
**Appareils de protection respiratoire —
Facteurs humains —**

**Partie 4:
Travail de respiration et de résistance à la
respiration: limites physiologiques**

*Respiratory protective devices — Human factors —
Part 4: Work of breathing and breathing resistance: Physiologically
based limits*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 16976-4:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/37e37cde-03b2-4eba-bae8-8065008b8a38/iso-ts-16976-4-2012>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 16976-4:2012](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/37e37cde-03b2-4eba-bae8-8065008b8a38/iso-ts-16976-4-2012)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/37e37cde-03b2-4eba-bae8-8065008b8a38/iso-ts-16976-4-2012>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2012

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 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, définitions, symboles et abréviations	1
3.1 Termes et définitions	1
3.2 Symboles et abréviations	2
4 Variations de pression et de pression pendant la respiration	2
4.1 Variations de pression et de volume en l'absence d'un APR	2
4.2 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
4.3 Effet d'un APR avec pression statique sur les variations de pression et de volume lors de l'utilisation d'un APR	6
4.4 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
4.5 Effets d'une pression statique élevée	8
5 Travail respiratoire (W_{OB})	8
5.1 Travail physiologique contre travail physique	8
5.2 Calculs du travail inspiratoire	9
5.3 Calculs du travail expiratoire	10
5.4 Calculs du travail expiratoire total	10
5.5 Résistance respiratoire	12
5.6 Travail respiratoire physiologiquement acceptable	12
6 Autres charges respiratoires	14
6.1 Charge statique	14
6.2 Charges élastiques	14
6.3 Autres charges	14
6.4 Cumul des charges respiratoires	15
7 Synthèse	15
Bibliographie.....	16

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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

Dans d'autres circonstances, en particulier lorsqu'il existe une demande urgente du marché, un comité technique peut décider de publier d'autres types de documents:

- une Spécification publiquement disponible ISO (ISO/PAS) représente un accord entre les experts dans un groupe de travail ISO et est acceptée pour publication si elle est approuvée par plus de 50 % des membres votants du comité dont relève le groupe de travail;
- une Spécification technique ISO (ISO/TS) représente un accord entre les membres d'un comité technique et est acceptée pour publication si elle est approuvée par 2/3 des membres votants du comité.

Une ISO/PAS ou ISO/TS fait l'objet d'un examen après trois ans afin de décider si elle est confirmée pour trois nouvelles années, révisée pour devenir une Norme internationale, ou annulée. Lorsqu'une ISO/PAS ou ISO/TS a été confirmée, elle fait l'objet d'un nouvel examen après trois ans qui décidera soit de sa transformation en Norme internationale soit de son annulation.

L'attention est appelée 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.

L'ISO/TS 16976-4 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 94, *Sécurité individuelle — Vêtements et équipements de protection*, sous-comité SC 15, *Appareils de protection respiratoire*.

L'ISO/TS 16976 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Appareils de protection respiratoire — Facteurs humains*:

- *Partie 1: Régimes métaboliques et régimes des débits respiratoires*
- *Partie 2: Anthropométrie*
- *Partie 3: Réponses physiologiques et limitations en oxygène et en gaz carbonique dans l'environnement respiratoire*
- *Partie 4: Travail de respiration et de résistance respiratoire: limites physiologiques*

Les futures parties sont en cours d'élaboration :

- *Partie 5: Effets thermiques*
- *Partie 7: Discours et audition*
- *Partie 8: Facteurs ergonomiques*

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 16976-4:2012](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/37e37cde-03b2-4eba-bae8-8065008b8a38/iso-ts-16976-4-2012)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/37e37cde-03b2-4eba-bae8-8065008b8a38/iso-ts-16976-4-2012>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 16976-4:2012](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/37e37cde-03b2-4eba-bae8-8065008b8a38/iso-ts-16976-4-2012)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/37e37cde-03b2-4eba-bae8-8065008b8a38/iso-ts-16976-4-2012>

Appareils de protection respiratoire — Facteurs humains —

Partie 4:

Travail de respiration et de résistance à la respiration: limites physiologiques

1 Domaine d'application

La présente Spécification technique 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 ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à l'application 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 — Termes, définitions, symboles graphiques et unités de mesure*
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/37e37cde-03b2-4eba-bae8->

ISO/TS 16976-1, *Appareils de protection respiratoire — Facteurs humains — Partie 1: Régimes métaboliques et régimes des débits respiratoires*

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 16972 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1.1

température du corps à pression saturée

BTPS

condition normale pour l'expression des paramètres de ventilation

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

NOTE 2 Adapté de l'ISO 16972.

3.1.2

compliance

variation du volume pulmonaire humain résultant d'une variation de pression, mesurée en l·kPa⁻¹

NOTE Ce terme est le terme type pour le comportement élastique des poumons et de la poitrine. La **compliance** est l'inverse de l'**élastance**.

3.1.3

élastance

variation de pression résultant d'une variation d'un volume pulmonaire humain donné, mesurée en $\text{kPa}\cdot\text{l}^{-1}$

NOTE Ce terme est le terme type pour le comportement élastique d'un APR. L'**élastance** est l'inverse de la **compliance**.

3.1.4

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)»

3.1.5

volume courant

V_T

volume à chaque respiration, mesuré en litres aux conditions BTPS

3.1.6

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, mesurée en litres aux conditions BTPS

3.1.7

travail respiratoire

W_{OB}

travail requis pour un cycle respiratoire complet, mesuré en Joules

NOTE Adapté de l'ISO 16972.

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

3.1.8

travail respiratoire par volume courant

[ISO/TS 16976-4:2012](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/37e37cde-03b2-4eba-bae8-8065008b8a38/iso-ts-16976-4-2012)

W_{OB}/V_T

W_{OB} normalisé (équivalent à la pression moyenne sur le volume), mesuré en Joules par litre = kPa

3.2 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
W_{OB}	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

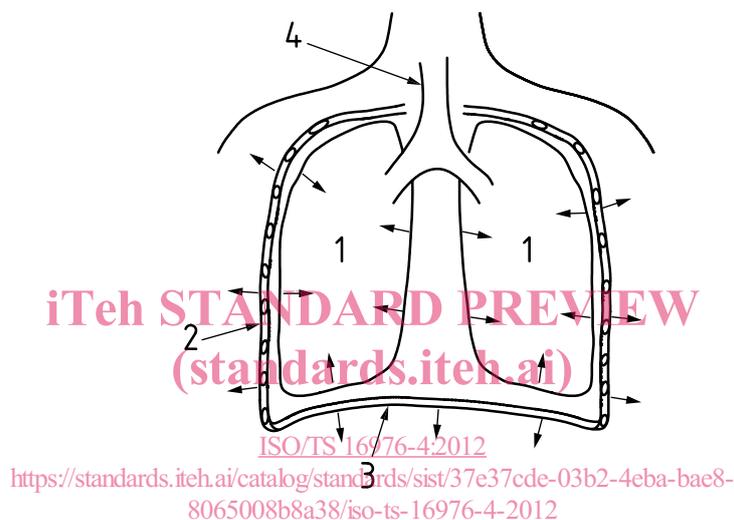
4 Variations de pression et de pression pendant la respiration

4.1 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**». Par définition, 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

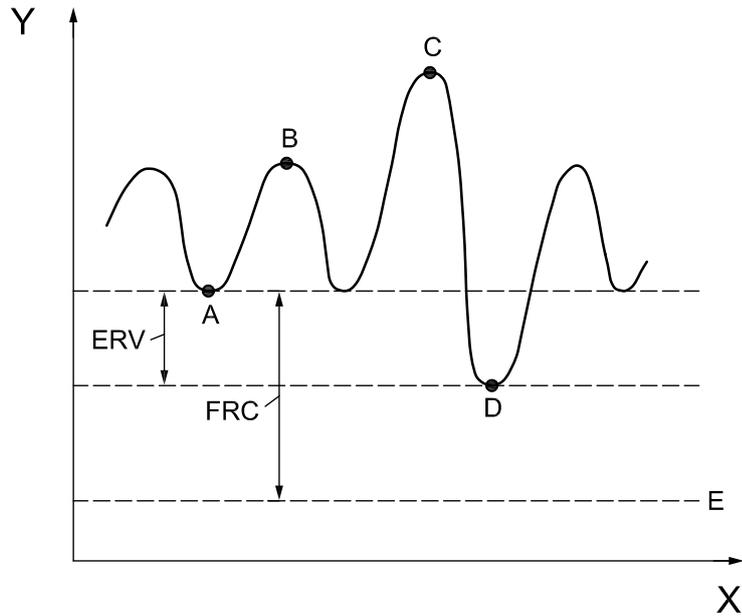
- 1 poumons
- 2 cage thoracique
- 3 diaphragme
- 4 voies respiratoires

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, on utilise également 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.

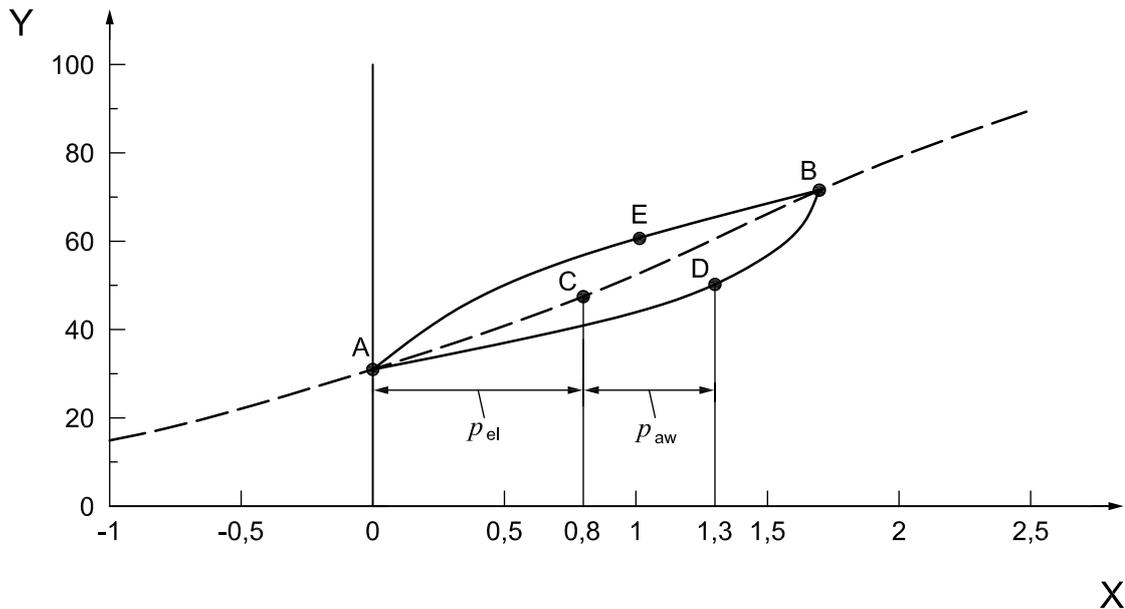


Légende

- 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

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
ISO/TS 16976-4:2012
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/37e37cde-03b2-4eba-bae8-806500888a58/iso-ts-16976-4-2012>
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 suivante
- 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.

**Figure 3 — Volume pulmonaire en fonction de la pression en l'absence d'un APR
(voir 4.1 pour les détails)**

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. A 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, l'élastance nécessite une pression d'environ 0,8 kPa pour faire varier le volume jusqu'à environ 50 % de la CV; les valeurs données sont fondées sur une CV de 4 litres et une valeur théorique type d'élastance de 1 kPa·l⁻¹. 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 0,8 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. Le volume courant devient 70 % de la CV – 30 % de la CV = 40 % de la CV. Les courbes inspiratoire et expiratoire se combinent pour former une boucle volume-pression.

A la fin de l'inspiration (point B), la pression est conservée en raison de l'élastance totale. Lors de respirations à faibles débits, cette pression est suffisante pour expulser le gaz lors de l'expiration suivante. Ainsi, une telle expiration est dite passive parce que les muscles expiratoires sont inactifs. Cependant, les muscles inspiratoires sont actifs par contrôle du débit d'air. Lorsqu'une ventilation plus importante est requise, la pression due à l'élastance n'est pas suffisante et les muscles expiratoires doivent participer activement.