

# SPÉCIFICATION TECHNIQUE

ISO/TS  
16976-3

Deuxième édition  
2019-03

---

---

## Appareils de protection respiratoire — Facteurs humains —

Partie 3:  
**Réponses physiologiques et  
limitations en oxygène et en dioxyde  
de carbone dans l'environnement  
respiratoire**

*(<https://standards.iteh.ai>)*  
*Respiratory protective devices — Human factors —*  
*Part 3: Physiological responses and limitations of oxygen and*  
*limitations of carbon dioxide in the breathing environment*

ISO/TS 16976-3:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/dc066132-2f2b-4408-a4e7-4169fe823518/iso-ts-16976-3-2019>



Numéro de référence  
ISO/TS 16976-3:2019(F)

© ISO 2019

**iTeh Standards**  
**(<https://standards.iteh.ai>)**  
**Document Preview**

[ISO/TS 16976-3:2019](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/dc066132-2f2b-4408-a4e7-4169fe823518/iso-ts-16976-3-2019>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2019

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8  
CH-1214 Vernier, Genève  
Tél.: +41 22 749 01 11  
Fax: +41 22 749 09 47  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

	Page
<b>Avant-propos</b>	<b>iv</b>
<b>Introduction</b>	<b>v</b>
<b>1 Domaine d'application</b>	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b>	<b>1</b>
<b>3 Termes et définitions</b>	<b>1</b>
<b>4 Symboles et abréviations</b>	<b>4</b>
<b>5 Oxygène et dioxyde de carbone dans l'environnement respiratoire: réponses physiologiques et limitations</b>	<b>5</b>
5.1 Généralités	5
5.2 Échange d'oxygène et de dioxyde de carbone gazeux dans les poumons chez l'homme	6
5.3 Transport de l'oxygène et de dioxyde de carbone dans le sang	6
5.4 Oxygène, dioxyde de carbone et contrôle de la respiration	8
5.5 Effets physiologiques de l'hyperoxie	9
5.6 Effets physiologiques de l'hypoxie	10
5.7 Effets physiologiques de l'hypercapnie	13
5.8 Pertinence pour l'utilisation d'appareils de protection respiratoire (APR)	16
5.9 Interprétation des résultats	21
5.10 Importance des résultats	21
<b>Bibliographie</b>	<b>23</b>

**iTeh Standards**  
**(<https://standards.iteh.ai>)**  
**Document Preview**

[ISO/TS 16976-3:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/dc066132-2f2b-4408-a4e7-4169fe823518/iso-ts-16976-3-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/dc066132-2f2b-4408-a4e7-4169fe823518/iso-ts-16976-3-2019>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 94/SC 15, *Appareils de protection respiratoire*. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/dc066132-2f2b-4408-a4e7-4169fe823518/iso-ts-16976-3-2019>

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO/TS 16976-3:2011), qui a fait l'objet d'une révision technique. Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- ajout d'un nouveau [Tableau 3](#) fournissant des limites de CO<sub>2</sub> en cas de respiration dans un environnement présentant une résistance respiratoire imposée;
- explication des nouvelles limites de CO<sub>2</sub> tirées d'une étude.

Une liste de toutes les parties de la série ISO/TS 16976 se trouve sur le site web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/fr/members.html](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

Il est recommandé à des millions de travailleurs à travers le monde de porter un appareil de protection respiratoire (APR), en raison de la nature de leurs activités. Il existe un nombre considérable d'APR différents, allant des appareils filtrants aux appareils avec alimentation en gaz respirable, en passant par les appareils de protection respiratoire de plongée (UBA, «underwater breathing apparatus») ainsi que les appareils de protection respiratoire pour l'évacuation permettant de s'échapper en cas d'urgence (appareil isolant autonome d'évacuation ou SCSR [«self-contained self-rescuer»]). Beaucoup de ces appareils assurent une protection contre les contaminants en suspension dans l'air sans fournir d'air ou d'autres mélanges de gaz respirables à l'utilisateur. L'utilisateur est donc potentiellement protégé contre les particules ou autres toxines en suspension dans l'air, mais reste exposé à un mélange de gaz ambiant très différent de celui normalement présent au niveau de la mer. Un APR qui fournit de l'air respirable à l'utilisateur, par exemple un appareil de protection respiratoire isolant autonome (SCBA) ou un UBA, peut ne pas fonctionner correctement ou mal éliminer le dioxyde de carbone présent dans la zone de respiration, exposant ainsi l'utilisateur à un environnement de gaz respirable altéré. Dans certains cas particuliers, l'APR expose intentionnellement le porteur du masque à des mélanges de gaz respiratoires très différents du mélange de gaz atmosphérique normal contenant environ 79 % d'azote et 21 % d'oxygène ainsi que des traces d'autres gaz. Ces circonstances particulières concernent l'aviation, la plongée à titre professionnel ou militaire, et le milieu hospitalier.

Les mélanges de gaz respirables différant de l'atmosphère normale peuvent avoir des effets importants sur la plupart des systèmes physiologiques. De nombreuses réactions physiologiques faisant suite à une exposition à des niveaux faibles ou élevés d'oxygène ou de dioxyde de carbone peuvent influer lourdement sur la capacité à travailler en sécurité, à s'échapper d'une situation dangereuse et à estimer correctement les dangers présents dans un environnement. En outre, si elle est suffisamment importante, une modification de l'environnement en gaz respirables peut s'avérer dangereuse, voire mortelle. Il est donc crucial pour la sécurité et la santé du travailleur de surveiller et de contrôler le gaz respirable, et de limiter l'exposition de l'utilisateur à des variations de la concentration ou de la pression partielle de l'oxygène et du dioxyde de carbone.

Le présent document traite de la composition gazeuse de l'atmosphère terrestre; de la physiologie fondamentale du métabolisme à l'origine du dioxyde de carbone dans l'organisme, de la physiologie respiratoire et du transport de l'oxygène vers les cellules et les tissus de l'organisme; et du transport subséquent du dioxyde de carbone des tissus jusqu'aux poumons, en vue de son élimination hors du corps. Après la physiologie fondamentale de la respiration, le présent document aborde les réponses physiologiques face aux atmosphères respirables altérées (hyperoxyie, hypoxie) et aux effets d'un excès de dioxyde de carbone dans le sang (hypercapnie). Des exemples sont tirés de la littérature biomédicale correspondante.

Enfin, il traite de l'effet d'une modification des concentrations/pressions partielles de l'oxygène et du dioxyde de carbone sur l'utilisation des appareils de protection respiratoire. Le contenu du présent document est destiné à servir de base pour faire progresser la recherche et le développement des APR, dans le but de réduire au minimum les variations de l'environnement respiratoire, et de minimiser ainsi l'impact physiologique de leur emploi sur l'utilisateur. Si cela est possible, tous les travailleurs pour lesquels il est recommandé, en fonction de leur profession, de porter un APR verront leur santé et leur sécurité améliorées.



# Appareils de protection respiratoire — Facteurs humains —

## Partie 3:

## Réponses physiologiques et limitations en oxygène et en dioxyde de carbone dans l'environnement respiratoire

### 1 Domaine d'application

Le présent document présente:

- une description de la composition de l'atmosphère terrestre;
- une description de la physiologie de la respiration humaine;
- une étude de la littérature biomédicale actuellement disponible sur les effets du dioxyde de carbone et de l'oxygène sur la physiologie humaine;
- des exemples de circonstances environnementales dans lesquelles la pression partielle de l'oxygène ou du dioxyde de carbone peut différer de celle observée au niveau de la mer.

Le présent document identifie les valeurs limites de la concentration en oxygène et en dioxyde de carbone et la durée pendant laquelle elles ne devraient pas causer de détresse physiologique. Pour illustrer de manière adéquate les effets sur la physiologie humaine, le présent document traite à la fois des expositions à haute altitude, avec de faibles pressions partielles, et de la plongée sous-marine, qui implique des conditions de pressions partielles élevées. Le présent document aborde également l'utilisation d'appareils de protection respiratoire et les diverses intensités d'activité pouvant donner lieu au port d'un APR.

<https://standards.iso.org/standards/iso/dc066132-2f2b-4408-a4e7-4169fe823518/iso-ts-16976-3-2019>

### 2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>;
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>.

#### 3.1

alvéoles

alvéole (singulier)

sacs alvéolaires terminaux des poumons dans lesquels a lieu un échange de gaz respirable entre l'air alvéolaire et le capillaire pulmonaire

Note 1 à l'article: Les alvéoles constituent l'unité anatomique et fonctionnelle des poumons.

### 3.2

#### **température et pression ambiantes saturantes**

##### **ATPS**

conditions normales pour l'expression des paramètres de ventilation liés à l'air expiré

Note 1 à l'article: Température ambiante et pression atmosphérique réelles; pression de vapeur saturante.

### 3.3

#### **température et pression corporelles saturantes**

##### **BTPS**

conditions normales pour l'expression des paramètres de ventilation

Note 1 à l'article: Température corporelle (37 °C), pression atmosphérique 101,3 kPa (760 mmHg) et pression de vapeur d'eau saturante (6,27 kPa).

### 3.4

#### **carbaminohémoglobine**

##### **HbCO<sub>2</sub>**

hémoglobine ayant fixé du dioxyde de carbone sur un site tissulaire en vue de son transport vers les poumons

### 3.5

#### **espace mort**

<anatomie> régions conductrices des voies respiratoires ne contenant pas d'alvéoles et, par conséquent, ne donnant lieu à aucun échange gazeux

Note 1 à l'article: Ces zones incluent le nez, la bouche, la trachée, les bronches et les voies respiratoires inférieures. Ce volume est généralement de 150 ml chez un homme de taille moyenne.

### 3.6

#### **espace mort**

<physiologie> somme de tous les espaces morts anatomiques et de toutes les alvéoles sous-irriguées (avec débit sanguin réduit) ne contribuant pas aux échanges gazeux

Note 1 à l'article: Le volume de l'espace mort physiologique peut varier en fonction du degré de ventilation. Ainsi, l'espace mort physiologique correspond à la fraction du volume courant qui ne contribue pas aux échanges gazeux dans les poumons.

### 3.7

#### **dyspnée**

sensation de manque d'air, de respiration difficile ou pénible, ou sensation d'essoufflement

### 3.8

#### **dioxyde de carbone en fin d'expiration**

##### **ET CO<sub>2</sub>**

fraction volumique du dioxyde de carbone dans l'haleine au niveau de la bouche à la fin de l'expiration

Note 1 à l'article: Le taux de dioxyde de carbone en fin d'expiration est très proche de celui du dioxyde de carbone alvéolaire.

### 3.9

#### **hémoglobine**

##### **Hb**

molécules particulières contenues dans tous les globules rouges qui fixent l'oxygène ou le dioxyde de carbone en conditions physiologiques normales et qui transportent l'oxygène ou le dioxyde de carbone en direction ou en provenance des tissus de l'organisme

### 3.10

#### **hypercapnie**

#### **hypercarbie**

quantité excessive de dioxyde de carbone dans le sang

**3.11****hyperoxyie**

fraction volumique ou pression partielle de l'oxygène dans l'environnement respiratoire supérieure à celle de l'atmosphère terrestre au niveau de la mer, entraînant un excès d'oxygène dans l'organisme

Note 1 à l'article: Ceci peut se produire lorsqu'une personne se trouve dans des conditions hyperbariques (plongée), est soumise à des mélanges de gaz respiratoires contenant une fraction élevée en oxygène, ou lors de certaines procédures médicales.

**3.12****hypoxie**

fraction volumique ou pression partielle de l'oxygène dans l'environnement respiratoire inférieure à celle de l'atmosphère terrestre au niveau de la mer

Note 1 à l'article: L'hypoxie anémique est due à une réduction de la capacité de transport de l'oxygène par le sang suite à une diminution de l'hémoglobine totale ou une altération des constituants de l'hémoglobine.

**3.13****hypocapnie**

fraction volumique ou pression partielle du dioxyde de carbone dans l'environnement respiratoire ou dans l'organisme inférieure à celle de l'atmosphère terrestre au niveau de la mer

Note 1 à l'article: Ceci se produit généralement dans les conditions d'hyperventilation (plongée) ou dans les situations médicales entraînant une réduction du dioxyde de carbone dans l'organisme.

**3.14****inotrope**

affectant la force de contraction musculaire

Note 1 à l'article: Un effet inotrope négatif (respectivement positif) réduit (respectivement augmente) la force de contraction musculaire (muscle squelettique ou muscle cardiaque par exemple).

**3.15****medulla oblongata, pons**

zones du cerveau où se situe le centre du contrôle respiratoire

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/dc066132-2f2b-4408-a4e7-4169fe823518/iso-ts-16976-3-2019>

**3.16****oxyhémoglobine****HbO<sub>2</sub>**

hémoglobine ayant fixé de l'oxygène dans les poumons en vue de son transport vers les tissus de l'organisme

**3.17****pression partielle**

pression exercée par chacun des constituants d'un mélange gazeux pour former une pression totale

**EXEMPLE** L'air est un mélange d'oxygène, d'azote, de dioxyde de carbone, de gaz inertes (argon, néon) et de vapeur d'eau. La fraction volumique d'oxygène dans l'air est d'environ 20,9 %. Au niveau de la mer, la pression atmosphérique totale est de 101,3 kPa (760 mmHg). La pression de vapeur d'eau est de 6,26 kPa (47 mmHg) (saturation totale dans les poumons à une température corporelle d'environ 37 °C). La pression partielle de l'oxygène est obtenue en soustrayant la pression de vapeur de la pression atmosphérique totale puis en multipliant la fraction volumique de l'oxygène par la pression atmosphérique en conditions sèches. Ainsi,  $101,3 - 6,3 = 95,1$  kPa ( $760 \text{ mmHg} - 47 \text{ mmHg} = 713 \text{ mmHg}$ );  $0,21 \times 95,1 \text{ kPa} = 19,9 \text{ kPa}$  (= 149 mmHg). Si la pression ambiante augmente (comme en plongée), la pression partielle de chaque constituant gazeux augmente. Ainsi, à 2 atm en valeur absolue, la pression partielle de l'oxygène dans un gaz sec est de  $101,3 \times 2 = 202,6 \text{ kPa}$  ( $760 \text{ mmHg} \times 2 = 1520 \text{ mmHg}$ );  $0,21 \times 202,6 = 42,6 \text{ kPa}$  ( $0,21 \times 1520 \text{ mmHg} = 319 \text{ mmHg}$ ).

Note 1 à l'article: La pression partielle dépend de la fraction volumique du constituant gazeux.

Note 2 à l'article: La pression partielle d'un gaz peut augmenter ou diminuer même lorsque sa fraction volumique relative reste inchangée. La pression partielle entraîne la diffusion du gaz à travers les membranes cellulaires et est donc plus importante que la fraction volumique relative du gaz.

### 3.18 quotient respiratoire

$R_Q$

rapport entre le volume de dioxyde de carbone expiré et le volume d'oxygène consommé

Note 1 à l'article:  $R_Q$  est calculé comme suit:

$$R_Q = \frac{VCO_2}{VO_2}$$

où

$VCO_2$  est le volume de dioxyde de carbone expiré;

$VO_2$  est le volume d'oxygène consommé.

Note 2 à l'article:  $R_Q$  donne une estimation de la composition des substrats utilisés dans des conditions de respiration et de métabolisme à l'équilibre. Au repos,  $R_Q = 0,82$ , ce qui reflète l'utilisation de substrats dont la source d'énergie principale est constituée de glucides et de graisses.

### 3.19 système respiratoire

organes tubulaires et caverneux (bouche, trachée, bronches, poumons, alvéoles, etc.) et structures assurant la ventilation pulmonaire et les échanges gazeux entre l'air ambiant et le sang

### 3.20 température et pression normales, à sec

STPD

conditions normales pour l'expression de la consommation d'oxygène

Note 1 à l'article: Température normale (0 °C) et pression normale (101,3 kPa, 760 mmHg), air sec (humidité relative de 0 %).

### 3.21

#### ventilation (générale)

processus d'échange d'air entre les poumons et l'environnement ambiant

[ISO/TS 16976-3:2019](https://standards.iteh.ai/iso/iso-16976-3-2019)

## 4 Symboles et abréviations

APFR appareil de protection respiratoire filtrant («air purifying respirator»)

SC surface corporelle, exprimée en  $m^2$

PAPR appareil de protection respiratoire filtrant à ventilation assistée («powered air purifying respirator»)

SAR appareil de protection respiratoire alimenté en gaz respirable («supplied air respirator»)

SCBA appareil de protection respiratoire isolant autonome («self-contained breathing apparatus»)

UBA appareil de protection respiratoire de plongée («underwater breathing apparatus»)

$pCO_2$  pression partielle du dioxyde de carbone

$p_{ACO_2}$  pression partielle alvéolaire du dioxyde de carbone

$p_aCO_2$  pression partielle artérielle du dioxyde de carbone

$p_vCO_2$  pression partielle veineuse du dioxyde de carbone

$pO_2$	pression partielle de l'oxygène
$pAO_2$	pression partielle alvéolaire de l'oxygène
$p_aO_2$	pression partielle artérielle de l'oxygène
$p_iO_2$	pression partielle de l'oxygène inspiré
$p_vO_2$	pression partielle veineuse de l'oxygène
$V_E$	ventilation minute (expiration) volume total expiré par les poumons en 1 min, en l/min (BTPS)
$V_I$	ventilation minute (inspiration) volume total d'air inspiré dans les poumons en 1 min, en l/min (BTPS)
$VO_2$	consommation d'oxygène volume d'oxygène consommé par les tissus humains, en l/min, dérivé de la différence entre le volume minute de l'oxygène inhalé et le volume minute de l'oxygène expiré.
$VCO_2$	vitesse d'élimination du dioxyde de carbone volume de dioxyde de carbone produit par minute, dérivé du produit de la ventilation minute et de la différence entre les concentrations en pourcentage du dioxyde de carbone expiré et inhalé

## 5 Oxygène et dioxyde de carbone dans l'environnement respiratoire: réponses physiologiques et limitations

### Document Preview

#### 5.1 Généralités

L'atmosphère terrestre est composée principalement d'azote et d'oxygène, plus quelques gaz à l'état de traces. La concentration du dioxyde de carbone dans l'air est très faible (environ 0,03 %). Les humains requièrent de l'oxygène comme élément principal dans la production d'énergie au cours du métabolisme cellulaire aérobie. De faibles concentrations ou de faibles pressions partielles atmosphériques d'oxygène (telles que celles rencontrées à haute altitude) peuvent limiter la production d'énergie métabolique, ce qui peut compromettre le fonctionnement physiologique. En revanche, les faibles concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère respiratoire ne semblent pas avoir de conséquence physiologique. Le dioxyde de carbone est un sous-produit du métabolisme cellulaire et c'est cette source de dioxyde de carbone, et non la concentration atmosphérique normale, qui provoque des effets physiologiques. Cependant, une augmentation du niveau de dioxyde de carbone dans l'environnement, comme dans la zone de respiration des appareils respiratoires ou dans les espaces confinés, peut également avoir de lourdes conséquences sur le système respiratoire.

Des concentrations élevées en oxygène ou en dioxyde de carbone peuvent avoir des répercussions physiologiques dramatiques. L'hyperoxie, en particulier sous des pressions ambiantes supérieures à une atmosphère (atm), telles que celles rencontrées en plongée, peut être toxique et même mortelle pour l'homme. Des concentrations élevées en dioxyde de carbone peuvent également lourdement influer sur la respiration et le métabolisme. Cette revue aborde plusieurs points:

- l'oxygène et le dioxyde de carbone dans le cadre de la physiologie humaine normale;
- les effets physiologiques de l'hypoxie et de l'hyperoxie;
- les effets physiologiques de l'hypercapnie;
- la pertinence pour les appareils de protection respiratoire.