d'un hôpital, une clinique ou un établissement de soins qui offre des services ambulatoires.
Excès de base	Quantité d'acide ou de base qu'il faut ajouter à un échantillon de sang <i>in vitro</i> pour obtenir un pH de 7,4, la PCO ₂ étant maintenue à 40 mmHg; son calcul contribue à cerner le paramètre en cause dans un déséquilibre acido-basique ^{(6) (8)} .
Hémoglobine fœtale (HbF)	Forme d'hémoglobine présente chez le fœtus et qui peut persister au-delà des premières semaines de la vie dans certaines conditions.

Méthémoglobine (MetHb)	Produit d'oxydation de l'hémoglobine dans lequel le fer passé de l'état ferreux à l'état ferrique (Fe^{3+}) est incapable de fixer l'oxygène ^{(6) (7) (9)} .
Oxyhémoglobine (O_2Hb)	Forme d'hémoglobine combinée à l'oxygène (O_2) ⁽⁶⁾ .
PCO_2	Pression partielle du dioxyde de carbone dans une phase gazeuse en équilibre avec le sang ⁽¹⁰⁾ . Les nomenclatures $p\text{CO}_2$, PaCO_2 (artériel) ou PvCO_2 (veineux) figurent également dans la littérature.
pH	Logarithme négatif de la concentration en ions H^+ d'une solution ⁽¹⁰⁾ . Un pH artériel inférieur à 6.9 ou supérieur à 7.9 étant généralement incompatible avec la vie, le corps cherche à préserver l'équilibre du pH, donc de la concentration en ions H^+ .
PO_2	Pression partielle de l'oxygène dans une phase gazeuse en équilibre avec le sang ⁽¹⁰⁾ . Les nomenclatures $p\text{O}_2$, PaO_2 (artériel) ou PvO_2 (veineux) figurent également dans la littérature.
Saturation de l'hémoglobine en oxygène (SO_2)	Rapport entre la quantité d'oxygène lié à l'hémoglobine et la capacité maximale de fixation d'oxygène, exprimé par un pourcentage ⁽¹⁰⁾ .
Sulphémoglobine (SHb)	Forme d'hémoglobine liée irréversiblement à l'hydrogène sulfuré à la suite d'une exposition à des composés soufrés (p. ex. sulfamidés) ⁽⁷⁾ .
Système tampon	Système qui empêche ou limite la variation du pH d'une solution. Le tampon peut fixer les ions H^+ présents en excès dans la solution et libérer les ions H^+ quand leur concentration diminue.
Définitions générales	
Politique	Énoncé ou écrit qui indique clairement la position et les valeurs de l'organisme en ce qui concerne un sujet donné ⁽¹¹⁾ .
Procédure	Documentation et instructions techniques expliquant toutes les étapes à suivre pour réaliser une activité. Les expressions <i>procédure opératoire normalisée (PON)</i> et <i>procédure documentée</i> peuvent également être utilisées ⁽¹²⁾ .
Processus	« Ensemble d'activités corrélées ou en interaction qui utilise des éléments d'entrée pour produire un résultat escompté. » ⁽¹³⁾ ISO 9000 :2015, 3.4.1.

Processus préanalytique	Série d'étapes débutant par l'ordonnance, comprenant par la suite la vérification de l'identité du patient et sa préparation, le prélèvement, la stabilisation, l'acheminement et la réception de l'échantillon au laboratoire et se terminant avec le début du processus analytique ⁽¹²⁾ .
Processus analytique	Série d'étapes qui comprennent la transformation et l'analyse de l'échantillon en vue de mesurer ou de détecter des analytes ou de dépister des maladies.
Processus postanalytique	Série d'étapes qui suivent l'analyse et comprennent la révision des résultats, la validation, l'interprétation, la transmission et l'archivage du rapport d'analyse, ainsi que l'entreposage des échantillons analysés ⁽¹²⁾ .
Qualité	Degré d'excellence ou mesure dans laquelle un service répond aux besoins et aux attentes des clients tout en respectant les normes généralement reconnues ⁽¹¹⁾ .
Système de gestion de la qualité	Ensemble des activités de planification, de direction, de contrôle et d'assurance de la qualité destinées à assurer ou à maintenir la qualité.
Traçabilité	Processus permettant de retrouver l'historique, la mise en œuvre ou l'emplacement de ce qui est examiné ⁽¹³⁾ .
Validation	« Confirmation par des preuves objectives que les exigences pour une utilisation spécifique ou une application prévues ont été satisfaites. » ⁽¹³⁾ ISO 9000: 2015 3.8.13
Signification des termes « doit », « devrait » et « peut »	
Doit	Dans le présent document, le verbe <i>devoir</i> à l'indicatif désigne l'obligation de respecter ou d'appliquer les exigences prescrites, soit parce qu'elles sont requises par la réglementation en vigueur ou parce qu'elles ont trait à une compétence que doit posséder le professionnel. L'expression <i>il faut</i> a le même sens.
Devrait	Dans le présent document, le verbe <i>devoir</i> au conditionnel signifie que l'énoncé s'appuie sur des faits scientifiques et qu'il est recommandé de le respecter ou de l'appliquer. L'expression <i>il faudrait</i> a le même sens.
Peut	Dans le présent document, le verbe <i>pouvoir</i> signifie que l'énoncé est considéré comme valable et que son application est souhaitable.

4.0 Système de gestion de la qualité

Le laboratoire doit mettre en place un système de gestion de la qualité afin d'assurer la qualité de tous les processus préanalytiques, analytiques et postanalytiques. Ce système couvre toutes les étapes du processus, de l'ordonnance de l'analyse à l'acheminement et à l'archivage du rapport d'analyse⁽¹²⁾. La norme ISO 15189 : *Laboratoire de biologie médicale – Exigences concernant la qualité et la compétence*⁽¹²⁾ est une norme reconnue qui est largement appliquée dans les laboratoires de biologie médicale en vue de l'élaboration des systèmes de gestion de la qualité⁽¹⁴⁾.

Ce guide présente certaines exigences tirées de cette norme afin d'informer le lecteur des points applicables à l'analyse des gaz sanguins, du pH et des paramètres connexes. Toutefois, il n'entend pas être une interprétation de cette norme; pour en savoir plus, le lecteur doit se référer à la dernière édition de celle-ci.

Pour se renseigner davantage sur les systèmes de gestion de la qualité, le lecteur peut consulter les documents suivants :

- ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *ISO 15189 Laboratoires de biologie médicale – Exigences concernant la qualité et la compétence*⁽¹²⁾;
- ORDRE PROFESSIONNEL DES TECHNOLOGISTES MÉDICAUX DU QUÉBEC. *Guide de gestion de la qualité dans les laboratoires de biologie médicale*⁽¹⁵⁾.

5.0 Mesures de sécurité

La *Loi sur la santé et la sécurité du travail* établit des exigences de sécurité pour l'employeur et le travailleur⁽¹⁶⁾. Cette Loi traite de sujets tels que la formation exigée en matière de santé et de sécurité et l'information que l'employeur doit mettre à la disposition du personnel. Il incombe au personnel de prendre connaissance du programme de prévention qui le concerne et de tous renseignements transmis par l'employeur, et de participer aux activités de formation qui lui sont offertes⁽¹⁷⁾.

Le personnel doit exercer sa profession de façon sécuritaire. Il doit adopter les mesures nécessaires afin d'assurer sa protection et celle des autres, et il doit utiliser le matériel et les équipements de façon sécuritaire⁽¹⁷⁾.

Pour se renseigner davantage sur les mesures de sécurité à respecter au laboratoire de biologie médicale, le lecteur peut consulter les documents suivants :

- *Loi sur la santé et la sécurité du travail*⁽¹⁶⁾;
- *Règlement sur la santé et la sécurité du travail*⁽¹⁸⁾;
- *La sécurité au laboratoire - Directives de la SCSLM*⁽¹⁹⁾;
- CAN/CSA-Z15190 *Medical laboratories – Requirements for safety (Laboratoires de médecine – Exigences pour la sécurité)*⁽²⁰⁾;
- AGENCE DE LA SANTÉ PUBLIQUE DU CANADA, *Norme canadienne sur la biosécurité*⁽²¹⁾.
- AGENCE DE LA SANTÉ PUBLIQUE DU CANADA, *Guide canadien sur la biosécurité*⁽²²⁾.

Certaines mesures de sécurité à propos des seringues et des tubes capillaires, des gaz comprimés et de la gestion des déchets sont présentées dans les points suivants.

5.1 Seringues et tubes capillaires

Certains prélèvements sont effectués avec une seringue. En vertu des bonnes pratiques, toute aiguille souillée doit être retirée de la seringue immédiatement après le prélèvement. Il faut jeter l'aiguille, sans remettre le capuchon, dans un contenant approuvé, rigide, étanche et portant la mention « déchets biomédicaux »⁽²³⁾. Il est souhaitable d'utiliser une seringue pourvue d'un dispositif de protection qui facilite le retrait sécuritaire de l'aiguille⁽³⁾.

Le personnel du laboratoire risque de se piquer accidentellement si l'aiguille souillée est laissée sur la seringue après le prélèvement⁽³⁾. Il faut retirer l'aiguille avec précaution avant de procéder à l'analyse. Cette consigne doit être rappelée aux professionnels qui pourraient avoir omis de retirer l'aiguille souillée tout de suite après un prélèvement.

Bien que la plupart des seringues et des tubes capillaires d'usage courant soient en plastique, il se peut qu'une seringue ou un tube capillaire de verre soit envoyé au laboratoire. Il faut manipuler ces objets de verre avec précaution pour éviter tout bris et réduire le risque de blessure.

5.2 Gaz comprimés

Les bonbonnes d'oxygène (O₂) et de dioxyde de carbone (CO₂) servant à l'étalonnage de certains analyseurs entrent dans la catégorie des « gaz sous pression » du *Règlement sur les produits dangereux*⁽²⁴⁾. Les précautions générales suivantes doivent être prises⁽²⁵⁾ :

- limiter le nombre de bonbonnes au strict minimum et les conserver dans un endroit bien ventilé;
- tenir les bonbonnes loin de toute source de chaleur;
- tenir les bonbonnes attachées;
- éviter d'échapper des bonbonnes;
- transporter les bonbonnes sur un chariot approprié, pourvu d'un dispositif d'arrimage;
- lorsque l'on remplace une bonbonne, ouvrir les valves doucement en évitant d'orienter l'orifice de sortie du gaz vers soi ou autrui, et s'assurer qu'il n'y a pas de fuite.

5.3 Gestion des déchets

Les déchets provenant des analyseurs de gaz sanguins doivent être considérés comme potentiellement infectieux et être éliminés selon le *Règlement sur les déchets biomédicaux*⁽²³⁾. Les cartouches utilisées dans certains analyseurs peuvent contenir des déchets biologiques. Il est important de ne pas les éliminer avec les déchets ordinaires.

6.0 Personnel

Comme le prescrit la norme ISO 15189, la direction du laboratoire s'assure de la présence d'un nombre suffisant de personnes ayant la formation et les compétences nécessaires pour fournir des services de laboratoire qui répondent aux besoins et aux exigences des utilisateurs ⁽¹²⁾. L'attribution des tâches dans le laboratoire doit être conforme à la réglementation en vigueur.

Comme le prescrit la norme ISO 15189, un programme de formation continue doit permettre d'assurer le maintien des compétences du personnel participant aux processus administratifs et techniques ⁽¹²⁾. Pour se renseigner davantage sur les programmes de formation et sur l'évaluation des compétences, le lecteur peut consulter le document de l'OPTMQ intitulé *Guide de gestion de la qualité dans les laboratoires de biologie médicale* ⁽¹⁵⁾.

7.0 Matériel didactique et de référence

En vue d'accomplir son travail quotidien ainsi qu'aux fins d'orientation et de formation continue, le personnel doit avoir accès sur place au matériel nécessaire à l'exercice de ses fonctions, entre autres ⁽²⁶⁾ :

- ouvrages de référence récents;
- procédures établies au laboratoire de biochimie;
- toute autre source d'information pertinente.

8.0 Locaux et conditions environnementales

Comme le prescrit la norme ISO 15189, le laboratoire s'assure que l'espace réservé à l'exécution de ses activités est suffisant et adéquat, afin de garantir la qualité, la sécurité et l'efficacité des prestations offertes aux utilisateurs, ainsi que la santé et la sécurité du personnel du laboratoire, des patients et des visiteurs ⁽¹²⁾.

Il faut prévoir l'espace et des conditions d'entreposage adaptés afin d'assurer l'intégrité permanente des échantillons, des documents, des équipements, des réactifs, des consommables, des enregistrements, des résultats et d'autres éléments susceptibles d'influencer la qualité des résultats d'analyse ⁽¹²⁾.

Le laboratoire doit surveiller, contrôler et enregistrer les conditions relatives à l'environnement conformément aux spécifications des fabricants ou au cas où ces conditions seraient susceptibles d'influer sur la qualité des échantillons ou des résultats ou encore sur la santé du personnel ⁽¹²⁾.

Il faut maintenir la température interne des analyseurs à $37^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ pour éviter de fausser les résultats des analyses des gaz sanguins. Cette exigence s'applique tout particulièrement à la mesure de la pression partielle de l' O_2 (PO_2). En effet, la température influe non seulement sur la solubilité des gaz, mais aussi sur la courbe de dissociation de l'oxygène, modifiant ainsi la proportion d' O_2 lié à l'hémoglobine et d' O_2 dissous, qui est la forme d' O_2 mesurée par les analyseurs de gaz sanguins ^{(6) (7)}.

Il faut surveiller la température du local afin d'éviter les écarts de température qui pourraient modifier la température interne des analyseurs ou les valeurs des solutions de contrôle de la qualité en ampoules^{(8) (27)} (voir le point 12.4.1 sur le contrôle interne de la qualité).

9.0 Gestion de la documentation

Dans les systèmes de gestion de la qualité, la documentation désigne les politiques, les processus, les procédures et l'enregistrement des résultats. Comme le prescrit la norme ISO 15189, des procédures documentées sont élaborées de concert avec les spécialistes du laboratoire pour toutes les activités effectuées⁽¹²⁾.

10.0 Concepts théoriques s'appliquant aux paramètres analysés

Les professionnels effectuant ces analyses doivent comprendre les concepts théoriques gouvernant les paramètres analysés. Certaines annexes, comme l'annexe 1 sur la régulation de l'équilibre acido-basique, présentent des principes de base afin de faciliter la compréhension des notions abordées dans le présent guide. Toutefois, ce survol ne remplace pas la formation continue que doivent suivre les professionnels pour effectuer correctement les analyses. Il faut consulter d'autres ressources pour compléter ces renseignements^{(5) (6) (7) (28) (29)}.

11.0 Exigences préanalytiques

La fiabilité des résultats de l'analyse des gaz sanguins est étroitement liée à la qualité de l'échantillon prélevé. Comme le prescrit la norme ISO 15189, chaque laboratoire établit des critères afin de fixer les consignes à respecter, comme les instructions de prélèvement, de transport et de conservation des échantillons⁽¹²⁾.

11.1 Ordonnance

L'ordonnance écrite ou son équivalent électronique prescrivant un examen de laboratoire doit être rédigée par une personne légalement habilitée à prescrire des examens ou des analyses de laboratoire^{(30) (31)}.

Les ordres professionnels dont les membres peuvent prescrire des analyses et examens ont adopté des règlements qui précisent les éléments devant figurer sur chaque ordonnance individuelle^{(32) (33) (34) (35)}.

Le type de prélèvement (artériel, capillaire, veineux, etc.) doit être précisé^{(8) (12)}.

Selon l'état clinique du patient, certains paramètres liés à l'état de santé jouent un rôle important dans l'interprétation des valeurs des gaz sanguins ^{(8) (36)} :

- la température du patient (en précisant s'il s'agit de la température axillaire, buccale ou rectale);
- le type de ventilation (spontanée, assistée ou contrôlée);
- la fraction d'O₂ dans l'air inspiré (FIO₂);
- le débit d'O₂.

Il peut être nécessaire de corriger les résultats de certaines analyses en tenant compte de ces paramètres (voir le point 12.3.6). Ces données devraient être fournies et apparaître sur le rapport d'analyse ^{(8) (36)}.

11.2 Prélèvement

L'acte de prélever du sang par ponction veineuse ou artérielle est encadré par le *Code des professions* du Québec et les lois et règlements qui définissent les activités réservées à des professionnels de la santé. Les professionnels de la santé doivent consulter ces codes et lois pour connaître les activités qu'ils sont légalement habilités à effectuer, selon leur champ d'exercice respectif. Par exemple, les membres de l'OPTMQ sont autorisés à prélever du sang dans une veine périphérique, mais pas dans une artère ⁽³¹⁾.

Plusieurs types d'échantillons peuvent servir à l'analyse des gaz sanguins. Les échantillons de sang artériel et veineux mêlé permettent d'évaluer la ventilation, l'oxygénation et l'équilibre acido-basique. D'autres types d'échantillons (sang capillaire, veineux central ou périphérique ou de cordon) fournissent moins d'information ^{(8) (36)}. Le choix de l'échantillon à prélever revient au prescripteur et dépend des circonstances cliniques et des pratiques de l'établissement. L'annexe 2 présente un sommaire des types d'échantillons prélevés ainsi que leurs principaux usages cliniques.

Tout prélèvement en vue de l'analyse des gaz sanguins doit absolument être fait dans des conditions strictes d'anaérobiose. Il faut donc éviter tout contact avec l'air, qu'il s'agisse d'air ambiant, d'air contenu dans une tubulure ou de bulles d'air pouvant se former pendant le prélèvement ^{(7) (8)}. Il importe d'appliquer les mesures suivantes immédiatement après tout prélèvement effectué avec une seringue :

- tenir la seringue à la verticale et en expulser l'air;
- retirer l'aiguille de la seringue;
- couvrir l'extrémité de la seringue avec un bouchon.

Quel que soit le type d'échantillon, l'anticoagulant utilisé est l'héparine. L'héparine a la capacité de fixer les ions chargés positivement, principalement le calcium. Des préparations d'héparine saturées en calcium (préparations dites équilibrées) sont employées afin de réduire au minimum la chélation, par l'héparine, du calcium présent dans l'échantillon ^{(37) (38)}.

Il est recommandé d'utiliser une préparation lyophilisée plutôt que liquide afin d'éviter l'effet de dilution^{(6) (7) (8) (39) (40)}. Il faut toutefois prendre particulièrement soin de bien mélanger l'échantillon pour éviter la formation de microcaillots, car l'héparine lyophilisée est difficile à mettre en solution.

L'héparine est offerte sous forme de sel de sodium ou de lithium. Le type de sel peut modifier le résultat du dosage du sodium ou du lithium. L'utilisation d'une solution d'héparine faiblement concentrée (entre 10 et 20 UI/ml) permet d'atténuer l'augmentation artificielle des taux de ces analytes, mais n'élimine pas le risque de contamination^{(6) (8) (40)}. Il est donc préférable d'utiliser le sel de lithium pour doser le sodium et inversement, le sel de sodium pour doser le lithium⁽⁸⁾.

Une seringue jetable en plastique, d'une capacité de 1 à 3 ml de sang, est couramment utilisée pour prélever le sang artériel ou veineux⁽⁸⁾. Il convient de remplir au moins la moitié de la seringue afin d'éviter que l'excès d'héparine se lie au calcium ionisé⁽³⁷⁾.

Certains facteurs comme les pleurs, l'anxiété ou la douleur ressentie lors du prélèvement peuvent altérer la respiration du patient et avoir une incidence sur les gaz sanguins, le pH et les paramètres connexes^{(41) (42)}. Il faut tenter de calmer le patient dans la mesure du possible avant le prélèvement. Si le patient est toujours en pleurs ou anxieux, il faudrait le mentionner dans le rapport pour favoriser une interprétation plus juste des résultats.

Consulter la documentation du fabricant des dispositifs de prélèvement pour connaître les spécifications à respecter.

11.2.1 Prélèvement de sang artériel

Le sang artériel est réservé à des usages précis, car son prélèvement comporte plusieurs risques. En effet, le prélèvement peut causer des complications telles qu'une hémorragie, la formation d'un hématome, la thrombose, le vasospasme, des altérations neurovasculaires dans la partie distale du membre et l'infection⁽⁴⁾. L'insertion de la canule artérielle est une démarche très invasive qui comporte un risque de thrombose et d'embolie, mais elle permet d'obtenir plusieurs échantillons consécutifs dans le cadre du suivi des patients nécessitant une surveillance hémodynamique continue^{(3) (4)}.

Les professionnels habilités à effectuer des ponctions artérielles (médecins, infirmières et inhalothérapeutes)^{(31) (43) (133)} peuvent consulter le document du Clinical and Laboratory Standards Institute intitulé *Procedures for the Collection of Arterial Blood Specimens; Approved Standard*⁽³⁾ ainsi que toute documentation provenant des ordres professionnels concernés⁽⁴⁾.

11.2.1.1 Usages

L'échantillon de sang artériel permet d'évaluer les échanges gazeux pulmonaires par la mesure de la PO_2 puisque la composition du sang artériel est uniforme partout dans le corps^{(3) (6)}. C'est là le principal avantage du sang artériel sur les autres types d'échantillons sanguins. La PO_2 est un indicateur de l'oxygénation du sang dans les poumons et renseigne sur la quantité d' O_2 acheminé vers les tissus périphériques⁽⁷⁾.

L'échantillon de sang artériel permet également d'évaluer la ventilation par la mesure de la PCO_2 , de même que l'équilibre acido-basique⁽⁶⁾.

11.2.1.2 Sites de prélèvement

Les principaux vaisseaux dans lesquels le sang artériel est prélevé, à l'aiguille ou au moyen d'une canule, sont l'artère radiale, l'artère brachiale, l'artère fémorale et le cordon ombilical. La canule peut être placée dans l'artère radiale, fémorale ou directement dans l'aorte descendante s'il s'agit d'un cathéter ombilical artériel. En général, la canule est rincée avec une solution saline ou une solution d'héparine pour éviter toute occlusion⁽⁴⁾. Il faut ensuite éliminer cette solution en retirant 5 ml de sang que l'on jette avant de faire le prélèvement proprement dit^{(3) (6)}. Dans certains cas, notamment chez les enfants, il est opportun de déterminer le volume précis à prélever (six fois le volume mort de la ligne ou tubulure, correspondant généralement à moins de 5 ml) pour diminuer le risque d'anémie iatrogène⁽⁴⁴⁾.

11.2.1.3 Précautions

Immédiatement après le prélèvement, il faut évacuer l'air de la seringue pour éviter la contamination de l'échantillon par une bulle d'air⁽³⁾. Le sang doit ensuite être mélangé à l'héparine qui couvre les parois de la seringue. Comme l'absence d'air empêche de mélanger efficacement le sang en retournant la seringue, il faut faire rouler la seringue entre les paumes des mains pendant au moins cinq secondes. Plus la seringue est petite, plus il sera difficile de mélanger le sang à l'héparine et plus il faudra faire rouler la seringue entre les mains longtemps. Il est important de s'assurer que le sang est suffisamment mélangé^{(45) (46)}.

11.2.2 Prélèvement de sang capillaire

Le lecteur peut se référer au document suivant pour connaître les exigences et recommandations de l'OPTMQ relatives au prélèvement de sang par ponction capillaire :

ORDRE PROFESSIONNEL DES TECHNOLOGISTES MÉDICAUX DU QUÉBEC. *Prélèvement de sang par ponction capillaire aux fins d'analyse*⁽²⁾.

Certains points de ce document sont présentés ci-dessous.

11.2.2.1 Usage

Le sang capillaire est un mélange de sang artériel et de sang veineux périphérique. Le prélèvement capillaire convient surtout en pédiatrie afin de recueillir une petite quantité de sang seulement. Le sang capillaire peut également être prélevé quand la ponction veineuse ou artérielle est difficile à effectuer chez un patient adulte (en cas de brûlure étendue, d'obésité extrême, etc.)^{(2) (41)}.

L'utilité clinique du sang capillaire n'est reconnue que chez les patients dont les tissus sont bien irrigués⁽⁴¹⁾. En effet, les valeurs de pH et des gaz sanguins dans le sang capillaire et le sang artériel ne seront comparables que si le sang circule bien dans les tissus périphériques. Cependant, la corrélation des valeurs de PO_2 entre les échantillons de sang capillaire et artériel ne fait pas consensus^{(8) (47) (48) (49)}.

Dans certaines situations (p. ex., tension artérielle systolique inférieure à 95 mmHg, vasoconstriction, oxygénothérapie, premières heures de vie du nouveau-né ou détresse respiratoire chez le nouveau-né), la proportion de sang veineux dans le sang capillaire peut être plus élevée et mener à une sous-évaluation de la PO_2 ^{(7) (50)}.

L'échantillon de sang capillaire peut également servir à doser des analytes comme le potassium, la bilirubine, le lactate et l'hématocrite. Ces analytes peuvent être présents en concentration différente dans le sang capillaire et le sang veineux^{(7) (41)}.

11.2.2.2 Choix du point de ponction

La ponction capillaire peut être faite sur les doigts, le talon, le cuir chevelu ou le lobe de l'oreille. Le choix du point de ponction dépend de l'état clinique du patient et des directives établies dans l'établissement.

Pour les critères de sélection du point de ponction pour le talon et les doigts, se référer au document de l'OPTMQ intitulé *Prélèvement de sang par ponction capillaire aux fins d'analyse*⁽²⁾.

Le prélèvement sur cuir chevelu du nouveau-né sert essentiellement à évaluer la souffrance fœtale pendant l'accouchement^{(51) (52)}.

La réalisation d'un prélèvement sur lobe de l'oreille est controversée dans la littérature^{(41) (53) (54) (55) (56) (57)}. Chaque établissement doit valider la concordance entre les résultats obtenus avec le sang prélevé sur lobe de l'oreille et le sang capillaire provenant d'un autre site de ponction⁽¹²⁾.

11.2.2.3 Réchauffement

Le réchauffement du point de ponction permet d'augmenter la proportion de sang artériel (oxygéné) dans les capillaires en stimulant l'afflux de sang artériel. La PO_2 mesurée dans l'échantillon de sang capillaire se rapproche davantage de la PO_2 artérielle^{(41) (58)}. Bien que la nécessité d'oxygéner le sang capillaire soit contestée dans certains rapports d'études^{(49) (59) (60) (61) (62)}, il n'en demeure pas moins que la chaleur permet de dilater les vaisseaux et favorise l'écoulement du sang. Le risque d'hémolyse et de contamination par le liquide tissulaire est donc moins grand puisqu'il est inutile d'exercer une pression excessive sur le site de ponction⁽⁴¹⁾. Chaque établissement doit établir sa procédure quant au réchauffement du point de ponction.

Si la procédure de l'établissement exige le réchauffement du point de ponction, il est recommandé d'appliquer une serviette propre et chaude (à une température ne dépassant pas 42 °C) pendant 3 à 5 minutes^{(6) (41)}. Une telle température permet d'activer suffisamment la circulation du sang sans risque de brûlure cutanée⁽⁶³⁾.

L'utilisation du four à micro-ondes ou d'un matériau qui conserve très longtemps la chaleur (comme les couches et les sacs en plastique) est à proscrire, car le risque de dépasser 42 °C est très élevé^{(64) (65)}. Il existe par ailleurs des dispositifs commerciaux comme des blocs chauffants à usage unique et à température contrôlée qu'il faut utiliser en respectant les recommandations du fabricant.

Mise en garde : Exercer une surveillance attentive et soutenue pour éviter de brûler le patient.

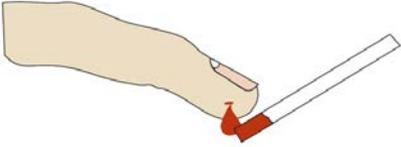
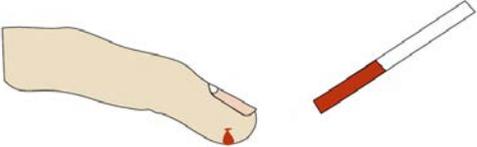
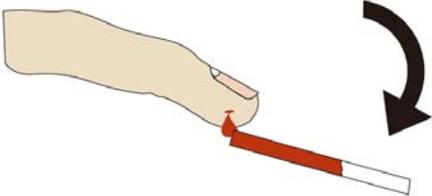
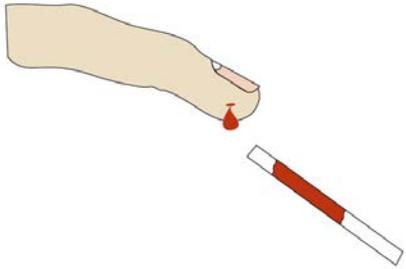
11.2.2.4 Collecte du sang capillaire

On doit recueillir le sang prélevé dans un tube capillaire hépariné sans toucher la peau du patient. Il faut éviter la formation de bulles d'air qui pourraient altérer les résultats en tenant le tube capillaire à un certain angle (et non à l'horizontale) pendant la collecte du sang (voir le tableau 1). Il faut réduire au minimum le contact avec l'air en faisant entrer la goutte immédiatement dans le tube capillaire afin d'éviter le déclenchement d'échanges gazeux pouvant modifier les valeurs de certains analytes ⁽⁷⁾ ⁽⁸⁾ ⁽⁴⁰⁾ ⁽⁶⁶⁾. Il ne faut pas masser excessivement le point de ponction, sous peine de causer l'hémolyse, la lyse des cellules tissulaires et la dilution de l'échantillon par du liquide tissulaire ⁽⁸⁾ ⁽⁶⁶⁾.

S'il faut remplir plusieurs tubes capillaires, commencer par le tube destiné à l'analyse des gaz sanguins afin d'obtenir l'échantillon le plus riche possible en sang artériel ⁽⁴¹⁾ ⁽⁶⁷⁾.

Le sang doit être mélangé à l'anticoagulant selon les instructions du fabricant ⁽⁴¹⁾ ⁽⁴⁵⁾.

Tableau 1. Technique de remplissage du tube capillaire

Technique recommandée	
	<p>Approcher le tube capillaire du doigt et recueillir une goutte de sang sans toucher la peau du patient.</p>
	<p>Si une deuxième goutte de sang est nécessaire, approcher le tube capillaire du doigt en l'inclinant vers le haut pour empêcher le sang de remonter dans le tube capillaire.</p> <p>Toucher la goutte de sang avec l'extrémité du tube capillaire pour éviter que les deux gouttes soient séparées par de l'air.</p>
	<p>Incliner le tube capillaire vers le bas pour compléter le remplissage.</p>
Technique à proscrire	
	<p>Le fait d'approcher le tube en l'inclinant vers le bas favorise la formation de bulles d'air dans le tube capillaire.</p>

11.2.3 Prélèvement de sang veineux

11.2.3.1 Prélèvement de sang veineux mêlé

Le sang veineux mêlé étant prélevé au moyen d'une canule placée dans l'artère pulmonaire, il est représentatif de la moyenne de tous les retours veineux vers le cœur⁽⁶⁾. Comme aucun intervalle de référence n'est généralement fourni, le clinicien compare les valeurs mesurées dans ce type de sang aux valeurs obtenues avec un échantillon de sang artériel prélevé au même moment, afin de compléter son évaluation de la fonction respiratoire par celle de la fonction cardio-pulmonaire⁽⁶⁾. Ce type d'échantillon permet également de dépister le shunt intrapulmonaire⁽⁸⁾.

11.2.3.2 Prélèvement de sang veineux central

Le sang veineux central est prélevé au moyen d'une canule placée dans la veine cave inférieure ou supérieure, ou la veine ombilicale chez le nouveau-né. Si la canule est placée dans la veine cave, elle est la plupart du temps insérée dans la veine sous-clavière⁽⁶⁸⁾⁽⁶⁹⁾. Le sang prélevé ainsi n'est donc pas entièrement mêlé, mais il est représentatif de la moyenne des retours veineux provenant du haut ou du bas du corps. Une excellente concordance de pH, de PCO_2 et de bicarbonates a été rapportée entre le sang veineux central et le sang artériel dans différentes situations cliniques⁽⁶⁸⁾⁽⁷⁰⁾.

11.2.3.3 Prélèvement de sang veineux périphérique

Le sang veineux périphérique convient à la mesure du pH et de la PCO_2 en vue de l'évaluation de l'équilibre acido-basique⁽⁸⁾⁽³⁶⁾⁽³⁹⁾. La PO_2 veineuse n'est quant à elle pas un indicateur de la fonction pulmonaire, mais elle renseigne plutôt sur l'utilisation de l' O_2 par les tissus voisins, qui est liée au métabolisme et à l'irrigation sanguine des tissus⁽⁶⁾. Chaque établissement doit alors déterminer s'il faut ou non rapporter la PO_2 veineuse.

Afin d'éviter la contamination de l'échantillon par l'air ambiant, donc une éventuelle altération de la PCO_2 et du pH (voir le point 12.3.1)⁽⁷⁾, il faut recueillir la quantité optimale de sang dans le tube sous vide pour éviter l'aspiration d'air quand le tube est retiré du barillet. De même, si le sang est prélevé avec une unité à ailettes (aiguille type papillon) et que le premier tube à remplir est destiné à l'analyse des gaz sanguins, il faut éliminer l'air présent dans la tubulure en laissant couler un peu de sang dans un tube de rejet. Si l'analyse de la PO_2 veineuse est demandée, il faut prélever le sang dans une seringue et non dans des tubes sous vide⁽⁸⁾.

Comme c'est le cas pour tout prélèvement par ponction veineuse, il faut enlever le garrot moins d'une minute après l'avoir mis en place afin d'éviter l'hémoconcentration et l'obtention de résultats erronés⁽⁴⁴⁾.

Le lecteur peut consulter le document suivant pour se renseigner sur les exigences et les recommandations de l'OPTMQ relatives au prélèvement de sang par ponction veineuse :

ORDRE PROFESSIONNEL DES TECHNOLOGISTES MÉDICAUX DU QUÉBEC. *Prélèvement de sang par ponction veineuse pour fins d'analyse*⁽¹⁾.

11.2.4 Prélèvement de sang de cordon

Le sang de cordon ombilical peut être prélevé immédiatement après l'accouchement. L'analyse du pH et des gaz sanguins sur cet échantillon permet de documenter l'équilibre acido-basique du nouveau-né à la naissance dans un cadre d'amélioration de la qualité, afin d'assurer la prise en charge adéquate du nouveau-né^{(51) (71)}. Idéalement, des échantillons de sang artériel et de sang veineux seront prélevés du cordon ombilical. L'analyse en laboratoire permet de vérifier que le prélèvement a bien été fait dans une des deux artères ombilicales et non dans la veine ombilicale. Si un seul échantillon peut être obtenu, il est préférable de prélever du sang artériel, qui renseigne mieux sur l'oxygénation du nouveau-né^{(51) (71)}.

Pour se renseigner davantage sur ces types de prélèvement, le lecteur peut se référer aux documents suivants :

- LA SOCIÉTÉ DES OBSTÉTRICIENS ET GYNÉCOLOGUES DU CANADA. *Fetal Health Surveillance: Antepartum and Intrapartum Consensus Guideline*. JOGC. Vol. 29, N° 9, supplément 4, septembre 2007⁽⁵¹⁾.
- AMERICAN COLLEGE OF OBSTETRICIANS AND GYNECOLOGISTS. *Umbilical Cord Blood Gas and Acid-Base Analysis*. ACOG Committee Opinion N° 348. Obstet Gynecol, 108:1319-1322, novembre 2006⁽⁷¹⁾.

11.2.5 Prélèvements à partir d'appareils d'assistance cardiorespiratoire

On peut également faire les prélèvements à partir d'appareils d'assistance respiratoire comme l'appareil d'oxygénation extracorporelle de type ECMO (*extra corporeal membrane oxygenation*). Ce type d'appareil est utilisé en cas de défaillance respiratoire ou cardiaque en attendant le rétablissement de la fonction défaillante ou une éventuelle transplantation. L'appareillage comprend une pompe, un oxygénateur (permettant l'enrichissement du sang en O₂ et la décarboxylation), une voie de drainage et une voie de réinjection⁽⁷²⁾.

Des prélèvements sont effectués régulièrement à divers points du circuit afin de surveiller la fonction respiratoire et de vérifier le bon fonctionnement de l'appareil⁽⁷³⁾.

11.3 Conservation des échantillons

Comme le prescrit la norme ISO 15189, le laboratoire assure l'intégrité des échantillons en vérifiant qu'ils ont été conservés à la température appropriée et avec les agents stabilisants recommandés⁽¹²⁾.

La durée de conservation correspond au temps écoulé entre le prélèvement et l'analyse, et elle inclut le temps de transport et de réception au laboratoire. Les exigences concernant la durée optimale, la durée maximale et les conditions de conservation des échantillons avant l'analyse sont établies par les spécialistes du laboratoire⁽⁷⁴⁾. Les critères de conformité des échantillons (voir le point 11.5.2) peuvent mener au rejet d'un échantillon si les exigences de conservation n'ont pas été respectées. Lorsqu'un échantillon est analysé alors que la durée maximale fixée est dépassée ou que les conditions de conservation n'ont pas été respectées, et que la qualité des résultats peut en souffrir, il faut en faire mention dans le rapport conformément aux procédures du laboratoire⁽¹²⁾.

Il faut également respecter les conditions de conservation après l'analyse afin de permettre une deuxième analyse des échantillons s'il y a lieu (voir le point 12.5)⁽⁸⁾.

11.3.1 Température de conservation et délai d'analyse

Afin de réduire au minimum les effets du métabolisme cellulaire, qui se poursuit dans l'échantillon après le prélèvement, il est recommandé de conserver les seringues de plastique à la température ambiante^{(6) (7) (8) (36) (75)} et d'effectuer les analyses dans un délai de 30 à 60 minutes après le prélèvement^{(6) (8) (76) (77)}. Le métabolisme cellulaire implique une consommation d'O₂, et une production de CO₂ et de lactate qui entraîne une baisse du pH. Toutefois, les variations de la PO₂, de la PCO₂, du pH, et des taux de calcium ionisé et de lactate ne sont pas cliniquement significatives si le délai de 30 à 60 minutes est respecté. Ces variations sont toutefois plus importantes si la concentration du sang en leucocytes, en plaquettes et en réticulocytes est élevée^{(6) (7) (8) (36) (75)}.

Bien que le froid permette de ralentir le métabolisme, la recommandation de conserver l'échantillon sur glace convenait davantage aux seringues de verre, qui ont été remplacées par les seringues de plastique pour des raisons de sécurité. En effet, le plastique a la propriété d'être partiellement perméable aux gaz^{(6) (8) (75)}, car les pores présents dans sa paroi sont plus gros et plus nombreux que dans celle du verre⁽⁷⁸⁾. L'échange gazeux est amplifié par le froid et est plus important pour l'O₂, étant donné que les pores, qui se dilatent au froid, sont assez grands pour laisser passer les molécules d'O₂, mais pas celles de CO₂⁽⁷⁹⁾.

L'amplification par le froid de cet échange privilégié est également due à l'augmentation de la solubilité de l'O₂ et celle de l'affinité de l'hémoglobine pour l'O₂ à basse température. Il est donc préférable de conserver les seringues de plastique à la température ambiante pour éviter une élévation artificielle de la PO₂ attribuable à la libération d'O₂ quand l'échantillon est chauffé à 37 °C dans l'analyseur^{(6) (75) (80)}. La PO₂ initiale et le taux de saturation de l'hémoglobine en O₂ influent toutefois sur la diffusion de l'O₂ à travers le plastique (voir le point 12.3.1).

Comme le taux de lactate augmente à raison de 0,01 mmol/L par minute à la température de la pièce, l'incidence clinique d'un excès de lactate est réduite au minimum en réalisant l'analyse moins de 30 min après le prélèvement^{(7) (8) (81) (82) (83)}. Toutefois il faut savoir qu'une augmentation de 0,3 mmol/L correspond à une augmentation d'environ 57 % lorsque le taux de lactate est normal (intervalle de référence : 0,5 à 1,6 mmol/L)^{(84) (85)}.

Si le délai de 30 à 60 minutes ne peut être respecté, il faudrait mettre l'échantillon immédiatement à une température de 4 °C⁽³⁶⁾. Par contre, la réfrigération est déconseillée si le dosage des électrolytes est demandé. En effet, la kaliémie est surévaluée dans un échantillon réfrigéré en raison de la diffusion du potassium intracellulaire vers le plasma. Le froid diminue l'activité de la pompe Na⁺/K⁺ATPase qui assure un taux de potassium plus élevé dans les érythrocytes, les leucocytes et les plaquettes, ce qui explique cette diffusion^{(6) (7) (8)}.

Bien que la carboxyhémoglobine soit stable pendant plusieurs jours à la température de la pièce, son dosage doit être fait dans les plus brefs délais en raison des impératifs cliniques^{(86) (87) (88) (89)}. Au contraire, la méthémoglobine n'est pas stable à la température de la pièce. Le prélèvement devrait être conservé à 4°C, mais non congelé puisque la congélation augmente la concentration de MetHb. Sa stabilité à 4°C n'est pas très bien documentée; certains auteurs rapportent une diminution significative de la concentration de MetHb après un délai de 4 h à 4°C⁽⁷⁾.

11.4 Transport des échantillons

Comme le prescrit la norme ISO 15189, le laboratoire s'assure que les échantillons sont transportés⁽¹²⁾ :

- dans un délai approprié, compte tenu de la nature de l'analyse demandée (voir le point 11.3 sur la conservation des échantillons);
- à la température recommandée;
- d'une manière qui garantit l'intégrité de l'échantillon;
- d'une manière qui garantit la sécurité du public et du personnel, conformément aux exigences établies.

Dès qu'un échantillon biologique doit être transporté par véhicule motorisé, son transport est assujéti au *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* (RTMD) de Transports Canada⁽⁹⁰⁾.

Pour se renseigner davantage sur les exigences relatives au transport des échantillons, le lecteur peut se référer au document de l'OPTMQ intitulé *Transport et conservation des échantillons dans le domaine de la biologie médicale*⁽⁹¹⁾ ainsi qu'au *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses* de Transports Canada⁽⁹⁰⁾.

11.4.1 Transport par système pneumatique automatisé

Chaque laboratoire doit valider son système pneumatique automatisé au moment de l'installation ou de toute modification du système puisque ce type de transport peut faire varier la PO_2 , surtout en présence de bulles d'air^{(8) (80) (92) (93) (94) (95) (96)}. Cet effet dépend toutefois de la configuration du système (vitesse, courbes) et de l'étanchéité des cartouches utilisées⁽⁹⁷⁾. Il faut également tenir compte de la possibilité de perdre des échantillons uniques, comme les échantillons de sang artériel, qui pourraient se coincer accidentellement dans le système automatisé. De tels incidents ne sont pas sans conséquence pour le patient, compte tenu des délais supplémentaires qu'ils entraînent et des risques liés à la réalisation d'un deuxième prélèvement artériel.

11.5 Réception des échantillons

Il faut vérifier l'intégrité et la traçabilité des échantillons sur réception au laboratoire^{(12) (74)}. Toute situation susceptible de nuire à la qualité de l'échantillon doit être consignée⁽¹²⁾.

11.5.1 Enregistrement de la réception des échantillons

Comme le prescrit la norme ISO 15189, tous les échantillons reçus sont inscrits dans un registre, sur une feuille de travail, dans un système informatique ou tout autre système comparable. La date et l'heure de réception et/ou d'enregistrement des échantillons dans le système informatique doivent être consignées. Si possible, l'identité de la personne recevant l'échantillon doit également être enregistrée^{(12) (15) (74)}.

11.5.2 Critères de conformité des échantillons

Comme le prescrit la norme ISO 15189, le personnel autorisé doit évaluer les échantillons reçus afin de s'assurer qu'ils satisfont aux critères de conformité pertinents en vue des examens prescrits⁽¹²⁾. Les critères de conformité d'un échantillon sont établis par les spécialistes de laboratoire⁽⁷⁴⁾. Il faut tout mettre en œuvre afin de préserver l'intégrité de l'échantillon et d'éviter de retarder l'analyse, sans perdre de vue les impératifs de sécurité du patient^{(15) (17)}.

Le rejet d'un échantillon est un geste sérieux qui n'est pas sans conséquence. Seuls les échantillons pouvant entraîner l'obtention de résultats erronés devraient être rejetés. Les échantillons de sang artériel et de sang de cordon sont considérés comme des échantillons uniques et ne devraient pas être rejetés. Le prescripteur devrait être consulté avant le rejet d'échantillons qui exigent une technique de prélèvement effractive comme le prélèvement par voie artérielle. Étant donné que les échantillons de sang destiné à la mesure du pH et des gaz sanguins sont recueillis dans des situations d'urgence ou d'épisodes de soins critiques, il importe de réaliser qu'ils sont représentatifs d'un état clinique précis et qu'un deuxième prélèvement ne pourra pas reproduire cet état.

Si l'identité du patient ne concorde pas sur l'ordonnance et sur l'échantillon, il faut chercher à savoir pourquoi en communiquant avec la personne responsable du prélèvement⁽⁷⁴⁾. Le rapport final doit faire état du problème et, le cas échéant, conseiller l'interprétation prudente des résultats^{(12) (15)}.

12.0 Exigences analytiques

12.1 Matériel de laboratoire

Comme le prescrit la norme ISO 15189, le laboratoire doit vérifier, durant l'installation et avant l'utilisation, que le matériel permet d'obtenir le résultat attendu et qu'il est conforme aux exigences relatives aux examens concernés⁽¹²⁾.

12.1.1 Instrumentation

L'instrumentation est un élément important du processus analytique. Comme le prescrit la norme ISO 15189, les instruments doivent être tenus dans un état de fonctionnement optimal et sécuritaire. Si un instrument se révèle défectueux, il doit être mis hors service et clairement identifié. L'instrument défectueux ne doit pas être utilisé tant qu'il n'a pas été réparé. Il doit répondre aux critères d'acceptabilité précisés avant sa remise en service⁽¹²⁾.

12.1.1.1 Entretien préventif

Le laboratoire établit un programme documenté d'entretien préventif de ses équipements qui respecte au minimum les instructions du fabricant⁽¹²⁾.

Les activités d'entretien préventif peuvent être effectuées en collaboration avec le Service de génie biomédical, le fournisseur ou toute autre personne habilitée. Le personnel doit suivre le programme d'entretien préventif en vigueur⁽¹⁷⁾.

12.1.2 Réactifs

Dans le présent guide, les réactifs comprennent tous les produits utilisés au cours d'une analyse (incluant les bonbonnes et les cartouches de réactifs).

Il faut vérifier tout nouveau réactif avant sa première utilisation afin d'assurer qu'il est conforme aux exigences de qualité, même si le lot reçu est déjà utilisé au laboratoire, car les conditions de transport et de conservation peuvent avoir altéré les réactifs d'un même lot⁽¹²⁾.

12.1.2.1 Gestion des réactifs

Le SIMDUT, la *Loi* et le *Règlement sur les produits dangereux*, la *Loi sur la santé et la sécurité du travail* et le *Règlement sur l'information concernant les produits contrôlés* énoncent plusieurs exigences concernant la manipulation des produits chimiques^{(16) (24) (98) (99)}.

La norme ISO 15189 ajoute des exigences relatives à la gestion des réactifs⁽¹²⁾ :

- Le laboratoire doit avoir un système de gestion des réactifs.
- Les modes d'emploi des réactifs, y compris ceux qui sont fournis par les fabricants, doivent être facilement accessibles.
- Il faut tenir un registre assurant la traçabilité des réactifs.
- Si des réactifs utilisés au laboratoire sont préparés sur place, les enregistrements doivent comprendre, outre les informations ci-dessus, le nom de la personne qui a préparé le réactif, ainsi que la date de préparation et la date de péremption (si elle est connue).

12.2 Analyses

12.2.1 Analyseurs de gaz sanguins

12.2.1.1 Paramètres mesurés

La plupart des analyseurs de gaz sanguins contiennent des électrodes qui captent un signal potentiométrique (une différence de potentiel) pour mesurer le pH et la PCO_2 , ou ampérométrique (une production de courant) pour mesurer la PO_2 , et doser le glucose et le lactate^{(7) (100)}. Certaines électrodes ampérométriques, comme celles qui servent à doser le glucose et le lactate, sont en fait des biosenseurs composés d'un élément biologique et d'un transducteur de signal physico-chimique ou optique⁽⁷⁾. Certains analyseurs permettent également d'évaluer l'hématocrite par mesure de la conductivité. Les illustrations et explications de l'annexe 3 décrivent les principes analytiques qui sous-tendent l'utilisation des électrodes et la mesure de la conductivité.

L'inconvénient des électrodes est leur manque de stabilité. La diminution de la réactivité des électrodes au fil du temps (également appelée *dérive*) s'explique notamment par l'accumulation de protéines sur les membranes des électrodes. Cette dérive est corrigée par de fréquents étalonnages programmés automatiquement dans la plupart des analyseurs de gaz sanguins ⁽⁷⁾ ⁽¹⁰¹⁾. Certains fabricants ont conçu des capteurs à mesure optique afin d'éliminer la nécessité d'étalonner fréquemment les électrodes ⁽⁷⁾ ⁽¹⁰¹⁾. Ces capteurs sont offerts sous forme de cartouches à usage unique dont la calibration est réalisée à la fabrication et validée juste avant l'analyse, avec des tampons de précision et un mélange gazeux ⁽⁷⁾ ⁽¹⁰¹⁾.

Les progrès technologiques des dernières années ont mené à la miniaturisation d'électrodes qui peuvent être montées sur divers types de supports. Le montage sur support a à son tour mené à la conception de cartouches contenant toutes les électrodes et solutions nécessaires à l'analyse. En remplaçant tout simplement les cartouches, il n'est plus nécessaire de changer périodiquement les membranes spécifiques quand trop de protéines s'y sont accumulées ⁽⁷⁾. De plus, l'entretien des analyseurs est simplifié puisqu'en cas de blocage de la tubulure ou d'inactivation de l'électrode, la cartouche est tout simplement changée. Les cartouches présentent toutefois l'inconvénient d'exiger une période d'équilibration après leur insertion dans l'analyseur pour permettre l'hydratation des électrodes et des capteurs ⁽¹⁰⁰⁾ ⁽¹⁰¹⁾.

Les instruments devenant de plus en plus petits, ils peuvent maintenant être utilisés tant au laboratoire qu'à proximité du patient.

La miniaturisation des électrodes a également mené à l'élaboration d'une méthode de dosage direct des électrolytes (mesure directe par électrode à membrane sélective) sans dilution de l'échantillon ⁽⁷⁾. Comme l'échantillon n'est pas dilué, l'activité ionique mesurée est directement proportionnelle à la concentration en ion mesuré, et n'est pas modifiée par une quantité élevée de protéines ou de lipides. En revanche, il faut diluer l'échantillon analysé avec des électrodes classiques sur multianalyseur pour que toute la surface de l'électrode soit couverte et que les protéines s'y accumulent le moins possible (mesure indirecte par électrode à membrane sélective) ⁽⁷⁾. À cause de cette dilution, l'activité mesurée dans la phase aqueuse de l'échantillon (eau plasmatique) et exprimée par le rapport avec le volume total (eau + protéines + lipides) est sous-évaluée en présence d'hyperlipémie ou d'hyperprotéïnémie (principe d'exclusion du solvant) ⁽⁷⁾.

Dans un tel cas, le taux de sodium par exemple, est artificiellement abaissé (pseudohyponatrémie). Le dosage des électrolytes avec l'analyseur des gaz sanguins offre donc l'avantage de chercher la cause d'une telle pseudohyponatrémie. Le dosage étant fait sur sang total, les résultats sont produits plus rapidement avec l'analyseur de gaz sanguins qu'avec un multianalyseur, puisqu'il n'est pas nécessaire de laisser coaguler et de centrifuger l'échantillon; le temps ainsi gagné peut compter beaucoup dans les situations où il faut suivre de près le traitement administré pour rétablir l'équilibre électrolytique. Toutefois, l'analyse du sang total ne permet pas de détecter l'hémolyse, qui peut causer une augmentation artificielle de la kaliémie.

12.2.1.2 Paramètres calculés

Outre les paramètres mesurés, l'analyseur de gaz sanguins peut calculer divers paramètres, dont le taux de bicarbonates, le CO_2 total, l'excès de base du sang, l'excès de base du liquide extracellulaire, le trou anionique, la teneur totale et le taux de saturation de l'hémoglobine en O_2 ⁽⁷⁾ ⁽¹⁰⁰⁾. L'annexe 4 présente les principes théoriques sous-tendant la mesure indirecte de ces paramètres.

L'analyseur de gaz sanguins calcule le taux de bicarbonates à partir de la valeur du pH et de la PCO_2 en appliquant l'équation de Henderson-Hasselbalch. Le taux calculé de bicarbonates combiné à la valeur de la PCO_2 sert ensuite à calculer le taux de CO_2 total ⁽⁶⁾ ⁽⁸⁾. Il est utile de comparer les valeurs de CO_2 total obtenues avec l'analyseur de gaz sanguins et le multianalyseur pour s'assurer de l'exactitude de la valeur calculée ⁽⁶⁾ ⁽⁷⁾.

La mesure de l'excès de base permet de cerner la composante métabolique du statut acido-basique ⁽⁸⁾. Son calcul repose sur l'équation de Van Slyke, qui exploite les valeurs des bicarbonates et de l'hémoglobine ⁽¹⁰²⁾. En théorie, ce paramètre renseigne mieux sur la quantité de bases présentes dans le sang que les bicarbonates seuls, puisqu'il rend compte de tous les systèmes tampons dans le sang ⁽⁸⁾. En pratique toutefois, l'utilité clinique de ce marqueur est controversée en raison de la confusion entre les termes *excès de base du sang total* [BE(B)] et *excès de base du liquide extracellulaire* (BEecf), de la méthode de calcul de l'excès de base et du fait que ce paramètre n'apporte pas plus d'information que le dosage des bicarbonates ⁽⁶⁾ ⁽¹⁰²⁾.

Les analyseurs qui mesurent les électrolytes peuvent calculer le trou anionique ⁽⁷⁾. Le trou anionique renseigne sur les anions du plasma qui ne sont pas mesurés, comme les protéines et les acides organiques ⁽⁷⁾ ⁽¹⁰⁾ ⁽⁸⁴⁾ ⁽¹⁰³⁾. Le trou anionique contribue au diagnostic différentiel des acidoses métaboliques.

La plupart des analyseurs mesurent la PO_2 et calculent la concentration totale et le taux de saturation de l'hémoglobine en O_2 à partir de nomogrammes et des valeurs du pH, de la PO_2 et de l'hémoglobine ⁽⁷⁾ ⁽¹⁰⁴⁾. Le calcul est fondé sur l'hypothèse que toute l'hémoglobine est libre de fixer l' O_2 , ce qui n'est pas le cas en présence d'intoxication au monoxyde de carbone ou de méthémoglobinémie marquée. Le sang contient alors deux formes d'hémoglobine incapables de transporter l' O_2 : la carboxyhémoglobine (COHb) et la méthémoglobine (MetHb). Par conséquent, la mesure du taux de saturation de l'hémoglobine en O_2 est faussée ⁽⁷⁾.

12.2.2 Oxymètre de pouls

La saturation de l'hémoglobine en O_2 peut être mesurée au chevet du patient avec un oxymètre de pouls (sphygmo-oxymètre). Le paramètre mesuré est alors désigné par l'abréviation SPO_2 ⁽⁶⁾. Cette technologie est plus utile au suivi de l'oxygénation qu'à des fins diagnostiques ⁽⁶⁾, et elle permet d'éviter de multiplier les prélèvements artériels. L'oxymètre de pouls est un dispositif habituellement placé au bout du doigt chez l'adulte ou sur la main ou le pied chez le nouveau-né. Il est pourvu d'une source lumineuse (diode) et d'un photodétecteur qui mesure la lumière transmise à travers le doigt, c'est-à-dire celle qui n'a pas été absorbée par l'hémoglobine ⁽⁶⁾ ⁽¹⁰⁵⁾.

La plupart des oxymètres émettent de la lumière à deux longueurs d'onde différente, en général 660 nm (rouge) et 940 nm (infrarouge), dont l'absorption par l'oxyhémoglobine (O_2Hb) et la désoxyhémoglobine (HHb) est bien caractérisée ⁽⁶⁾ ⁽⁷⁾ ⁽¹⁰⁵⁾.

La différence d'absorbance entre les phases statique et pulsatile permet de quantifier l' O_2Hb et l'HHb artérielles, puisque le volume de sang artériel dans les tissus varie avec le pouls ⁽⁶⁾ ⁽¹⁰³⁾ ⁽¹⁰⁵⁾. Le ratio d'absorbance des deux longueurs d'onde pendant les phases statique et pulsatile permet ainsi de calculer le taux de saturation artérielle ⁽⁶⁾ ⁽¹⁰⁵⁾. La SPO_2 correspond au pourcentage d' O_2Hb par rapport au total des formes d'hémoglobine capables de transporter l' O_2 ($[O_2Hb/O_2Hb + HHb]*100$) ⁽⁸⁾ ⁽¹⁰⁶⁾. Certains oxymètres plus récents, qui mesurent l'absorbance à plus de deux longueurs d'onde, permettent de doser la COHB et la MetHb ⁽⁸⁾ ⁽¹⁰⁵⁾. La saturation en O_2 calculée correspond alors au pourcentage d'oxyhémoglobine par rapport au total des formes d'hémoglobine mesurées.

Il existe une bonne corrélation entre la SPO_2 et le taux de saturation mesuré par co-oxymétrie, particulièrement quand la saturation est normale ou élevée ^{(6) (106)}. L'oxymétrie de pouls présente toutefois des limites qu'il est important de connaître pour comprendre les différences entre les valeurs calculées sur analyseur de gaz sanguins ou mesurées par co-oxymétrie. Par exemple, la mesure de la SPO_2 peut être inexacte dans les situations empêchant la détection fiable du pouls, comme une mauvaise circulation ou les mouvements du patient ^{(6) (103) (106)}. Les fabricants ont donc conçu des alarmes ou des algorithmes de correction du signal ^{(6) (107)}. Par ailleurs, la présence de substances dont le spectre d'absorption est proche de celui de l' O_2Hb et de l' HHb peut être problématique. Les longueurs d'onde émises par les oxymètres plus récents permettent d'atténuer l'interférence due à la bilirubine ^{(103) (105) (106)}. Par contre, le bleu de méthylène injecté pour traiter la cyanose due à une méthémoglobinémie élevée absorbe la lumière rouge (660 nm) de la même façon que l' HHb , de sorte que sa présence dans le sang fait baisser artificiellement la SPO_2 ^{(103) (105) (106)}. La $COHb$ et la $MetHb$ nuisent également à la mesure de la SPO_2 ainsi qu'au calcul du taux de saturation fait par l'analyseur des gaz sanguins parce que leur spectre d'absorption se compare à ceux de l' O_2Hb et de l' HHb ^{(104) (106)}. Comme la $COHb$ est confondue avec l' O_2Hb , la saturation est surévaluée. En fait, la saturation semble à l'intérieur des valeurs normales alors qu'elle ne l'est pas ^{(6) (103) (104) (105)}. La $MetHb$ absorbe la lumière rouge (660 nm) et infrarouge (940 nm) de façon presque égale. Son effet sur la SPO_2 est donc plus difficile à prévoir ^{(104) (105)}. Enfin, malgré une plus grande affinité pour l' O_2 qui ferait croire à l'inexactitude de la mesure de la saturation, l' Hb fœtale est sans effet sur la SPO_2 ^{(6) (105)}.

12.2.3 Co-oxymètre

La co-oxymétrie est la méthode de référence pour mesurer la saturation de l'hémoglobine en O_2 . Cette technique effectue une mesure spectrophotométrique à plusieurs longueurs d'onde ce qui permet d'identifier les cinq formes d'hémoglobine suivantes : O_2Hb , HHb , $COHb$, $MetHb$ et SHb ^{(6) (7) (101)}.

La saturation en O_2 calculée par co-oxymétrie correspond au pourcentage d'oxyhémoglobine par rapport au total de toutes les formes d'hémoglobine mesurées ⁽⁶⁾. Le dosage de toutes les formes d'hémoglobine permet donc d'éviter les erreurs dues à la présence de $COHb$ ou de $MetHb$ quand la saturation en O_2 est calculée avec les analyseurs de gaz sanguins et la plupart des oxymètres de pouls ^{(7) (104)}.

Les co-oxymètres ne sont toutefois pas à l'abri des interférences. Ainsi, toute situation qui favorise la dispersion de la lumière, comme l'hyperlipidémie ou l'hémolyse incomplète de l'échantillon, influe sur la quantification des diverses formes d'Hb^{(8) (36)}. L'hémolyse de l'échantillon est donc nécessaire puisque la présence de cellules dans le sang cause la dispersion de la lumière⁽⁶⁾.

La présence d'autres substances dont le spectre d'absorption est proche de celui des diverses formes d'Hb nuit également à la quantification de l'hémoglobine. Par exemple, l'hydroxycobalamine, un précurseur de la vitamine B₁₂ injecté pour traiter l'intoxication par le cyanure secondaire à l'inhalation de fumée, fausse le dosage de la COHb. Cette situation est préoccupante parce que le sang contient souvent de la COHb en présence d'intoxication par le cyanure^{(108) (109)}. Il serait donc souhaitable de doser la COHb avant d'injecter l'hydroxycobalamine. Le taux de COHb est surévalué en présence d'Hb fœtale, parce que ces deux formes d'Hb ont un spectre d'absorption semblable. L'Hb fœtale ne nuit pas à la mesure de la SPO₂, mais elle entraîne une sous-évaluation de la saturation mesurée par co-oxymétrie en augmentant artificiellement le taux de COHb inclus dans le dénominateur (l'ensemble des formes d'Hb)^{(6) (105)}. Finalement, le bleu de méthylène modifie la mesure de la saturation par co-oxymétrie comme il le fait dans le cas de la SPO₂, parce que ce colorant injecté pour traiter la cyanose due à une méthémoglobinémie élevée absorbe la lumière rouge (660 nm) de la même façon que l'HHb, de sorte que sa présence dans le sang fait baisser artificiellement la saturation^{(103) (105) (106)}.

12.3 Facteurs pouvant nuire à la qualité des résultats des analyses

Les principaux facteurs en cause sont présentés ci-dessous.

12.3.1 Présence d'air

L'analyse des gaz sanguins devant se faire dans des conditions d'anaérobie strictes, la présence d'air dans l'échantillon ou dans l'analyseur constitue un problème majeur.

La pression partielle d'O₂ dans l'air ambiant (environ 150 mmHg) est plus élevée que la PO₂ artérielle normale, alors que la pression partielle de CO₂ de l'air ambiant est pratiquement nulle. Chez un patient respirant l'air ambiant, le contact entre l'échantillon sanguin et l'air se traduira par l'augmentation de la PO₂ et la baisse de la PCO₂^{(6) (7) (8)}. La diminution de la PCO₂ entraînera à son tour une élévation du pH^{(7) (39) (110) (111)}, qui modifiera la concentration en calcium ionisé (voir l'annexe 4).

Comme l'O₂ diffuse suivant son gradient de concentration, l'air présent dans un échantillon dont la PO₂ initiale est près de 150 mmHg pourrait n'avoir presque aucun effet, tandis que l'on observerait une diminution de la PO₂ chez le patient dont la PO₂ initiale est élevée (p. ex., patient sous oxygénothérapie)^{(6) (80)}.

L'effet de l'air sur la PO₂ dépend également de la saturation de l'hémoglobine en O₂. En effet, bien que la PO₂ soit la mesure de l'oxygène dissous et non de la fraction d'O₂ liée à l'hémoglobine, l'Hb peut compenser un apport d'oxygène exogène. Ainsi, si la fraction d'Hb libre (pouvant fixer l'O₂) est élevée, un apport exogène d'O₂ aura peu d'effet sur la PO₂. Au contraire, si la quantité d'Hb libre est faible, par exemple chez un patient dont la PO₂ initiale dépasse 100 mmHg ou dont l'hématocrite est bas, une plus grande quantité d'O₂ passera de l'air ambiant à l'échantillon, et la PO₂ augmentera en conséquence⁽⁸⁰⁾.

La présence d'air dans l'échantillon aura un plus grand effet encore si les bulles d'air sont agitées dans l'échantillon et il sera proportionnel à la durée de l'exposition à l'air^{(6) (7) (112) (113)}. Il faut donc éviter de contaminer l'échantillon avec de l'air (pendant les prélèvements capillaires et veineux) ou réduire la contamination au minimum en expulsant les bulles le plus rapidement possible après le prélèvement fait au moyen d'une seringue, avant de mélanger le sang avec l'anticoagulant^{(3) (7) (8)}.

La présence visible de mousse à la surface du sang indique qu'il y a plusieurs petites bulles d'air dans le tube. Il serait préférable de recueillir un nouvel échantillon dans un tel cas^{(6) (113)}.

De l'air entre dans la seringue héparinée quand l'échantillon est aspiré par l'analyseur. Il faut prendre soin d'éliminer immédiatement cet air afin de préserver l'intégrité de l'échantillon susceptible d'être analysé une deuxième fois⁽⁸⁾.

Enfin, l'air peut entrer directement dans l'analyseur au moment de l'aspiration d'un échantillon qui contient déjà de l'air ou si le bout de la sonde d'aspiration n'est pas bien immergé pendant l'aspiration. Dans ce cas, les bulles d'air pourraient nuire au bon fonctionnement des électrodes en collant à leur surface et altérer les résultats des analyses^{(6) (7)}.

12.3.2 Mélange inadéquat du sang

Immédiatement après le prélèvement (et après avoir vérifié l'absence de bulles d'air), il faut mélanger le sang avec l'anticoagulant afin d'éviter la coagulation et la formation de microcaillots qui peuvent nuire à la mesure des analytes⁽⁸⁾. Pour mélanger le sang recueilli dans un tube sous vide, retourner délicatement le tube de 8 à 10 fois (ou autant de fois que le fabricant le recommande)^{(114) (115)}. Si le prélèvement est effectué à l'aide d'une seringue, l'absence d'espace vide empêche de le mélanger efficacement en retournant la seringue et il faut faire rouler celle-ci entre les paumes des mains. Si le sang est recueilli dans des tubes capillaires, une limaille métallique peut y être ajoutée juste avant le prélèvement, selon les instructions du fabricant. Après avoir scellé le tube (avec un embout de plastique ou un produit commercial de type pâte à modeler), un aimant est déplacé délicatement dans un mouvement de va-et-vient sur toute la longueur du tube plusieurs fois pour bien mélanger le sang à l'anticoagulant⁽⁸⁾.

Une homogénéisation insuffisante altèrera la mesure de tous les paramètres, en particulier l'hématocrite. Le personnel effectuant l'analyse doit donc bien mélanger le sang juste avant d'effectuer l'analyse pour que les éléments cellulaires se dispersent uniformément dans le plasma⁽⁸⁾.

12.3.3 Additifs

L'échantillon risque d'être dilué s'il a été recueilli dans un tube hépariné avec de l'héparine liquide et que le ratio sang : anticoagulant n'est pas respecté⁽⁸⁾.

Les analytes à doser peuvent également être dilués si l'échantillon a été contaminé par l'héparine servant à rincer le cathéter. L'héparine liquide est un acide faible équilibré avec de l'air ambiant. Son principal effet sera la baisse de la PCO_2 parce que de l' O_2 et le CO_2 ont des coefficients de solubilité différents. La diminution de la PCO_2 cause généralement l'élévation du pH, mais la contamination par l'héparine liquide entraîne plutôt une baisse modeste du pH à cause de l'acidité de cet anticoagulant⁽⁶⁾. L'obtention de résultats qui ne semblent pas plausibles du point de vue physiologique est donc l'indice d'une possible contamination par de l'héparine que l'on n'aurait pas éliminée avec un tube de rejet⁽⁷⁾.

Les tubulures artérielles enduites de chlorure de benzalkonium ou d'héparinate de benzalkonium peuvent fausser la mesure de la PO_2 et du taux de calcium ionisé par certains analyseurs^{(8) (100)}. Les additifs ajoutés dans certaines seringues pour faciliter le prélèvement peuvent également nuire aux mesures faites par co-oxymétrie et au fonctionnement des électrodes^{(8) (116)}. Comme indiqué au point 12.1, chaque laboratoire doit vérifier que tout nouveau matériel, notamment les seringues, permet d'obtenir le résultat attendu et qu'il est conforme aux exigences de l'analyse visée⁽¹²⁾.

12.3.4 Caillots

Si l'échantillon n'a pas été bien mélangé, des caillots peuvent se former⁽³⁶⁾. Aucun caillot visible ne doit pénétrer dans l'instrument sous peine de blocage⁽¹¹⁷⁾. Des filtres peuvent être utilisés pour éviter l'aspiration des caillots⁽⁴⁰⁾. La présence de microcaillots dans l'échantillon aspiré demeure tout de même possible et pourrait fausser les résultats. En effet, l'échantillon qui en contient n'est pas homogène et les microcaillots pourraient nuire à la diffusion des analytes à travers les membranes ou au contact entre les analytes et les électrodes^{(7) (45) (117)}. C'est pour cette raison que certains analyseurs ont des mécanismes de détection des microcaillots.

12.3.5 Agglutinines froides

La présence d'agglutinines froides peut compliquer l'aspiration du sang dans l'instrument et causer un blocage. Les échantillons qui en contiennent ne devraient pas être mis sur glace⁽¹¹⁸⁾. Le réchauffement de ces échantillons pose problème, car il altère les analytes à mesurer. Dans un tel cas, la réalisation de l'analyse au chevet du patient demeure la meilleure solution.

12.3.6 Correction pour la température

La PO_2 , la PCO_2 et le pH dépendent de la température. Comme ils sont mesurés à une température de 37 °C, certains cliniciens estiment qu'ils ne sont pas représentatifs des conditions réelles chez le patient dont la température corporelle est très élevée ou très basse. Il est possible de corriger ces paramètres en tenant compte de la température réelle du patient au moment du prélèvement de sang⁽³⁶⁾. Si une telle correction est effectuée, il serait souhaitable de noter le résultat original avec le résultat corrigé sur le rapport. Toutefois, ce type de correction est controversé^{(6) (8) (119) (120)}.

12.4 Programme de contrôle de la qualité

C'est grâce aux mesures de contrôle de qualité interne et externe que les erreurs analytiques peuvent être détectées. Le spécialiste du laboratoire de biochimie est responsable de l'application des mesures de contrôle interne ainsi que de la participation du laboratoire aux mesures de contrôle externe^{(30) (121)}.

12.4.1 Contrôle interne de la qualité

Le contrôle interne de la qualité est une étape importante du processus analytique qui permet de cerner et de corriger rapidement les problèmes. Ce type de contrôle permet le suivi quotidien de la précision des analyses^{(12) (121)}.

Les contrôles utilisés pour les analyses de gaz sanguins sont des solutions tamponnées, pré-équilibrées à des tensions de gaz données et scellées dans des ampoules⁽⁸⁾. Les gaz sont en équilibre entre les phases liquide et gazeuse dans l'ampoule, et cet équilibre dépend de la température ambiante. Avant d'ouvrir l'ampoule, il faut donc s'assurer que l'ampoule est à la température ambiante et il faut l'agiter vigoureusement pour assurer la dissolution optimale des gaz dans la phase liquide⁽⁸⁾. Les variations de température d'entreposage des solutions de contrôle influent sur la dissolution des gaz et tout particulièrement sur la PO_2 , parce que la capacité de tamponner l'oxygène est beaucoup moins grande dans ces solutions exemptes d'hémoglobine que dans le sang total⁽⁸⁾.

Bien que les solutions de contrôle commerciales soient très stables, elles n'ont pas les mêmes propriétés que le sang total. Ainsi, leur coefficient de conductivité thermique étant assez bas, les solutions de contrôle ne permettent pas toujours de mettre en évidence des problèmes liés à la température dans les analyseurs⁽⁷⁾ ⁽⁸⁾. Par ailleurs, comme elles ne contiennent pas de protéines, elles ne peuvent reproduire les problèmes dus à la présence de microcaillots. L'absence de protéines explique également pourquoi les électrodes des analyseurs réagissent différemment aux solutions de contrôle par rapport au sang total. Ces solutions ne reproduisent donc que partiellement les conditions présentes dans les échantillons sanguins.

La fréquence d'utilisation des solutions de contrôle est également un enjeu important de l'élaboration du programme de contrôle de la qualité. Les solutions de contrôle sont généralement analysées au début du quart de travail. Toutefois, l'analyse de ces solutions doit être réalisée plusieurs fois pendant le quart de travail à cause des nombreux étalonnages exigés par l'instabilité des électrodes. C'est pourquoi bien des fabricants ont conçu des systèmes automatisés d'étalonnage et de contrôle de la qualité faisant appel à des solutions internes pour conditionner les membranes, étalonner les électrodes et en vérifier leur efficacité, notamment en détectant et en corrigeant au besoin une éventuelle dérive⁽¹⁰⁰⁾ ⁽¹²²⁾ et en réalisant des analyses de contrôle de la qualité⁽¹²³⁾. Ces solutions sont analysées plusieurs fois pendant le quart de travail, et l'évaluation des résultats obtenus est fondée sur des critères CLIA (*Clinical Laboratory Improvement Amendments*) préprogrammés⁽⁷⁾ ⁽¹²²⁾. Il est également possible de détecter les microcaillots⁽¹¹⁷⁾ ⁽¹²²⁾, les bulles d'air⁽¹²³⁾ ou les variations de la température dans certains analyseurs grâce à une série de mesures et de calculs effectués après l'analyse de chaque échantillon. Si le processus intégré de contrôle révèle un problème (microcaillot, interférence ou défectuosité d'une électrode) que les rinçages et les étalonnages automatiques ne peuvent pas corriger, il déclenche la désactivation des électrodes touchées⁽⁸⁾ ⁽¹¹⁷⁾ ⁽¹²²⁾ ⁽¹²³⁾.

Il demeure intéressant d'utiliser des solutions de contrôles non intégrées à l'analyseur et provenant d'un autre fabricant que celui de l'analyseur pour valider l'étape de l'aspiration et détecter les problèmes analytiques éventuellement dus à la matrice de l'échantillon. Toutefois, les processus intégrés d'étalonnage et de contrôle de qualité facilitent la documentation des mesures prises en présence d'écart d'ordre analytique^{(8) (122)}. Ceci est particulièrement un atout dans un cadre où les utilisateurs pourraient être moins expérimentés que le personnel de laboratoire en matière de contrôle de qualité.

12.4.2 Contrôle externe de la qualité

Le rôle principal du programme de contrôle externe de la qualité est la détection des erreurs systématiques (biais). Le programme permet de vérifier l'exactitude de la méthode d'analyse en faisant appel à des échantillons dont le laboratoire ne connaît pas les valeurs. Il permet également de comparer objectivement le rendement du laboratoire à celui d'autres laboratoires^{(12) (121)}.

12.4.3 Comparaison parallèle

La comparaison entre les résultats de l'analyse d'échantillons obtenus avec deux appareils ou techniques de dosage différents (communément appelé corrélation) peut faire partie du programme de contrôle de la qualité⁽³⁶⁾.

Pour se renseigner davantage sur le contrôle de la qualité, le lecteur consulter les documents suivants :

- ISO, ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *Laboratoires de biologie médicale – Exigences concernant la qualité et la compétence*, ISO 15189⁽¹²⁾;
- ORDRE PROFESSIONNEL DES TECHNOLOGISTES MÉDICAUX DU QUÉBEC. *Guide de gestion de la qualité dans les laboratoires de biologie médicale*⁽¹⁵⁾.

12.5 Répétition des analyses

La reprise d'analyses doit respecter les politiques et procédures du laboratoire. Juste avant de refaire une analyse, il faut prendre soin de bien mélanger le sang à nouveau pour que les éléments cellulaires se dispersent uniformément dans le plasma⁽⁸⁾. Certains analyseurs mesurent l'hématocrite; cette mesure peut servir à confirmer l'homogénéité de l'échantillon.

Il faut conserver l'échantillon à la même température que durant son transport vers le laboratoire jusqu'à ce que l'analyse soit répétée et effectuer l'analyse le plus rapidement possible pour préserver l'intégrité de l'échantillon.

13.0 Exigences postanalytiques

13.1 Validation des résultats

Le type d'échantillon prélevé (artériel, capillaire, veineux, etc.) est un facteur dont il faut tenir compte à la validation des résultats et qui devrait être mentionné dans le rapport^{(8) (36)}. Il importe également de savoir si un paramètre est mesuré ou calculé. Dans le cas de paramètres calculés, il faut connaître l'incidence des autres paramètres mesurés sur ceux-ci.

À titre indicatif, le tableau 2 ci-dessous présente les intervalles de référence de plusieurs paramètres selon le type d'échantillon. Chaque laboratoire doit établir ses propres intervalles de référence afin de refléter la clientèle qu'il dessert.

Tableau 2. Intervalles de référence selon le type d'échantillon

Paramètre	Sang périphérique artériel ⁽⁶⁸⁾ (ou capillaire)	Sang périphérique veineux ⁽⁶⁸⁾	Sang de cordon artériel ⁽⁵¹⁾	Sang de cordon veineux ⁽⁵¹⁾
PO_2	80 à 100 mmHg Voir la note	30 à 40 mmHg	S.O.	S.O.
SO_2	> 95 %	75 %	S.O.	S.O.
pH	7,35 à 7,45	7,31 à 7,41	7,20 à 7,34	7,28 à 7,40
PCO_2	35 à 45 mmHg	41 à 51 mmHg	39,2 à 61,4 mmHg	32,8 à 48,6 mmHg
HCO_3^-	22 à 28 mmol/L	23 à 29 mmol/L	18,4 à 25,6 mmol/L	18,9 à 23,9 mmol/L

S.O. : sans objet

Note : La PO_2 du nouveau-né est plus basse à cause de la présence d'hémoglobine F (HBF), qui a une plus grande affinité pour l'oxygène⁽⁷⁾.

13.2 Répétition des analyses

Si le volume de sang le permet, l'analyse de sang devrait être répétée, de préférence sur un autre appareil, quand le résultat de la première analyse remplit une des conditions suivantes :

- résultat critique, indiquant que la vie du patient est en danger;
- résultat incompatible avec les renseignements cliniques disponibles⁽⁸⁾;
- variation brusque et inattendue de la valeur d'un paramètre compte tenu de l'historique des résultats⁽⁸⁾;
- indice de contamination probable par un soluté;
- valeurs du pH, des bicarbonates et de la PCO_2 qui ne concordent pas avec le même état clinique sur le plan biologique;

Exemples :

-Résultats inhabituels en cas d'acidose

PCO_2 ↓ et HCO_3^- normal ou ↑

PCO_2 normale et HCO_3^- normal ou ↑

-Résultats inhabituels en cas d'alcalose :

PCO_2 ↑ et HCO_3^- normal ou ↓

PCO_2 normale et HCO_3^- normal ou ↓

De tels résultats peuvent sembler inhabituels, mais plusieurs facteurs (tableau clinique, traitement en cours, etc.) influenceront sur leur interprétation par le clinicien.

Si les résultats inhabituels persistent, l'intégrité de l'échantillon devrait être mise en doute et un commentaire devrait être ajouté dans le rapport.

13.3 Temps de réponse et gestion des résultats critiques

L'analyse des gaz sanguins étant normalement effectuée chez des patients dans un état clinique instable, il faut en communiquer le résultat le plus rapidement possible. Cette communication doit respecter la procédure établie au laboratoire, qui traite notamment de la transmission de résultats critiques.

Le laboratoire s'assure que les analyses sont réalisées dans un délai acceptable selon les normes établies par le ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec⁽¹²⁴⁾.

13.4 Conservation des rapports d'analyse des gaz sanguins

Le laboratoire conserve les rapports d'analyse des gaz sanguins conformément à la réglementation en vigueur ainsi qu'au calendrier de conservation de l'établissement.

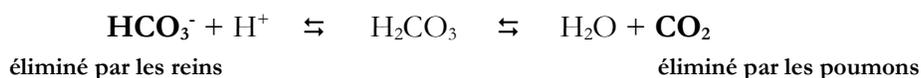
Comme le prescrit la norme ISO 15189, les rapports doivent être conservés dans un endroit accessible seulement au personnel autorisé⁽¹²⁾.

Annexe 1

Régulation de l'équilibre acido-basique

Le CO₂ est un produit du métabolisme cellulaire extrait des tissus et transporté dans le sang principalement sous forme de bicarbonate (HCO₃⁻) et d'hydrogène (H⁺). Le sang veineux contient donc plus d'ions H⁺ et a un pH plus bas que le sang artériel, qui contient moins de CO₂, donc moins d'ions H⁺. Le corps élimine l'acidité (ions H⁺) pour assurer l'équilibre acido-basique grâce à des systèmes tampons mettant en jeu les poumons et les reins.

Le système tampon bicarbonate présenté ci-dessous est le plus important système de la régulation du pH sanguin :



Le CO₂ total est la somme du CO₂ dissous et des autres formes de CO₂ issues de la réaction entre le CO₂ et l'eau, étant donné que la majorité du CO₂ est sous forme de bicarbonate ⁽⁷⁾.

L'équation de Henderson-Hasselbalch qui sert à calculer le pH d'un système tampon illustre bien l'interdépendance du pH et du CO₂. Cette équation permet de calculer la concentration totale de l'échantillon en CO₂ et en HCO₃⁻ à partir de la seule mesure du pH et de la pression partielle de dioxyde de carbone (PCO₂), qui est l'indicateur du CO₂ dissous ⁽⁷⁾.

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{pKa} + \log [\text{base}]/[\text{acide}] \\ \text{pH} &= \text{pKa} + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{\alpha \text{PCO}_2} \end{aligned} \quad \text{où } \alpha \text{ est le coefficient de solubilité du CO}_2$$

Cette équation illustre bien cette interdépendance : le pH augmente à mesure que le taux d'HCO₃⁻ augmente ou que la PCO₂ diminue, et il diminue à mesure que le taux d'HCO₃⁻ diminue ou que la PCO₂ augmente ⁽⁶⁾. Le principe du système tampon bicarbonate repose sur cette réciprocité.

Rôle des gaz sanguins dans l'évaluation de la fonction respiratoire

La mesure des taux d'O₂ et de CO₂ sanguins est essentielle à l'évaluation de la fonction respiratoire, qui constitue la seule indication clinique du prélèvement par voie artérielle ⁽⁷⁾. La concentration totale du sang en oxygène (tO₂) est égale à la somme de l'O₂ dissous et de l'O₂ lié à l'hémoglobine, qui est de loin la fraction d'O₂ la plus importante étant donné le faible coefficient de solubilité de l'O₂ ^{(6) (7)}. La quantité d'O₂ transporté par le sang artériel vers les tissus dépend de la qualité de la ventilation pulmonaire, des échanges gazeux, du débit cardiaque, de la quantité totale d'hémoglobine et de sa saturation, qui dépend de son affinité pour l'O₂ ^{(6) (7)}.

Mécanismes de compensation

Le tableau 3 résume la théorie sur les déséquilibres acido-basiques ainsi que les mécanismes de compensation présentés ci-dessous.

a) Compensation par les poumons : Elle s'effectue en quelques minutes à peine. Elle est rapide, mais éphémère en comparaison avec les mécanismes rénaux.

En présence d'acidose métabolique, le corps cherche à se débarrasser de l'excès d'ions H^+ en intensifiant la ventilation pour que les poumons évacuent plus de CO_2 (produit du système tampon bicarbonate). Il s'agit donc d'un mécanisme de compensation respiratoire visant à corriger l'acidose métabolique.

Par ailleurs, en présence d'alcalose métabolique, le corps cherche à conserver les ions H^+ en diminuant la ventilation pour que les poumons évacuent moins de CO_2 (produit du système tampon bicarbonate).

b) Compensation par les reins : Les reins jouent un double rôle dans la régulation du pH sanguin, car ils assurent la régulation des taux des ions H^+ et HCO_3^- ainsi que l'excrétion des acides non volatils (fixes). Toutefois, les reins peuvent mettre jusqu'à 48 heures pour rétablir l'équilibre acido-basique.

-Régulation des taux des ions H^+ et HCO_3^- : Les reins préservent l'équilibre acido-basique en excréant ou en réabsorbant des ions H^+ et en modifiant la quantité d'ions HCO_3^- réabsorbés. Ils assurent plusieurs fonctions, dont la réabsorption de la totalité des ions bicarbonates filtrés par le glomérule, la production d'ammoniac (NH_3), qui sert de système tampon urinaire, l'élimination des ions H^+ produits par le métabolisme et la régénération des bicarbonates consommés, qui est indissociable de la sécrétion des ions H^+ .

En présence d'acidose respiratoire, comme les poumons ne peuvent pas éliminer l'excès d'ions H^+ , les reins compensent en excréant plus d'ions H^+ et en réabsorbant plus d'ions HCO_3^- .

En présence d'alcalose respiratoire, le corps cherche à conserver les ions H^+ en réduisant l'excrétion d'ions H^+ et la réabsorption d'ions HCO_3^- par les reins.

-Excrétion des acides non volatils : Le corps produit normalement des acides non volatils (comme les corps cétoniques et l'acide lactique) qu'il ne peut pas éliminer par voie pulmonaire. Les reins doivent éliminer ces acides non volatils afin d'éviter leur accumulation dans le sang et la baisse du pH qui s'ensuivrait.

Tableau 3. Déséquilibres acido-basiques

Déséquilibre	Description	Valeurs avant compensation (théoriques seulement)			Mécanisme de compensation	Valeurs après compensation* (observées en laboratoire)			Quelques causes possibles
		pH	PCO ₂	HCO ₃ ⁻		pH	PCO ₂	HCO ₃ ⁻	
Acidose respiratoire	Les poumons ne peuvent pas éliminer le CO ₂	↓	↑	normal	Rénal : Hausse de l'excrétion d'ions H ⁺ Hausse de la réabsorption d'ions HCO ₃ ⁻	↓	↑	↑	-Maladies respiratoires (maladies pulmonaires obstructives chroniques) -Emploi d'opiacés -Insuffisance cardiaque
Acidose métabolique	Présence d'acides non volatils	↓	normale	↓	Pulmonaire : Hyperventilation	↓	↓	↓	-Acidocétose diabétique -Diarrhée sévère -Intoxication (p. ex. éthylène glycol, méthanol, salicylates) - Choc septique -Insuffisance rénale chronique sévère
Alcalose respiratoire	Les poumons éliminent trop de CO ₂	↑	↓	normal	Rénal Baisse de l'excrétion d'ions H ⁺ Baisse de la réabsorption d'ions HCO ₃ ⁻	↑	↓	↓	-Crise de panique avec hyperventilation -Intoxication par les salicylates en phase aigüe (suivie d'acidose métabolique avec trou anionique élevé)
Alcalose métabolique	Présence de substances alcalines	↑	normale	↑	Poumons : Hypoventilation	↑	↑	↑	-Prise de diurétiques -Abus d'antiacides -Vomissements (perte d'HCl)

Légende :

↑ Hausse	↑ légère hausse, tendant vers la normale	↓ Baisse	↓ légère baisse, tendant vers la normale
----------	--	----------	--

* Comme le mécanisme de compensation précède souvent le prélèvement sanguin, les valeurs observées le plus souvent sont postérieures à la compensation. Le mécanisme de compensation n'entraîne pas la normalisation du pH; si le pH se situe dans l'intervalle de référence, cela peut être le signe d'un déséquilibre acido-basique mixte.

Annexe 2

Sommaire des types de prélèvement

Les types de prélèvement effectués, leurs principaux usages cliniques, le type de dispositif utilisé et les précautions à prendre pour éviter la contamination avec l'air sont résumés ci-dessous.

Type de prélèvement (voie)	Paramètres mesurés	Usages cliniques	Dispositifs	Précautions pour éviter la contamination avec l'air
Artériel	PO_2 PCO_2 pH HCO_3^-	Évaluation de : -l'oxygénation -la ventilation -l'équilibre acido-basique	Seringue héparinée pour prélever directement dans une artère	Expulser immédiatement l'air de la seringue
			Seringue héparinée pour prélever dans une canule artérielle	Expulser immédiatement l'air de la seringue après avoir retiré le volume de rejet
Capillaire	PO_2 (certaines indications) PCO_2 pH HCO_3^-	Évaluation de: -l'équilibre acido-basique -l'oxygénation (certaines indications)	Tube capillaire hépariné	Éviter l'introduction d'air pendant la collecte
Veineux mêlé	PO_2 PCO_2 pH HCO_3^-	Comparaison avec les valeurs du sang artériel	Seringue héparinée pour prélever dans un cathéter mis en place dans l'artère pulmonaire	Expulser immédiatement l'air de la seringue après avoir retiré le volume de rejet
Veineux central	PCO_2 pH HCO_3^-	Évaluation de l'équilibre acido-basique	Seringue héparinée pour prélever dans une canule insérée dans la veine sous-clavière	Éliminer immédiatement l'air de la seringue après avoir retiré le volume de rejet
Veineux périphérique	PCO_2 pH (statut acido-basique) HCO_3^-	Évaluation de l'équilibre acido-basique	Seringue héparinée	Éliminer immédiatement l'air de la seringue
		S.O.	Tube hépariné sous vide	Remplir à la capacité optimale. Si 1 ^{er} tube + papillon, utiliser un tube de rejet
Sang de cordon	PO_2 PCO_2 pH HCO_3^-	Évaluation de : -l'oxygénation -l'équilibre acido-basique	Seringue héparinée	Éliminer immédiatement l'air de la seringue

Annexe 3

Principes gouvernant les mesures effectuées sur analyseur des gaz sanguins

Dans la plupart des analyseurs des gaz sanguins, la mesure du pH, de la PO_2 , de la PCO_2 , du taux de calcium ionisé et des taux des électrolytes est assurée par différentes combinaisons d'électrodes. Le dosage du glucose et du lactate est quant à lui réalisé par des biosenseurs très souvent constitués d'un système enzymatique combiné à une électrode de mesure. Dans d'autres appareils, il s'agit plutôt de capteurs à mesure optique. Enfin, certains analyseurs réalisent la mesure de l'hématocrite par mesure de la conductivité.

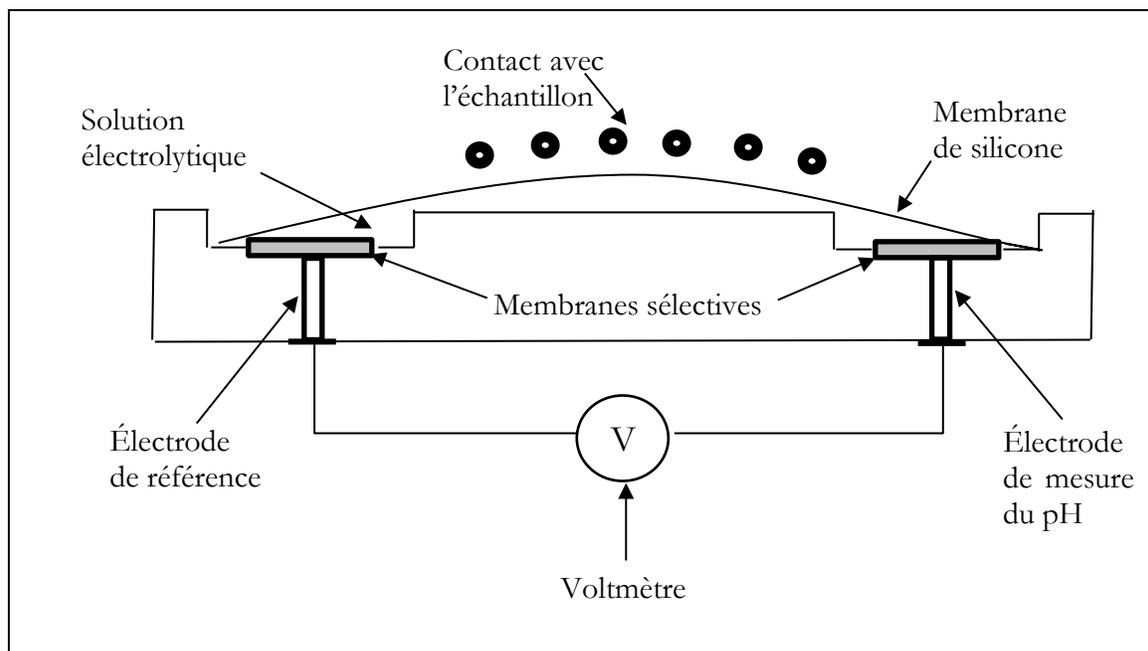
A3.1 Électrodes

La miniaturisation et le mode de fabrication sont pratiquement les seules différences entre les électrodes de verre servant à mesurer le pH sur analyseur des gaz sanguins et sur pH-mètre. Les principes analytiques sous-tendant la mesure de la PO_2 et de la PCO_2 au moyen des électrodes classiques dans les analyseurs de première génération et des électrodes miniaturisées intégrées aux cartouches des analyseurs de conception plus récente sont sensiblement les mêmes. La miniaturisation des électrodes classiques servant au dosage des électrolytes sur multianalyseur a cependant permis de développer une méthode de mesure directe sans dilution préalable de l'échantillon qui permet d'éliminer l'interférence due à la lipémie sur ces appareils⁽⁷⁾.

A3.1.1 Montage

Les figures 1, 2 et 3 des prochains points illustrent le montage classique des électrodes dans les analyseurs de première génération. La figure 1 illustre quant à elle, de façon générale, le montage sur carte en vue de l'utilisation dans une cartouche.

Figure 1. Montage d'électrodes sur carte



Suivant des processus de miniaturisation, des pâtes et des encres déposées sur des zones spécifiques d'un support inerte définissent des zones de conduction électrique⁽⁷⁾⁽¹⁰¹⁾. Certains montages nécessitent la mise en place d'une pastille métallique sous chaque électrode pour assurer l'interface électrique avec l'analyseur⁽¹⁰⁰⁾. Cette technique qui donne un film épais est la plus répandue, mais il existe également une technique à film mince⁽⁷⁾⁽¹⁰¹⁾. Cette technique assure un équilibre plus rapide entre le sang et la zone de mesure, ce qui permet l'utilisation immédiate de la cartouche dès son insertion dans l'appareil; au contraire, les cartouches à film épais exigent une période d'équilibration⁽⁷⁾.

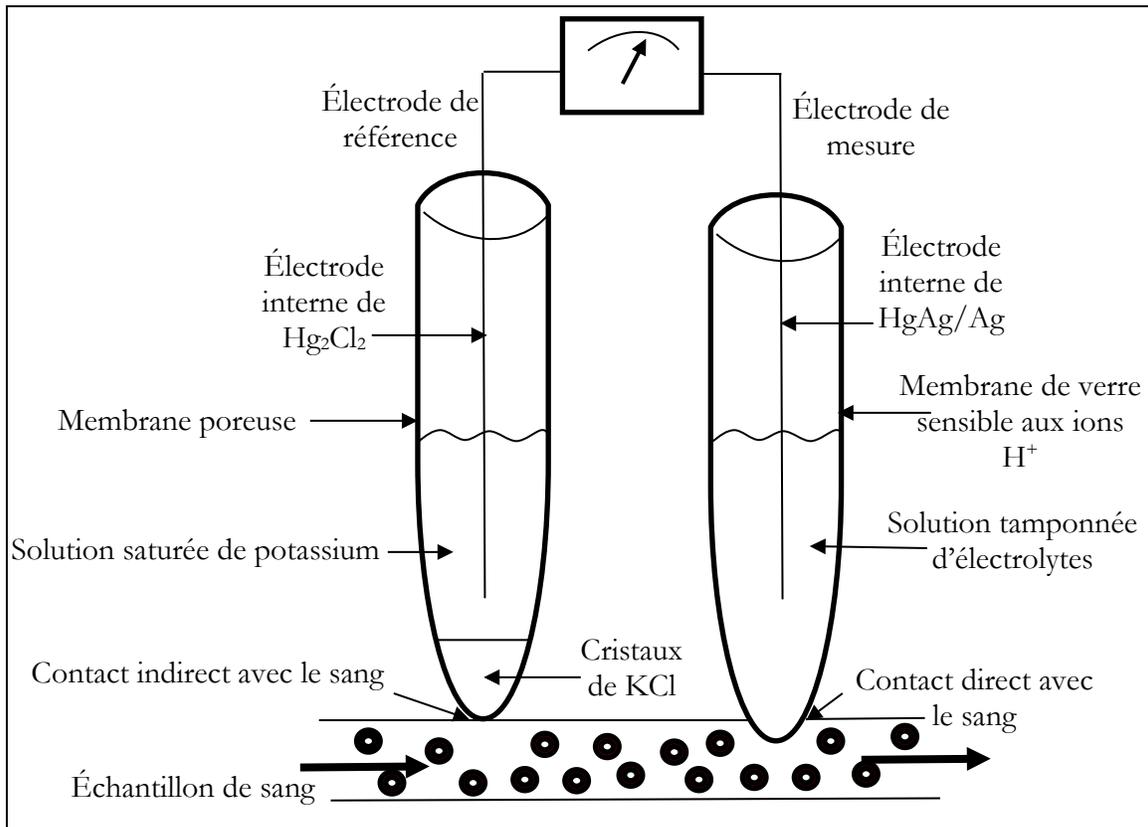
A3.1.1 Électrodes potentiométriques

Ce type d'électrodes permet de mesurer la différence de potentiel (voltage) entre une électrode de mesure et une électrode de référence plongées dans une solution électrolytique, alors que l'intensité du courant est maintenue au minimum dans le circuit (méthode de mesure d'une différence de potentiel à courant « nul »)⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽¹⁰¹⁾.

A3.1.1.1 Électrode de mesure du pH

L'extrémité de l'électrode de mesure du pH est pourvue d'une membrane de verre sensible aux protons (H^+). Le gradient de concentration en H^+ de part et d'autre de la membrane produit une différence de potentiel mesurée avec un voltmètre spécial à haute impédance calibré en unités de pH, appelé potentiomètre⁽⁷⁾⁽¹⁰¹⁾.

Figure 2. Principe de la mesure du pH



A3.1.1.2 Électrodes de dosage du calcium ionisé et des électrolytes

Les électrodes servant à doser le calcium ionisé et les électrolytes sont du même type que les électrodes de mesure du pH. Elles possèdent une membrane échangeuse d'ions, montrant une sélectivité marquée pour l'ion à mesurer (H^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^-) (7). La différence de potentiel qui s'établit de part et d'autre de la membrane sélective est proportionnelle au logarithme de l'activité ionique ou de la concentration de l'ion mesuré dans l'échantillon (7) (84) (100).

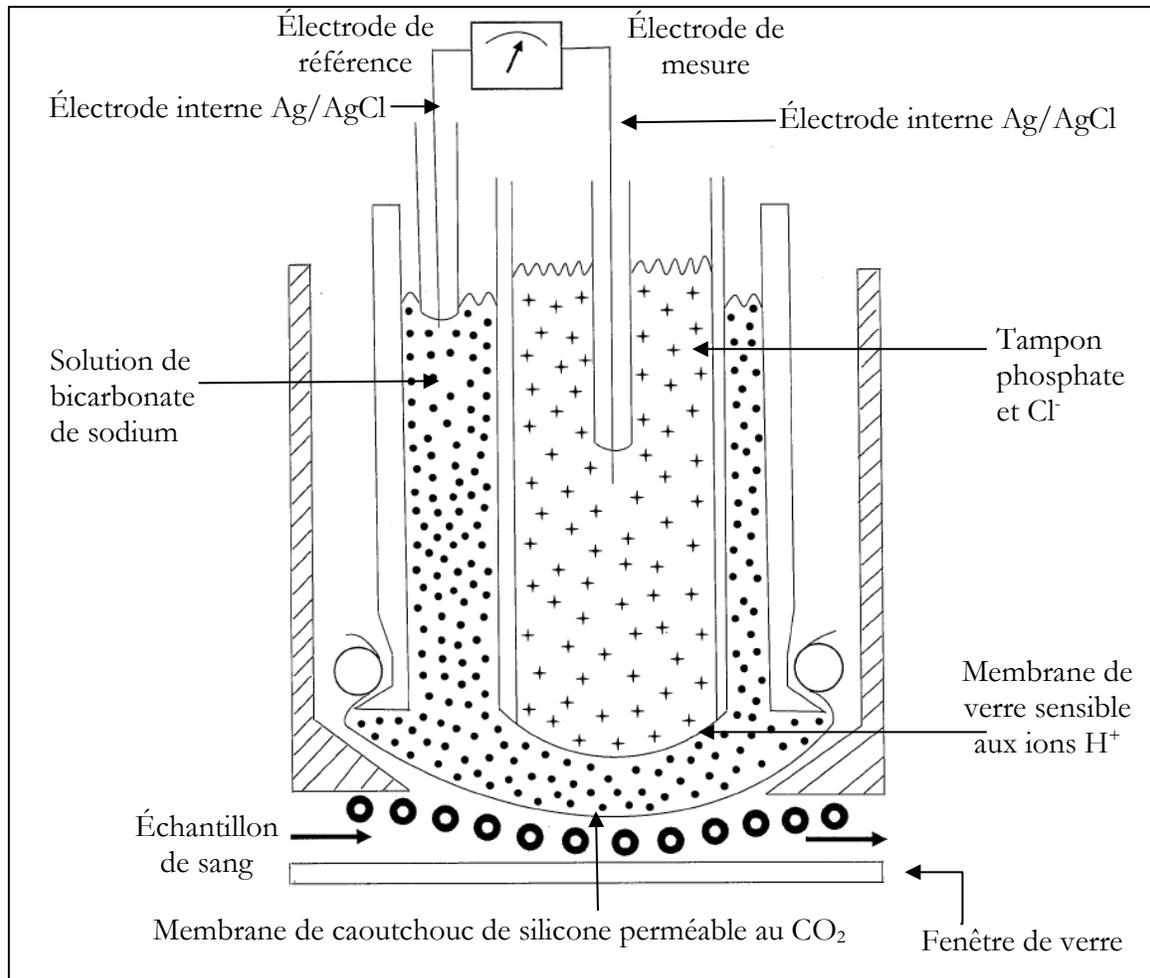
A3.1.1.3 Électrode de mesure de la PCO_2

Le système d'électrodes servant à mesurer la PCO_2 est semblable au système de mesure du pH. Il comprend une électrode de mesure du pH en verre et une électrode de référence. L'échantillon est séparé de l'électrode par une membrane perméable au CO_2 , mais imperméable aux ions H^+ . Le système comprend également un tampon interne de bicarbonate (HCO_3^-). Lorsque le CO_2 diffuse à travers la membrane, la variation du pH est causée par la réaction chimique suivante :



La variation du pH entraîne une modification du potentiel proportionnelle à la PCO_2 dans l'échantillon (7) (101).

Figure 3. Principe de la mesure de la PCO_2 (Severinghaus)



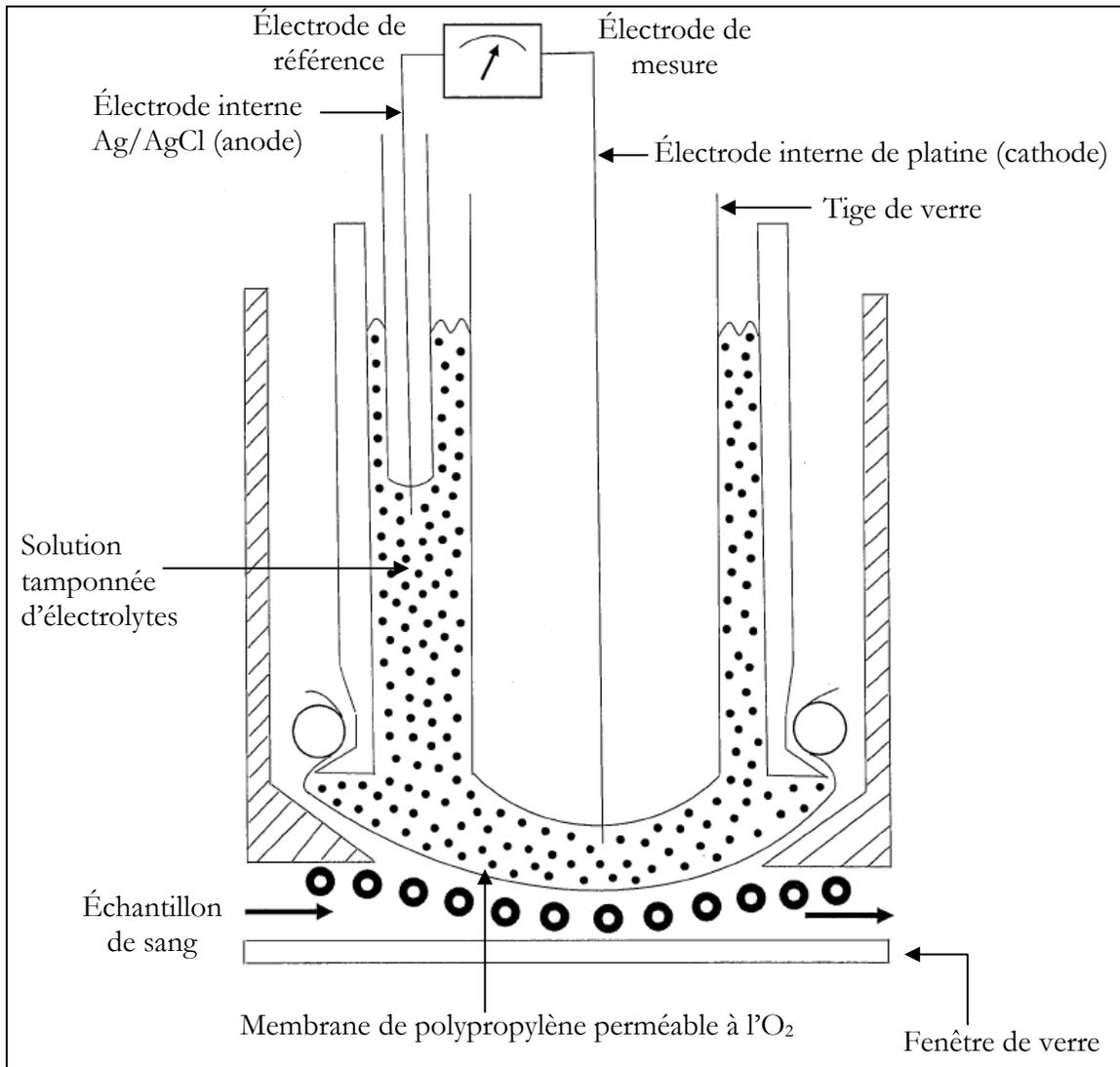
A3.1.2 Électrodes ampérométriques

Ce type d'électrodes permet de mesurer le courant produit quand une tension (voltage) est appliquée entre les deux électrodes. Le courant produit (ampérage) par la différence de potentiel entre l'électrode de référence et l'électrode de mesure (une cathode s'il s'agit du siège de réactions de réduction ou une anode s'il s'y déroule des réactions d'oxydation) est proportionnel à la concentration de l'analyte mesuré⁽⁷⁾.

A3.1.2.1 Électrode de mesure de la PO_2

Le système d'électrodes servant à mesurer de la PO_2 est un peu différent. L'échantillon est séparé de l'électrode par une membrane perméable à l' O_2 . L' O_2 qui diffuse à travers la membrane est réduit par les électrons libérés par la cathode (électrode négative), à cause du courant induit par la différence de potentiel constante maintenue entre les deux électrodes. Les réactions d'oxydoréduction à la cathode produisent un courant électrique proportionnel à la PO_2 dans l'échantillon^{(7) (101)}.

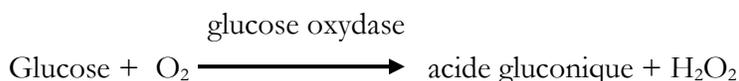
Figure 4. Électrode classique de mesure de la PO_2 (Clark)



Les figures 1, 2, 3 et 4 sont des dessins originaux de l'OPTMQ fondés sur diverses sources^{(5) (6) (7)}.

A3.1.2.2 Biosenseurs

Un biosenseur est composé d'un système biologique et d'un transducteur de signal physico-chimique ou optique⁽⁷⁾. Le système biologique peut correspondre à une réaction enzymatique ou à la formation d'une liaison spécifique à un anticorps, à un récepteur ou à un brin d'ADN⁽⁷⁾. Dans le cas de la réaction enzymatique, la consommation d'un réactif ou la formation d'un produit est mesurée⁽⁷⁾. Les biosenseurs les plus répandus sont de type réaction enzymatique avec transducteur physico-chimique⁽⁷⁾. Les électrodes de dosage du glucose et du lactate en sont un bon exemple^{(7) (84) (100)}. À la suite de la réaction enzymatique schématisée ci-dessous, les capteurs mesurent la consommation d'O₂ ou la production de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂)^{(7) (100)} au niveau de l'électrode de platine.



La production de ces biosenseurs n'a pas été sans difficulté : il fallait en effet immobiliser les enzymes pour pouvoir les réutiliser après leur exposition répétée au sang total, et éliminer les molécules interférentes⁽¹⁰¹⁾. Diverses solutions peuvent être appliquées pour diminuer l'effet des molécules interférentes au dosage du glucose et du lactate. Certaines membranes à perméabilité sélective peuvent empêcher ces molécules d'atteindre le capteur. La tension appliquée entre les électrodes peut être modifiée pour polariser seulement le glucose ou le lactate et non les molécules interférentes⁽¹⁰¹⁾. Enfin, une électrode compensatrice semblable à l'électrode de mesure, mais dépourvue d'enzymes (glucose ou lactate oxydase) peut être utilisée⁽¹⁰¹⁾. Le courant mesuré grâce à cette électrode ne dépend alors que des molécules interférentes et est soustrait du signal total⁽¹⁰¹⁾. Grâce à des améliorations semblables apportées aux électrodes de mesure de la PO₂ dans les analyseurs de conception plus récente, les erreurs de mesure dues à la présence de gaz employés dans le cadre de l'anesthésie (halothane et monoxyde d'azote) sont maintenant moins fréquentes^{(7) (10)}. L'utilisation de nouveaux polymères dans la fabrication des membranes à perméabilité sélective a en effet permis de diminuer la diffusion de ces gaz jusqu'au capteur. De plus, il est possible de modifier le potentiel de l'électrode de platine pour que la réaction de réduction ne vise que l'O₂ et non les molécules interférentes^{(7) (10)}. Il importe de consulter le manuel du fabricant pour se renseigner sur les sources d'erreur liées à chacune des analyses effectuées. Ainsi, la présence d'éthylène glycol chez le patient intoxiqué demeure la cause d'une élévation artificielle du taux de lactate avec certains analyseurs^{(104) (110) (125)}.

A3.1.2.3 Analyseurs à capteurs optiques

La mesure du pH par capteur optique est basée sur la fixation d'indicateurs de pH sur un mince film de polymères hydrophiles qui permettent aux protons (H⁺) d'atteindre les indicateurs⁽⁷⁾. La différence d'absorbance ou de fluorescence entre les formes protéinées et déprotéinées de l'indicateur permet de mesurer le pH⁽⁷⁾. La précision de cette mesure dépend de la force ionique des échantillons⁽⁷⁾.

Les capteurs optiques servant à mesurer la PCO₂ sont constitués de transducteurs internes de pH avec indicateurs immobilisés dont l'arrangement se compare à celui de l'électrode classique de type Severinghaus⁽⁷⁾.

La mesure de la PO_2 par capteur optique repose sur la fixation de colorants sur des polymères hydrophobes dans lesquels l'oxygène est soluble. La diminution de la fluorescence ou de la phosphorescence de ces colorants en présence d'oxygène est exploitée pour mesurer la PO_2 ⁽⁷⁾.

A3.2 Mesure de l'hématocrite

Le dosage de l'hématocrite s'effectue par mesure de la conductivité. Il repose sur le fait que les globules rouges augmentent la résistance du plasma parce que leurs membranes lipidiques sont non conductrices ^{(7) (100)}. Comme la conductivité dépend également de la concentration en électrolytes, l'hyperosmolarité de l'échantillon entraîne une sous-évaluation de l'hématocrite ⁽¹⁰⁰⁾. Les analyseurs qui mesurent le taux de sodium en même temps que la conductivité comportent un algorithme de correction pour la concentration en électrolytes ⁽⁸⁾. La présence de protéines ou de lipides en grande quantité se traduira plutôt par une surévaluation de l'hématocrite ⁽¹⁰⁰⁾. L'homogénéisation insuffisante de l'échantillon nuit tout particulièrement à la mesure de l'hématocrite ⁽⁸⁾.

Annexe 4

Autres paramètres analysés

Cette annexe présente des renseignements supplémentaires sur la mesure et l'usage clinique des autres paramètres les plus souvent analysés.

A4.1 Sodium, potassium et chlorure

Pour bien évaluer l'équilibre acido-basique chez un patient en épisode de soins critiques, il faut connaître les taux sanguins des électrolytes (principalement Na^+ , K^+ , Cl^- et HCO_3^-). En effet, ces électrolytes contribuent à préserver un pH sanguin normal et jouent un rôle important dans l'équilibre hydrique et de nombreux processus physiologiques, et leur présence en concentration anormale se traduit par divers états pathologiques. D'autres paramètres comme le calcium ionisé (Ca^{2+}) et le lactate jouent également un rôle très important dans l'évaluation des patients en situation d'urgence ⁽⁷⁾.

Le sodium (Na^+) est le cation le plus abondant (90 %) dans les liquides extracellulaires. Il est responsable de la moitié de la force osmotique du plasma. Le sodium est un élément important de l'évaluation de l'équilibre acido-basique et de l'équilibre hydrique. Un apport excessif ou une perte exagérée de sodium ou d'eau, de même que la rétention hydrosodée, entraînent des troubles de l'équilibre du sodium (hyponatrémie ou hypernatrémie). L'hyponatrémie désigne la présence d'un taux plasmatique de sodium anormalement bas (< 130 à 135 mmol/L). Elle peut être causée par de nombreux facteurs incluant les maladies rénales (insuffisance rénale, polykystose, néphrite interstitielle chronique, syndrome néphrotique), les maladies hépatiques (cirrhose), les affections cardiaques (insuffisance cardiaque congestive), la prise de diurétiques, la diarrhée, les vomissements, les brûlures et l'hyperglycémie. L'hyponatrémie peut également être causée artificiellement (pseudohyponatrémie) par une hyperprotéïnémie ou une hyperlipidémie. Toutefois, on peut éviter de conclure par erreur à l'hyponatrémie en dosant le sodium sur analyseur des gaz sanguins (voir le point 12.2.1.1). Les signes et symptômes de l'hyponatrémie sont liés à l'augmentation de volume (œdème) des cellules cérébrales, qui laissent entrer l'eau en raison de l'hypo-osmolarité du milieu extracellulaire ⁽⁷⁾. Les symptômes sont d'autant plus graves que l'installation de l'hyponatrémie est rapide et ils peuvent comprendre une altération de l'état mental ⁽⁷⁾. L'hyponatrémie ne doit pas être corrigée trop rapidement, et son traitement doit être adapté aux symptômes et à la durée de l'hyponatrémie ⁽⁷⁾.

Les causes d'hypernatrémie (taux de sodium plasmatique > 150 mmol/L) sont également très diversifiées. Il peut s'agir notamment de déshydratation, de diabète insipide néphrogénique ou central, de syndrome de Cushing ou de l'administration de soluté hypertonique par voie intraveineuse. Comme c'est le cas pour l'hyponatrémie, il ne faut pas corriger l'hypernatrémie trop rapidement afin d'éviter un œdème cérébral ⁽⁷⁾.

Le chlorure (Cl) est le plus abondant des anions extracellulaires. Ensemble, les ions Na⁺ et Cl⁻ représentent la majorité des éléments responsables de la pression osmotique du plasma. Ainsi, comme le sodium, le chlorure joue un rôle important dans la préservation de la pression osmotique et l'équilibre catio-anionique dans les liquides extracellulaires. Généralement, la concentration plasmatique en chlorure varie avec celle du sodium. Sur le plan clinique, le dosage du chlorure est principalement utile au diagnostic différentiel des acidoses métaboliques, qui se répartissent en deux groupes, les acidoses à trou ionique élevé et les acidoses hyperchlorémiques (à trou anionique normal). En présence d'acidose hyperchlorémique, la chlorémie est basse tandis que la natrémie reste dans les limites normales⁽⁷⁾.

Le potassium (K⁺) est le cation intracellulaire le plus abondant, et sa concentration dans les érythrocytes est environ 23 fois plus élevée que dans le plasma. La concentration intracellulaire en potassium est préservée grâce à la pompe Na⁺/K⁺ATPase qui joue un rôle crucial dans le maintien et la correction des gradients ioniques dont dépendent la transmission de l'influx nerveux et la contractilité des muscles cardiaques. Le dosage du potassium est utile à l'évaluation de l'équilibre électrolytique, des arythmies cardiaques, de la faiblesse musculaire, de l'encéphalopathie hépatique et de l'insuffisance rénale.

L'hypokaliémie (taux de potassium plasmatique < 3,5 mmol/L) peut être due à la redistribution de cet ion dans les compartiments intracellulaires et extracellulaires ou à une carence réelle en potassium. L'insulinothérapie, l'alcalose et l'hypothermie sont quelques exemples de causes d'hypokaliémie de redistribution. Les carences réelles en potassium peuvent être dues au jeûne, à la diarrhée, à l'acidose et à l'alcalose métaboliques ou à l'hypomagnésémie. En présence d'hyperkaliémie (> 5 mmol/L), il faut dépister une des causes possibles suivantes : déshydratation, rhabdomyolyse, prise de suppléments de potassium, transfusion sanguine massive, prise de certains médicaments (pénicilline en forte dose, bêta-bloquants, diurétiques, etc.), déficit en minéralocorticoïdes (p. ex., maladie d'Addison) ou maladies rénales. L'hyperkaliémie peut être causée artificiellement (pseudohyperkaliémie) par l'hémolyse *in vitro*, la thrombocytose (> 10⁶ plaquettes/mm³) ou la leucocytose (> 10⁵ leucocytes/mm³)⁽⁷⁾.

L'hyperkaliémie représente l'anomalie électrolytique la plus dangereuse et le cœur y est particulièrement sensible. La vie du patient est menacée si le taux de potassium excède 6,5 ou 7,0 mmol/L et entraîne des altérations caractéristiques sur l'électrocardiogramme. Il faut administrer un traitement sans tarder pour corriger l'hyperkaliémie et en neutraliser les effets sur l'activité cardiaque⁽¹²⁶⁾.

A4.2 Lactate

Le lactate est un produit de la glycolyse (métabolisme cellulaire anaérobie) qui sert d'indicateur du degré d'hypoxie dans l'organisme. Son dosage est utile au diagnostic et au suivi des patients atteints d'acidose lactique.

Il existe une bonne corrélation entre les valeurs du lactate dans le sang artériel et le sang veineux. Cependant, il est plus utile de doser ce paramètre plusieurs fois plutôt qu'une en faisant une série de prélèvements sanguins, étant donné que la normalisation du taux de lactate est liée à une meilleure survie^{(6) (127)}.

A4.3 Calcium ionisé

Chez l'adulte, la majorité (99 %) du calcium est stocké dans les os et les dents, et le reste (1 %) est distribué entre les cellules des tissus mous (muscles, vaisseaux sanguins, adipocytes) et le liquide extracellulaire (liquide interstitiel et plasma). Près de 40 % du calcium plasmatique est lié aux protéines (principalement à l'albumine, et de 5 à 10 % à divers anions comme le phosphate et les bicarbonates). Le calcium stabilise les membranes plasmiques et module la perméabilité cellulaire, de même que l'excitabilité neuromusculaire. La baisse rapide de la calcémie est une cause d'hypotension et d'anomalies électrocardiographiques. L'hypercalcémie quant à elle peut causer de la fatigue, de la faiblesse, des nausées et des vomissements de même que des troubles de la concentration ^{(7) (111)}.

Le calcium ionisé (Ca^{2+}) est la forme biologiquement active du calcium et représente entre 50 et 55 % du calcium total. Sa régulation étroite est assurée par l'hormone thyroïdienne et la 1,25-dihydroxyvitamine D. Chez le patient hospitalisé, il est fréquent d'observer une baisse du taux d'albumine associée à une diminution de la calcémie totale alors que le taux de calcium ionisé demeure normal. La valeur du calcium total dosé sur multianalyseur peut être ajustée pour l'albuminémie ($\text{CaT} + 0,025 \times (40 - \text{alb}) \text{ mmol/L}$) ⁽⁷⁾, mais cet ajustement n'est pas valable en présence de déséquilibre acido-basique marqué ou d'une albuminémie inférieure à 25 g/L. Dans ce dernier cas, l'ajustement sera exagéré. Chez le patient en épisodes de soins critiques, le taux de protéines totales est souvent très anormal et des facteurs circulants peuvent modifier la liaison du calcium à l'albumine. Il est donc préférable de doser directement le calcium ionisé chez ce type de patient. La mesure directe est également préférable chez le patient qui a reçu du sang citraté ou des plaquettes, de même que chez le patient atteint de myélome en raison de la présence de très grandes quantités d'immunoglobulines pouvant se lier au calcium. En effet, le taux de calcium ajusté ne rendrait pas véritablement compte de la fraction ionisée et active chez ces patients ^{(7) (111)}.

Dans ces circonstances, il est justifié de prendre des précautions supplémentaires pour faire les prélèvements destinés à la mesure directe du taux de calcium ionisé. Il faut prélever le sang destiné au dosage du calcium ionisé dans des conditions d'anaérobie et l'analyser rapidement pour réduire au minimum l'altération du pH ^{(7) (128)}. En effet, le pH sanguin a une grande incidence sur la proportion de calcium lié aux protéines, car les protons H^+ concurrencent le calcium pour la liaison aux protéines. La baisse du pH déclenche la dissociation du calcium et des protéines, entraînant ainsi l'augmentation du taux de calcium ionisé. À la baisse du pH de 0,1 unités, correspond une hausse de 0,05 mmol/L du taux de calcium ionisé. Inversement, l'augmentation du pH entraîne la baisse du taux de calcium ionisé ^{(7) (111)}.

A4.4 Bicarbonates, CO₂ total et excès de base

L'équation de Henderson-Hasselbalch présentée à l'annexe 1 permet de calculer le taux de bicarbonates à partir de la mesure du pH et de la PCO₂. Le taux calculé de bicarbonates, combiné à la valeur de la PCO₂, sert ensuite à calculer le taux de CO₂ total^{(6) (10)}. Le taux de CO₂ total fournit une bonne approximation du taux d'ions bicarbonates puisque ceux-ci représentent environ 95 % du CO₂ total^{(6) (7)}.

Autrefois établi par titrage, l'excès de base (BE) déterminait la quantité d'acide ou de base qu'il faut retirer ou ajouter à un litre de sang pour ramener le pH à 7,4, la PCO₂ étant de 40 mmHg et la température, de 37 °C^{(6) (10)}. Son calcul repose maintenant sur l'équation de Van Slyke, qui exploite les valeurs des ions bicarbonates et de l'hémoglobine⁽¹⁰²⁾.

$$BE = ([HCO_3] - 24,4 + (2,3 * [Hb] + 7,7) * (pH-7,4)) * (1-0,23 * [Hb])$$

Le calcul de l'excès de base standard (du sang total) repose sur la valeur de l'hémoglobine, elle-même fondée sur la mesure de l'hématocrite. Celui de l'excès de base du liquide extracellulaire (BE_{ecf}) est plutôt fondé sur une constante (p. ex., 50 g/L)⁽¹⁰²⁾. En théorie, l'excès de base est plus représentatif de la quantité de bases dans le sang que la fraction bicarbonatée seule, puisqu'il rend compte de tous les systèmes tampons du sang, le deuxième système en importance après le système bicarbonate étant celui qui dépend de l'hémoglobine. L'excès de base du liquide extracellulaire serait un indicateur plus fiable, parce que l'excès de base standard surévalue le pouvoir tampon de l'hémoglobine et change avec les variations de la PCO₂⁽¹⁰²⁾. Sur le plan clinique, cet indicateur peut difficilement être utilisé parce que plusieurs laboratoires rapportent l'excès de base du liquide extracellulaire en le désignant par le terme « excès de base » sans préciser comment il a été calculé⁽⁶⁾.

A4.5 Trou anionique

Le trou anionique peut être calculé sur les analyseurs qui mesurent les électrolytes grâce à diverses formules, dont la suivante :

$$\text{Trou anionique} = Na^+ - Cl^- - \text{bicarbonates}^{(7)}$$

Le trou anionique renseigne sur les anions du plasma qui ne sont pas mesurés, comme les protéines et les acides organiques^{(7) (10) (84) (103)}. Le trou anionique est utile au diagnostic différentiel des acidoses métaboliques. Les acidoses à trou anionique élevé témoignent de la présence de grandes quantités d'acides organiques (p. ex., déficience rénale, intoxication aux salicylates, au méthanol et à l'éthylène glycol). Les acidoses à trou anionique normal sont plutôt liées à une déplétion en bicarbonates (p. ex., diarrhée, acidose rénale tubulaire)^{(7) (10) (103)}. Le seuil normal ne fait pas l'unanimité. Comme le taux de potassium n'entre pas dans le calcul, un trou anionique de l'ordre de 12 mmol/L est considéré normal⁽¹⁰³⁾. Quand les taux de calcium ionisé, de magnésium ou de potassium sont bas, une légère élévation est possible en absence d'acidose métabolique, parce que la baisse des taux de ces cations non mesurés s'accompagne d'une diminution des anions mesurés (Cl⁻ et bicarbonates)⁽⁷⁾.

Un seuil d'environ 20 mmol/L est donc proposé en vue du dépistage de la cause d'une acidose métabolique⁽¹⁰³⁾.

A4.6 Carboxyhémoglobine

Le taux de COHb augmente en présence d'intoxication par le monoxyde de carbone (CO). L'intoxication par le CO est très dangereuse, car elle survient de façon insidieuse étant donné que le CO est un gaz inodore, incolore et non irritant⁽¹²⁹⁾. De plus, ses manifestations cliniques sont vagues : nausées, maux de tête, fatigue, étourdissements, confusion et évanouissements peuvent orienter le diagnostic vers un état grippal, une migraine ou une intoxication alimentaire^{(129) (130) (131)}. Un haut niveau de suspicion est donc essentiel pour diagnostiquer ce type d'intoxication^{(130) (131)}. Pour faciliter le diagnostic chez d'autres victimes travaillant ou demeurant au même endroit que la personne souffrant d'intoxication par le CO, ce trouble a été classé dans les maladies à déclaration obligatoire d'origine chimique en vertu de la *Loi sur la santé publique*⁽¹³²⁾. Cette obligation permet également d'établir la nécessité de prendre des mesures pour éviter la survenue d'autres cas. Pour réduire le nombre de faux positifs, principalement chez les fumeurs dont le taux de COHb peut dépasser les 3,5 %^{(6) (103) (131)}, et accroître la précision des déclarations faites par les laboratoires, l'Institut national de santé publique du Québec recommande les seuils suivants : $\geq 3,5$ % chez l'enfant (> 1 mois à 13 ans) et ≥ 10 % chez le patient de plus de 14 ans⁽¹³⁰⁾. Le traitement hyperbare est indiqué si le taux d'HbCO dépasse 40 %⁽¹³¹⁾; en effet, le risque de coma et de décès est élevé quand ce taux dépasse les 50 %^{(6) (10) (103) (130) (131)}.

A4.7 Méthémoglobine

La MetHb est une forme oxydée d'hémoglobine qui ne peut fixer l'O₂, étant donné l'oxydation du fer à l'état ferrique (Fe³⁺)^{(7) (104)}. À cause de l'oxydation de l'hémoglobine, le sang contient un peu de MetHb ($< 1,5$ % de l'Hb totale)^{(7) (104)}. Des cas de méthémoglobinémie familiale ont été rapportés, dont certains sont imputés à la présence d'une forme d'Hb anormale, dite HbM, qui est plus facilement oxydée^{(7) (104)}. La méthémoglobinémie est causée dans la plupart des cas par l'exposition à un agent oxydant (monoxyde d'azote, dapson [antibiotique employé dans le traitement de la malaria]⁽⁶⁾, médicaments ou drogues illicites contenant des nitrites)^{(7) (104)}. Le tableau clinique de la méthémoglobinémie est semblable à celui de l'intoxication par le CO (dyspnée, nausées, étourdissements, maux de tête, fatigue)⁽¹⁰⁴⁾. Toutefois, l'intoxication par le CO ne cause pas de cyanose, alors qu'un taux de MetHb supérieur à 15 % entraîne une cyanose asymptomatique insensible à l'oxygénothérapie⁽¹⁰⁴⁾. La cyanose peut devenir manifeste en présence d'une méthémoglobinémie dépassant 30 %⁽⁶⁾, et la mortalité est élevée quand elle dépasse 70 %^{(10) (104)}. Le traitement au bleu de méthylène est recommandé en présence de méthémoglobinémie symptomatique (taux de MetHb > 20 %) ou asymptomatique (taux > 30 %)⁽¹⁰⁴⁾. La rare présence d'hémoglobines M (des variants de l'hémoglobine) ayant moins d'affinité pour l'O₂ nuit à la mesure des taux de COHb, de MetHb et de SHb, puisque le spectre d'absorption de l'HbM se compare à celui de l'HbO₂, de la COHb et de la SHb⁽¹⁰⁴⁾. La SHb (sulfhémoglobine) se forme à la suite d'une exposition à des médicaments comprenant un groupe sulfhydryle (H₂S)^{(7) (104)}.

BIBLIOGRAPHIE

1. ORDRE PROFESSIONNEL DES TECHNOLOGISTES MÉDICAUX DU QUÉBEC. *Prélèvement de sang par ponction veineuse pour fins d'analyse: Règles de pratique*. sixième édition. Montréal : OPTMQ, 2006. 45 p.
2. ORDRE PROFESSIONNEL DES TECHNOLOGISTES MÉDICAUX DU QUÉBEC. *Guide de prélèvement de sang par ponction capillaire aux fins d'analyse*. Montréal : OPTMQ, 2018. 36 p.
3. CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. *Procedures for the Collection of Arterial Blood Specimens; Approved Standard - Fourth Edition*. CLSI document GP43-A4. Wayne, PA : CLSI, 2004. 39 p.
4. ORDRE DES INFIRMIÈRES ET INFIRMIERS DU QUÉBEC. *Lignes directrices, Prélèvement par ponction artérielle et installation d'une canule artérielle*. Montréal : OIIQ, 2005. 48 p.
5. SOUKINI, Marie-Antoinette. *Formation à distance: Biochimie I*. Montréal : Ordre professionnel des technologistes médicaux du Québec, mai 2004. 414 p.
6. MALLEY, William J. *Clinical Blood Gases Assessment and Intervention*. Deuxième édition. S. Louis, Missouri : Elsevier Saunders, 2005. 523 p.
7. BURTIS, Carl A., et autres. *Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics*. cinquième édition. St. Louis, Missouri : Elsevier Saunders, 2012. 2238 p.
8. CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. *Blood Gas and pH Analysis and Related Measurements; Approved Guideline - Second Edition*. CLSI document C46-A2. Wayne, PA : CLSI, 2009. 49 p.
9. OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE. *Grand dictionnaire terminologique*. [En ligne] Consulté le 9 avril 2018. <http://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/gdt.html>.
10. RADIOMETER MEDICAL APS. *Le guide des gaz du sang*. Danemark : Radiometer Medical APS, 2011. 111 p.
11. CONSEIL CANADIEN D'AGRÈMENT DES SERVICES DE SANTÉ. *Programme d'agrément du CCASS Glossaire*. 2007. sixième édition, 43 p.
12. ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *ISO15189:2012(F) Laboratoires de biologie médicale - Exigences concernant la qualité et la compétence*. troisième édition (version corrigée 2014-08-15). Genève : ISO, 2012. 56 p.
13. ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. quatrième édition *Systèmes de management de la qualité - Principes essentiels et vocabulaire*. Genève : ISO, 2015-09-15. ISO 9000, 53 p.
14. MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX. *Conformité des laboratoires de biologie médicale à la norme CAN/CSA-15189 « Laboratoire d'analyses de biologie médicale - Exigences particulières concernant la qualité et la compétence »*. 2005-03-21. Circulaire No 5005-007.
15. ORDRE PROFESSIONNEL DES TECHNOLOGISTES MÉDICAUX DU QUÉBEC. *Guide de gestion de la qualité dans les laboratoires de biologie médicale*. Montréal : OPTMQ, octobre 2017. 98 p.
16. *Loi sur la santé et la sécurité du travail*. (RLRQ, chapitre S-2.1).

17. ORDRE PROFESSIONNEL DES TECHNOLOGISTES MÉDICAUX DU QUÉBEC. *Normes de pratique du technologiste médical*. quatrième édition. Montréal : OPTMQ, 2015. 18 p.
18. *Règlement sur la santé et la sécurité du travail*. (RLRQ, chapitre S-2.1, r.13).
19. SHEMATEK, GENE et WOOD, WAYNE. *La sécurité au laboratoire-Directives de la SCSLM*. huitième édition. Hamilton : Société canadienne de science de laboratoire médical, 2017. 197 p.
20. ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. *Medical laboratories - Requirements for safety (Laboratoires de médecine - Exigences pour la sécurité)*. March 2005. 39 p. CAN/CSA-Z15190-05.
21. AGENCE DE LA SANTÉ PUBLIQUE DU CANADA. *Norme canadienne sur la biosécurité*. deuxième édition. Ottawa : Agence de la santé publique du Canada, 2015. 168 p.
22. AGENCE DE LA SANTÉ PUBLIQUE DU CANADA. *Guide canadien sur la biosécurité*. deuxième édition. Ottawa : Agence de la santé publique du Canada, 2016. 264 p.
23. *Règlement sur les déchets biomédicaux*. (RLRQ, chapitre Q-2, r.12).
24. *Règlement sur les produits dangereux*. Ottawa : Ministère de la Justice du Canada, dernière modification le 11 février 2015. DORS/2015-17.
25. SANTÉ CANADA. *SIMDUT Aide-mémoire Gaz comprimés*. Ottawa : Santé Canada, 2006.
26. CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. *Training and Competence Assessment; Approved Guideline - Fourth Edition*. CLSI document QMS03-A4. Wayne, PA : CLSI, 2016. 132 p.
27. RYDER, Kenneth, W., et autres. « Effect of Storage Temperature and Shaking Rate on pH and Blood-Gas Results for Two Quality-Control Products » . *Clin Chem*. 1988, Vol. 34, No 9, p. 1910-1912.
28. QUÉRIN, Serge, et autres. *L'essentiel sur la néphrologie et l'urologie*. deuxième édition. Acton Vale : Edisem inc., 2004. 461 p.
29. BAELE, PR PH. L'équilibre acide-base. *Médecine aiguë de l'Université catholique de Louvain, Service d'Anesthésiologie*. [En ligne] octobre 1996. <http://www.md.ucl.ac.be/virtanes/ac-bs1.pdf>. Consulté le 18 août 2015.
30. *Règlement d'application de la Loi sur les laboratoires médicaux, la conservation des organes et des tissus et la disposition des cadavres*. (RLRQ, chapitre L-0.2, r. 1).
31. *Code des professions du Québec*. (RLRQ, chapitre C-26).
32. *Règlement sur les normes relatives aux ordonnances faites par un médecin*. (RLRQ, chapitre M-9, r. 25.1).
33. *Règlement sur les ordonnances d'un pharmacien*. (RLRQ, chapitre P-10, r. 18.1).
34. *Règlement sur les activités visées à l'article 31 de la Loi médicale qui peuvent être exercées par des classes de personnes autres que des médecins*. (RLRQ, chapitre M-9, r. 13).
35. *Règlement sur les normes relatives à la forme et au contenu des ordonnances verbales ou écrites faites par une sage-femme*. (RLRQ, chapitre S-0.1, r. 15).

36. DAVIS, Michael D., et autres. « AARC Clinical Practice Guideline: Blood Gas Analysis and Hemoximetry: 2013 ». *Respiratory Care*. octobre 2013, Vol. 58, No 10, p. 1694-1703.
37. TOFFALETTI, John, et autres. « Dry Electrolyte-Balanced Heparinized Syringes Evaluated for Determining Ionized Calcium and Other Electrolytes in Whole Blood ». *Clin Chem*. 1991, Vol. 37, No 10, p. 1730-1733.
38. HIGGINS, Chris. « The use of heparin in preparing samples for blood-gas analysis ». *Medical Laboratory Observer*. octobre 2007, p. 16-20.
39. BAIRD, Geoffrey. « Preanalytical considerations in blood gas analysis ». *Biochemia Medica*. 2013, Vol. 23, No 1, p. 19-27.
40. MOLLARD, J.F. « Précautions préanalytiques et matériel de prélèvement pour l'analyse des gaz du sang ». *Annales de Biologie Clinique*. août 2000, Vol. 58, No 4, p. 472-483.
41. CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. *Procedures and Devices for the Collection of Diagnostic Capillary Blood Specimens; Approved Standard - Sixth Edition*. CLSI document GP42-A6. Wayne, PA : CLSI, 2008. 25 p.
42. AONO, Jun, et autres. « Alteration in glucose metabolism by crying in children ». *N Engl J Med*. 1993, Vol. 329, No 15, p. 1129.
43. *Loi médicale du Québec*. (RLRQ, chapitre M-9).
44. CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. *Procedures for the Collection of Diagnostic Blood Specimens by Venipuncture; Approved Standard - Sixth Edition*. CLSI document GP41-A7. Wayne, PA : CLSI, 2017. 86 p.
45. NARAYANAN, Sheshadri. « Preanalytical issues related to blood sample mixing ». *Acutecaretesting.org*. [En ligne] octobre 2005. <http://acutecaretesting.org/en/articles/preanalytical-issues-related-to-blood-sample-mixing>. Consulté le 17 avril 2015.
46. PRAMOD, Sood, et autres. « Interpretation of arterial blood gas ». *Indian J Crit Care Med*. 2010, Vol. 14, No 2, p. 57-64.
47. Yildizdas, D., et autres. « Correlation of simultaneously obtained capillary, venous, and arterial blood gases of patients in a paediatric intensive care unit ». *Arch Dis Child*. 2004, Vol. 89, p. 176-180.
48. HUGHES, J.M.B. « Blood gas estimations from arterialized capillary blood versus arterial puncture: are they different? (Editorial) ». *Eur Respir J*. 1996, Vol. 9, p. 184-185.
49. JOHNSON, Karen J., et autres. « Neonatal Laboratory Blood Sampling: Comparison of Results from Arterial Catheters with Those from an Automated Capillary Device ». *Neonatal Network*. février 2000, Vol. 19, No 1, p. 27-34.
50. AARC Clinical Practice Guideline. « Capillary Blood Gas Sampling for Neonatal & Pediatric Patients ». *Respir Care*. 2001, Vol. 46, No 5, p. 506-513.
51. LA SOCIÉTÉ DES OBSTÉTRICIENS ET GYNÉCOLOGUES DU CANADA. « Fetal Health Surveillance : Antepartum and Intrapartum Consensus Guideline ». *JOGC*. septembre 2007, Vol. 29, No 9, p. S1-S56.

52. HIGGINS, Chris. « Fetal scalp blood sampling ». *acutecaretesting.org*. [En ligne] décembre 2014.
53. PITKIN, A.D., et autres. « Arterialised earlobe blood gas analysis: an underused technique ». *Thorax*. 1994, Vol. 49, p. 364-366.
54. SAUTY, A, et autres. « Differences in PO₂ and PCO₂ between arterial and arterialized earlobe samples ». *Eur Respir J*. 1996, Vol. 9, p. 186-189.
55. LOCK, Paul J., et autres. « Whole-Blood Glucose Testing at Alternate Sites ». *Diabetes Care*. 2002, Vol. 25, No 2, p. 337-341.
56. ZAVORSKY, Gerald, S., et autres. « Arterial versus capillary blood gases: A meta-analysis ». *Respiratory Physiology & Neurobiology*. 2007, Vol. 155, p. 268-279.
57. VAQUER, Sergi, et autres. « Earlobe arterialized capillary blood gas analysis in the intensive care unit: a pilot study ». *Annals of Intensive Care*. 2014, Vol. 4, No 11, p.1-8.
58. ALSTRÖM, T., et autres. « Recommendation for collection for skin puncture blood from children, with special reference to production of reference values ». *Scan J Clin Lab Invest*. 1987, Vol. 47, p. 199-205.
59. BLUMENFLED, Thomas A., et autres. « Simultaneously Obtained Skin-Puncture Serum, Skin-Puncture Plasma, and Venous Serum Compared, and Effects of Warming the Skin before Puncture ». *Clin Chem*. 1977, Vol. 23, No 9, p. 1705-1710.
60. MELTES, Samuel. « Skin-Puncture and Blood-Collecting Technique for Infants: Update and Problems ». *Clin Chem*. 1988, Vol. 34, No 9, p. 1890-1894.
61. JANES, Marianne, et autres. « Comparison of Capillary Blood Sampling Using an Automated Incision Device With and Without Warming the Heel ». *Journal of Perinatology*. 2002, Vol. 22, p. 154-158.
62. HIGGINS, Chris. « Capillary-blood gases: To arterialize or not ». *MLO*. novembre 2008, p. 42-47.
63. MORITZ, A.R., et autres. « Studies of thermal injury II. The relative importance of time and surface temperature in the causation of cutaneous burns ». *Am J Clin Pathol*. 1947, Vol. 23, No 6, p. 695-720.
64. HASSAN, Z. et SHAH, M. « Scald injury from the Guthrie test: should the heel be warmed? ». *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2005, Vol. 90, p. F533-F534.
65. FONTANA, M. et SEEGER, M. « When a routine nursing procedure goes wrong: critical incident in a preterm infant ». *SWISS SOCIETY OF NEONATOLOGY*. [En ligne] mai 2012. <http://www.neonet.ch/assets/cotm/2012-05/cotm-mai-2012.pdf>. Consulté le 22 avril 2015.
66. RADIOMETER. *Avoiding preanalytical errors - in capillary blood gas testing*. Danemark : Radiometer, 2008. 26 p.
67. ERNST, Dennis J et ERNST, Catherine. *The lab draw answer book*. Second Edition. Corydon, Indiana : Center for Phlebotomy Education Inc, 2017. 435 p.
68. HIGGINS, Chris. « Central venous blood gas analysis ». *Acutecaretesting.org*. [En ligne] 2011. <http://acutecaretesting.org/en/articles/central-venous-blood-gas-analysis>. Consulté en ligne le 22 avril 2015.

69. McCALL, Ruth E, et TANKERSLEY, Cathie M. *Phlebotomy Essentials*. sixième édition. Pennsylvania : Wolters Kluwer, 2015. 588 p.
70. SALEM, Amina Hemida. « Correlation between Arterial and Central Venous Blood Gas Values in Critically Ill Patients ». *IJAR*. 2014, Vol. 2, Issue 4, p. 1031-1038.
71. THE AMERICAN COLLEGE OF OBSTETRICIANS AND GYNECOLOGISTS. « Umbilical Cord Blood Gas and Acid-Base Analysis. ACOG Committee Opinion No. 348 ». *Obstet Gynecol*. novembre 2006 (reaffirmed 2012), Vol. 108, p. 1319-1322.
72. FALCOZ, P.-E. et CAPELLIER, G. Principes et indications de l'ECMO en pathologie pulmonaire de l'adulte. *EM consulte*. [En ligne] 2009. <http://www.em-consulte.com/article/216518/principes-et-indications-de-l-ecmo-en-pathologie-pdf>. Consulté le 22 avril 2015.
73. CHAUHAN, Sandeep et SUBIN, S. « Extracorporeal membrane oxygenation - An anesthesiologist's perspective - Part II: Clinical and technical consideration ». *Annals of Cardiac Anaesthesia*. 2012, Vol. 15, No 1, p. 69-82.
74. GROUPE CSA. *Établissements effectuant la collecte d'échantillons primaires et laboratoire d'analyses de biologie médicale – Sécurité du patient et qualité des soins – Exigences pour la collecte, le transport et la conservation des échantillons*. mars 2013 (réaffirmée en 2017). 55 p. Z316.7-F12.
75. SCHMIDT, C. et MÜLLER-PLATHE, O. « Stability of pO₂, pCO₂ and pH in heparinized Whole Blood Samples: Influence of Storage Temperature with Regard to Leucocyte Count and Syringe Material ». *Eur J Clin Chem Clin Biochem*. 1992, Vol. 30, No 11, p. 767-773.
76. MOHAMMADHOSEINI, Elham, et autres. « Effect of Sample Storage Temperature and Time Delay on Blood Gases, Bicarbonate and pH in Human Arterial Blood Samples ». *Iran Red Crescent Med J*. mars 2015, Vol. 17, No 3, p. 1-4.
77. BEAULIEU, Martin, LAPOINTE, Yves, et VINET, Bernard. « Stability of Po₂, Pco₂, and pH in Fresh Blood Samples Stored in a Plastic Syringe with Low Heparin in Relation to Various Blood-Gas and Hematological Parameters ». *Clinical Biochemistry*. mars 1999, Vol. 32, No 2, p. 101-107.
78. WIWANITKIT, Viroj. « Glass syringes are better than plastic for preserving arterial blood gas for oxygen partial pressure determination: an explanation based on nanomaterial composition ». *Int J of Nanomedicine*. 2006, Vol. 1, No 2, p. 223-224.
79. KNOWLES, Thomas P., et autres. « Effects of Syringe Material, Sample Storage Time, and Temperature on Blood Gases and Oxygen Saturation in Arterialized Human Blood Samples ». *Respir Care*. juillet 2006, Vol. 51, No 7, p. 732-736.
80. TOFFALETTI, John G. « Effect of small air bubbles on changes in blood pO₂ and blood gas parameters: calculated vs. measured effects ». *acutetesting.org*. [En ligne] <http://acutecaretesting.org/en/articles/effect-of-small-air-bubbles-on-changes-in-blood-po2-and-blood-gas-parameters>. Consulté le 29 avril 2015.
81. PEDRO FERREIRA, Joao, et autres. « Stability of blood gases when refrigerated ». *NZ J Med Lab Sci*. 2012, Vol. 66, p. 42-45.
82. TOFFALETTI, John, et autres. « Lactate Measured in Diluted and Undiluted Whole Blood and Plasma: Comparison of Methods and Effect of Hematocrit ». *Clin Chem*. 1992, Vol. 38, No 12, p. 2430-2434.

83. KOST, Gerald J., et autres. « Whole-Blood Glucose and Lactate ». *Arch Pathol Lab Med*. août 2000, Vol. 124, p. 1128-1134.
84. Siemens Healthcare Diagnostics Inc. *Minimizing Pre-Analytical Error in Blood Gas Testing*. 2012. 11 p.
85. ANDERSEN, O., et autres. « Preanalytical handling of samples for measurement of plasma lactate in HIV patients ». *Scand J Clin Lab Invest*. 2003, Vol. 63, 6, p. 449-454.
86. Mayo Clinic Mayo Medical Laboratories. *Fiche sur « Carbon Monoxide, Blood »*. [En ligne] <http://www.mayomedicallaboratories.com/test-catalog/Specimen/8649>. Consulté le 12 août 2015.
87. VREMAN, Hendrick J, et autres. « Analysis for Carboxyhemoglobin by Gas Chromatography and Multicomponent Spectrophotometry Compared ». *Clin Chem*. 1987, Vol. 33, No 5, p. 694-697.
88. KUNSMAN, Gary W., et autres. « Carbon Monoxide Stability in Stored Postmortem Blood Samples ». *Journal of Analytical Toxicology*. octobre 2000, Vol. 24, p. 572-578.
89. GHANEM, et autres. « Stability of Carboxyhaemoglobin in Blood Samples at Different Periods and Temperatures: A Forensic and Toxicological Tool for Diagnosis ». *J Clin Toxicol*. 2012, Vol. 2, Issue 8, p 1-4.
90. *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*. Ottawa : Ministère de la Justice du Canada, dernière modification le 20 juin 2017. DORS/2017-137.
91. ORDRE PROFESSIONNEL DES TECHNOLOGISTES MÉDICAUX DU QUÉBEC. *Transport et conservation des échantillons dans le domaine de la biologie médicale: Règles de pratique*. Quatrième édition. Montréal : OPTMQ, 2010. 71 p.
92. MCKANE, Michael H., et autres. « Sending Blood Gas Specimens Through Pressurized Transport Tube Systems Exaggerates the Error in Oxygen Tension Measurements Created by the Presence of Air Bubbles ». *Anesth Analg*. 1995, Vol. 81, p. 179-182.
93. COLLINSON, P.O., et autres. « Changes in blood gas samples produced by a pneumatic tube system ». *J Clin Pathol*. 2002, Vol. 55, p. 105-107.
94. LU, Jin-Ying, et autres. « Effects of Air Bubbles and Tube Transportation on Blood Oxygen Tension in Arterial Blood Gas Analysis ». *J Formos Med Assoc*. 2003, Vol. 102, No 4, p. 246-249.
95. ASTLES, Rex J, et autres. « Pneumatic Transport Exacerbates Interference of Room Air Contamination in Blood Gas Samples ». *Arch Pathol Lab Med*. 1996, Vol. 120, p. 642-647.
96. HIGGINS, Chris. « Pneumatic tube transport of blood samples - an update ». *Acutecaretesting.org*. [En ligne] Octobre 2015. <https://acutecaretesting.org/en/articles/pneumatic-tube-transport-of-blood-samples--an-update>. Consulté le 21 septembre 2017.
97. PETER, Victor J, et autres. « Agreement between paired blood gas values in samples transported either by a pneumatic system or by human courier ». *Clin Chem Lab Med*. 2011, Vol. 49, No 8, p. 1303-1309.
98. *Loi sur les produits dangereux*. Ottawa : Ministère de la Justice du Canada, dernière modification le 12 décembre 2016. L.R.C., ch. H-3.

99. Règlement sur l'information concernant les produits contrôlés. (RLRQ, chapitre S2.1, r.8).
100. Instrumentation Laboratory. *Mode d'emploi GEM Premier 3000*. Rev: 1.0. Paris : Instrumentation Laboratory, novembre 2002. 138 p.
101. PRICE, Christopher P., ST. JOHN, Andrew, et HICKS, Jocelyn M. *Point of Care Testing, Chapter 3: Benchtop Instruments for Point-of-Care Testing*, deuxième édition. Washington, DC : AACC Press, 2004. 506 p.
102. HIGGINS, Chris. « Base Excess: the basics ». *Acutecaretesting.org*. [En ligne] octobre 2017. [https://acutecaretesting.org/-/media/acutecaretesting/files/pdf/base-excess--the-basics\(1\).pdf](https://acutecaretesting.org/-/media/acutecaretesting/files/pdf/base-excess--the-basics(1).pdf). Consulté le 18 janvier 2018.
103. MARTIN, Laurence. *All You Really Need to Know to Interpret Arterial Blood Gases*. Second Edition. New York : Lippincott Williams & Wilkins, 1999. 254 p.
104. HAYMOND, Shannon, et autres. « Laboratory Assessment of Oxygenation in Methemoglobinemia ». *Clin Chem*. 2005, Vol. 51, No 2, p. 434-444.
105. CHAN, Edward D., CHAN, Michael M., et CHAN, Mallory M. « Pulse oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations ». *Respir Med*. 2013, Vol. 107, p. 789-799.
106. POTTECHER, J., BOUZOU, G., et VAN DE LOUW, A. « Monitoring de la saturation de pouls: intérêts et limites ». *Réanimation*. 2003, Vol. 12, p. 30-36.
107. Masimo Corporation. *Rad-57 Masimo Rainbow SET Signal Extraction Pulse Co-Oximeter Manuel de l'utilisateur*. Irvine, CA : Masimo Corporation, 2010. 76 p.
108. CARLSSON, Christian J., et autres. « An evaluation of the interference of hydroxycobalamin with chemistry and co-oximetry tests on nine commonly used instruments ». *Scandinavian Journal of Clinical & Laboratory Investigations*. 2011, Vol. 71, p. 378-386.
109. JANGWOEN, Lee. « Potential Interference by Hydroxocobalamin on Cooximetry Hemoglobin Measurements During Cyanide and Smoke Inhalation Treatments ». *Annals of Emergency Medicine*. juin 2007, Vol. 49, No 6, p. 802-805.
110. INTERNATIONAL FEDERATION OF CLINICAL CHEMISTRY, SCIENTIFIC DIVISION. « IFCC Recommendation on sampling, transport and storage for the determination of the concentration of ionized calcium in whole blood, plasma and serum ». *Journal of Automatic Chemistry*. 1991, Vol. 13, No 5, p. 235-239.
111. HIGGINS, Chris. « Ionized calcium ». *Acturecaretesting.org*. [En ligne] July 2007. <https://acutecaretesting.org/en/articles/ionized-calcium>.
112. MADIEDO, G, et autres. « Air bubbles and temperature effect on blood gas analysis ». *J Clin Pathol*. 1980, Vol. 33, p. 864-867.
113. BISWAS, C.K., et autres. « Blood gas analysis: effect of air bubbles in syringe and delay in estimation ». *British Medical Journal*. mars 1982, Vol. 284, p. 923-927.
114. Greiner bio-one. *Evacuated Blood Collection System For In Vitro Diagnostic Use*. [En ligne] https://www.gbo.com/fileadmin/user_upload/Downloads/IFU_Instructions_for_Use/IFU_Instructions_for_Use_Preanalytics/English/980200B_0722001R5_IFU_VenousBloodCollection.pdf. Consulté le 17 août 2015.

115. BD Diagnostics Preanalytical Systems. *BD Vacutainer Venous Blood Collection Tube Guide*. 2010 [En ligne].
https://www.bd.com/vacutainer/pdfs/plus_plastic_tubes_wallchart_tubeguide_VS5229.pdf
. consulté le 17 août 2015.
116. BOWEN, Raffick A.R., et autres. « Impact of blood collection devices on clinical chemistry assays ». *Clinical Biochemistry*. 2010, Vol. 43, p. 4-25.
117. D'ORAZIO, P., et autres. « *Effects of Blood Clots on Electrochemical Sensors in Systems for Critical Care and Point-of-Care Testing* ». Lexington, MA : Instrumentation Laboratory, 2004. 4 p.
118. GUDER, Walter, G., et autres. *Diagnostic Samples: From the Patient to the Laboratory*. quatrième édition (mise à jour). Weinheim, Allemagne : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. 113 p.
119. SHAPIRO, B.A. « Temperature correction of blood gas values ». *Respir Care Clin N Am*. septembre 1995, Vol. 1, No 1, p. 69-76.
120. HIGGINS, Chris. « Temperature correction of blood gas and pH measurement - an unresolved controversy ». *Acutetesting.org*. [En ligne] janvier 2016.
<https://acutecaretesting.org/en/articles/temperature-correction-of-blood-gas-and-ph-measurement--an-unresolved-controversy>. Consulté le 2 février 2016.
121. MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX DU QUÉBEC. *Obligation pour tous les laboratoires de biologie médicale du Québec de mettre en place des contrôles internes de qualité et participer à des contrôles externes de qualité, notamment ceux offerts par le Laboratoire de santé publique du Québec*. 2010-09-10. Circulaire No 2010-020.
122. TOFFALETTI, John G., et autres. « Validation of a quality assessment system for blood gas and electrolyte testing ». *Clinica Chimica Acta*. 2007, Vol. 382, p. 65-70.
123. Radiometer Medical ApS (MOLRENZEN, Pia et DAL KNUDBY, Malene). QC3 - the automatic quality control system on the ABL80 FLEX. Bulletin No. 33 2008. 11 p.
124. MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DE SERVICES SOCIAUX DU QUÉBEC. *Organisation territoriale des services de biologie médicale*. juin 2005. 37 p.
125. BRINDLEY, Peter G, et autres. « Falsely elevated point-of-care lactate measurement after ingestion of ethylene glycol ». *CMAJ*. 10 avril 2007, Vol. 176, No 8, p. 1097-1099.
126. GOUGOUX, André. « L'hypokaliémie et l'hyperkaliémie ». *Le clinicien*. septembre 2002, p. 131-137.
127. GLATTER, Robert D. et WINTERS, Michael E. « What is the Clinical Utility of Obtaining Serum Lactate and Arterial Base Deficit Values in Patients With Early Signs of Sepsis and Septic Shock? ». *Medscape*. [En ligne] janvier 2009.
<http://www.medscape.com/viewarticle/585490>. Consulté le 27 septembre 2015.
128. NATIONAL COMMITTEE FOR CLINICAL LABORATORY STANDARDS. *Ionized Calcium Determinations: Pre-collection Variables, Specimen Choice, Collection, and Handling; Approved Guideline - Second Edition*. NCCLS document C31-A2. Wayne, PA : NCCLS, 2001. 30 p.
129. MILLETTE, Jacques. « Monoxyde de carbone, Dans la mire de la santé du travail et de la santé publique ». *Prévention au travail*. Printemps 2002, p. 23-25.

130. Institut national de santé publique du Québec. *Maladies à déclaration obligatoire d'origine chimique: révision des seuils de déclaration par les laboratoires*. Québec : Gouvernement du Québec, 2016. 16 p.

131. Direction de la santé publique de Montréal-Centre. *L'intoxication au monoxyde de carbone, Un diagnostic pas toujours facile à poser!* Montréal : DSP, mars 2001. 5 p.

132. *Loi sur la santé publique*. (RLRQ, chapitre S-2.2).

133. *Règlement sur certaines activités professionnelles pouvant être exercées par un inhalothérapeute*. (RLRQ, chapitre c.M-9, a. 3).

