
**Appareils de protection
respiratoire — Facteurs humains —
Partie 4:
Travail de respiration et résistance
respiratoire: limites physiologiques**

iTeh STANDARD PREVIEW
*Respiratory protective devices — Human factors —
Part 4: Work of breathing and breathing resistance: Physiologically
based limits*
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 16976-4:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f36a55f9-e31c-4a57-ae9f-81d00cbf8e91/iso-ts-16976-4-2019>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 16976-4:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f36a55f9-e31c-4a57-ae9f-81d00cbf8e91/iso-ts-16976-4-2019>



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
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et abréviations	2
5 Variations de pression et de volume pendant la respiration	3
5.1 Variations de pression et de volume en l'absence d'un APR.....	3
5.2 Effet de la résistance au débit d'air d'un APR sur les variations de pression et de volume lors de l'utilisation d'un APR.....	6
5.3 Effet d'un APR avec pression statique sur les variations de pression et de volume lors de l'utilisation d'un APR.....	7
5.4 Effet de la résistance au débit d'air et de la pression statique d'un APR sur les variations de pression et de volume lors de l'utilisation d'un APR.....	7
5.5 Effets d'une pression statique élevée.....	7
6 Travail respiratoire (WOB)	8
6.1 Travail physiologique contre travail physique.....	8
6.1.1 Généralités.....	8
6.1.2 Travail statique.....	8
6.1.3 Travail élastique.....	9
6.1.4 Travail physique positif et négatif.....	9
6.2 Calculs du travail inspiratoire.....	9
6.3 Calculs du travail expiratoire.....	10
6.4 Calculs du travail expiratoire total.....	10
6.4.1 Calculs du travail respiratoire fourni par la personne portant un APR.....	10
6.4.2 Calculs du travail respiratoire pour un APR seulement.....	11
6.5 Résistance respiratoire.....	12
6.6 Travail respiratoire physiologiquement acceptable.....	12
7 Autres charges respiratoires	14
7.1 Charge statique.....	14
7.2 Charges élastiques.....	15
7.3 Autres charges.....	15
7.4 Cumul des charges respiratoires.....	15
8 Synthèse	16
Bibliographie	17

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).

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).

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.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 94, *Sécurité individuelle — Équipement de protection individuelle*, sous-comité SC 15, *Appareils de protection respiratoire*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO/TS 16976-4:2012), qui a fait l'objet d'une révision technique. Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- a) rectification des points-clés dans les [Figures 3, 4](#) et [7](#) pour correspondre à la ligne de référence de 50 %;
- b) rectification des légendes dans les [Figures 3, 4, 7](#) et [8](#);
- c) rectification des [Figures 3, 4](#) et [6](#);
- d) clarification sur la résistance au débit d'air et la charge élastique indiqués en [7.4](#).

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.

Introduction

Un appareil de protection respiratoire (APR) est destiné à assurer la protection contre l'inhalation de substances dangereuses. Cependant, cette protection nécessite un effort supplémentaire de la part des muscles respiratoires car ils doivent produire des pressions plus élevées pour compenser les charges respiratoires associées imposées par l'APR.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 16976-4:2019](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f36a55f9-e31c-4a57-ae9f-81d00cbf8e91/iso-ts-16976-4-2019)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f36a55f9-e31c-4a57-ae9f-81d00cbf8e91/iso-ts-16976-4-2019>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 16976-4:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f36a55f9-e31c-4a57-ae9f-81d00cbf8e91/iso-ts-16976-4-2019>

Appareils de protection respiratoire — Facteurs humains —

Partie 4: Travail de respiration et résistance respiratoire: limites physiologiques

1 Domaine d'application

Le présent document décrit la manière de calculer le travail que les muscles respiratoires d'une personne doivent fournir avec et sans les difficultés respiratoires externes imposées par tous les types d'APR, à l'exception des appareils de plongée. Le présent Document décrit les limites des difficultés supplémentaires que les personnes peuvent tolérer et contient les valeurs pouvant être utilisées pour évaluer l'acceptabilité d'un APR.

NOTE Quelques ouvrages traitant de physiologie respiratoire expliquent ces calculs (en l'absence d'un APR), mais la plupart d'entre eux ne les mentionnent pas ou fournissent des explications incomplètes.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 16972, *Appareils de protection respiratoire — Définitions de termes et pictogrammes*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 16972 ainsi que les 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 <http://www.iso.org/obp>;
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>.

3.1

température du corps à pression saturée

BTPS

condition corporelle pour l'expression des paramètres de ventilation

Note 1 à l'article: Température corporelle (37 °C), pression atmosphérique et pression de vapeur d'eau (6,27 kPa) dans un air saturé.

3.2

compliance

variation du volume pulmonaire humain résultant d'une variation de pression

Note 1 à l'article: La compliance est mesurée en l/kPa.

Note 2 à l'article: Ce terme est le terme type pour le comportement élastique des poumons et de la poitrine. La compliance est l'inverse de l'élastance.

**3.3
élastance**

variation de pression résultant d'une variation d'un volume pulmonaire humain donné

Note 1 à l'article: L'élastance est mesurée en kPa/l.

Note 2 à l'article: Ce terme est le terme type pour le comportement élastique d'un APR. L'élastance est l'inverse de la compliance.

**3.4
volume de relaxation**

volume pulmonaire lorsque les muscles respiratoires sont relâchés, c'est-à-dire le volume au début d'une inspiration, également connu en tant que «capacité résiduelle fonctionnelle (CRF)» et «volume de réserve expiratoire (VRE)»

**3.5
volume courant**

V_T
volume à chaque respiration

Note 1 à l'article: Le volume courant est mesuré en litres aux conditions BTPS.

**3.6
capacité vitale
CV**

volume de la plus grande respiration qu'une personne peut prendre, c'est-à-dire la différence de volume entre une inspiration maximale et une expiration maximale

Note 1 à l'article: La capacité vitale est mesurée en litres aux conditions BTPS.

**3.7
travail respiratoire**

WOB
travail requis pour un cycle respiratoire complet

Note 1 à l'article: Le travail respiratoire est mesuré en Joules.

**3.8
travail respiratoire par volume courant**

WOB/V_T
WOB normalisé (équivalent à la pression moyenne sur le volume)

Note 1 à l'article: Le travail respiratoire par volume courant est mesuré en Joules par litre = kPa.

4 Symboles et abréviations

BTPS	température du corps à pression saturée
VRE	volume de réserve expiratoire
CRF	capacité résiduelle fonctionnelle
APR	appareil de protection respiratoire
CV	capacité vitale
WOB	travail respiratoire

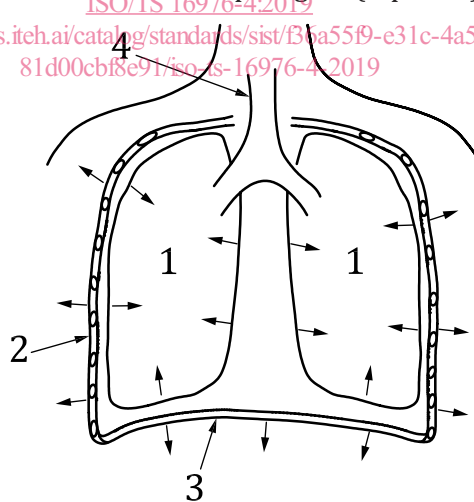
p_{el}	pression nécessaire pour surmonter l'élastance
p_{aw}	pression nécessaire pour surmonter la résistance au débit d'air des voies respiratoires
$p_{i,ext}$	pression nécessaire pour surmonter la résistance inspiratoire au débit d'air de l'APR

5 Variations de pression et de volume pendant la respiration

5.1 Variations de pression et de volume en l'absence d'un APR

Lors d'une inspiration, les muscles inspiratoires se contractent entraînant une augmentation du volume du thorax et un aplatissement du diaphragme. Cette action provoque l'augmentation du volume des poumons. Même en l'absence de résistance au débit d'air, une certaine pression est nécessaire pour augmenter le volume du thorax et des poumons. Le terme utilisé en physiologie respiratoire pour ce comportement élastique est la compliance. Le terme «compliance» est également utilisé dans les domaines juridique et réglementaire; par conséquent, pour éviter toute confusion, on utilisera, à sa place, dans le reste du document, le terme «élastance». Voir la Note 2 à l'article de 3.3, «l'élastance est l'inverse de la compliance». L'élastance décrit le niveau de variation d'un matériau élastique lorsqu'une force ou une pression est appliquée.

La Figure 1 illustre les poumons (repère 1) à l'intérieur de la cage thoracique (repère 2) et le diaphragme (repère 3). Les poumons sont reliés aux voies respiratoires (repère 4). L'élastance des poumons tente d'agir pour les rétracter (sens indiqué par les flèches), à la manière d'un ballon gonflé qui tente de se rétracter afin de réduire son volume. L'élastance du thorax agit pour tenter d'augmenter leur volume. Ainsi, en l'absence d'effort musculaire, les forces qui s'exercent sur le thorax et les poumons s'opposent entre elles et, à un certain volume, seront égales et opposées et conduiront à une position de repos. Le volume pulmonaire auquel cela se produit est désigné par «volume de relaxation». Lors d'une inspiration, le thorax augmente de volume et le diaphragme (repère 3) descend.



Légende

- 1 poumons
- 2 cage thoracique
- 3 diaphragme
- 4 voies respiratoires

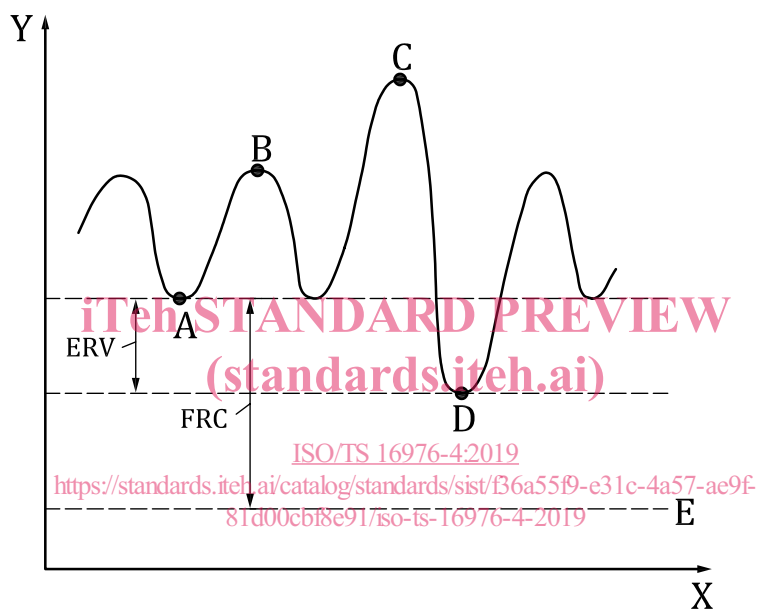
Figure 1 — Représentation schématique du thorax et des poumons d'une personne (vue en coupe transversale)

La Figure 2 illustre/définit les variations se produisant lors de la respiration. L'illustration montre qu'une inspiration commence au point A et que le volume pulmonaire augmente jusqu'à ce qu'il atteigne

le point B, où l'expiration suivante commence. La différence de volume entre les points A et B est le volume de la respiration, désigné par «volume courant».

Une inspiration maximale est indiquée comme le point C et une expiration maximale comme le point D. La différence de volume entre ces deux points correspond à la variation de volume maximale envisageable et est désignée comme la capacité vitale, CV. La plage de CV varie de 3 l à 6 l et dépend de l'âge, de la taille et du sexe de la personne. Même avec un effort expiratoire maximal, un certain volume reste dans les poumons. Si les poumons pouvaient être complètement vidés, le volume représenté par la ligne E serait atteint.

Le point A est celui où les muscles respiratoires sont relâchés et le volume concerné est désigné par «volume de relaxation». Pour désigner ce point, il est également utilisé le terme «volume de réserve expiratoire», VRE, qui peut être calculé comme la différence entre les points A et D. Le troisième terme employé est la «capacité résiduelle fonctionnelle», CRF, qui représente la différence de volume entre les points A et E.

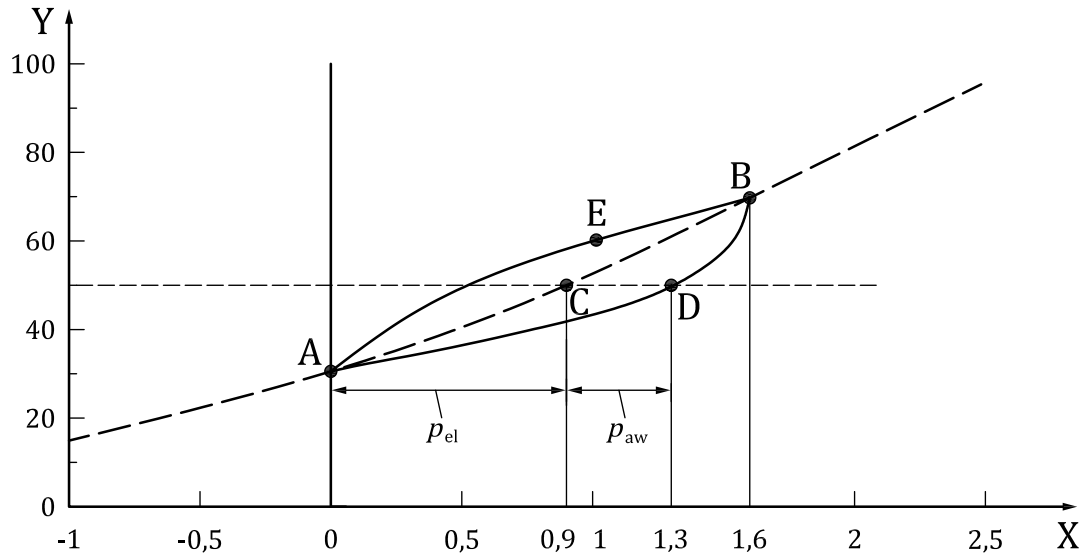


Légende

- X temps
- Y volume pulmonaire
- A début d'une inspiration
- B fin d'une inspiration et début de l'expiration suivante
- C inspiration maximale
- D expiration maximale
- E poumons et thorax complètement vides

Figure 2 — Définitions des variations de volumes

Pour inspirer, un effort est nécessaire pour venir à bout de l'élastance combinée de la cage thoracique et des poumons, ainsi que de la résistance au débit d'air dans les voies respiratoires. La [Figure 3](#) illustre la pression générée et les variations de volume qui en résultent.



Légende

- X pression alvéolaire, en kPa
- Y volume, en pourcentage de CV
- A début d'une inspiration et fin de l'expiration précédente
- B fin d'une inspiration et début de l'expiration suivante
- C un point sur la ligne d'élastance lors d'une inspiration
- D un point sur la ligne combinée d'élastance et de chute de pression lors d'une inspiration
- E un point sur la ligne combinée d'élastance et de chute de pression lors d'une expiration

NOTE La ligne tiretée n'est pas une droite mais sa pente devient moins abrupte à volume faible et à volume élevé.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b36a55f9-e31c-4a57-ae9f-81d00cbf8e91/iso-ts-16976-4-2019>

Figure 3 — Volume pulmonaire en fonction de la pression en l'absence d'un APR

Pour une personne, les muscles génèrent la pression qui, à son tour, génère une variation du volume pulmonaire. Par conséquent, la pression représente la variable indépendante et le volume représente la variable dépendante. C'est le contraire qui se produit pour un APR car, pour celui-ci, c'est la variation de volume dans les poumons (c'est-à-dire le débit de gaz) qui génère une pression due à la résistance au débit d'air. Au début de l'inspiration (point A dans la Figure 3), aucune pression n'est générée, c'est-à-dire qu'il s'agit du volume de relaxation. À la fin de l'inspiration (point B), le volume le plus élevé a été atteint; il s'agit du volume courant, V_T . La ligne tiretée représente l'interaction des pressions et des volumes à partir de l'élastance combinée de la cage thoracique et des poumons. Par exemple, au point C, le volume a connu une variation, passant d'environ 30 % de la CV (au point A) à environ 50 % de la CV. La variation de volume pourrait donc être de 0,9 l. En tenant compte d'une valeur théorique type d'élastance de 1 kPa/l, l'élastance nécessite une variation de pression d'environ 0,9 kPa. La ligne inférieure en trait plein ADB représente la pression totale (élastance plus pression due à la résistance au débit d'air) générée par les muscles respiratoires et la variation de volume résultante lors de l'inspiration. L'expiration suit la ligne supérieure en trait plein BEA. Pour atteindre le volume de 50 % de la CV au cours de l'inspiration (point D), une pression totale d'environ 1,3 kPa est nécessaire. Il s'agit de la somme de la pression d'environ 0,9 kPa requise pour l'élastance totale, p_{el} , et d'une pression supplémentaire d'environ 0,5 kPa pour la résistance au débit d'air des voies respiratoires, p_{aw} . Vers la fin de l'inspiration, le débit diminue et la baisse de pression due à la résistance au débit d'air décroît et l'inspiration prend fin au point B où il n'y a aucun débit. Ainsi, la pression au point B est uniquement due à l'élastance. Le volume courant devient 70 % de la CV – 30 % de la CV = 40 % de la CV, soit une pression résultante de $(0,40 \times 4) \text{ l} \times 1 \text{ kPa/l} = 1,6 \text{ kPa}$. Les courbes inspiratoire et expiratoire se combinent pour former une boucle volume-pression.