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

Partie 1:

**Métabolismes énergétiques et régimes
des débits respiratoires**

iTeh STANDARD PREVIEW
*Respiratory protective devices — Human factors —
Part 1: Metabolic rates and respiratory flow rates*
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 16976-1:2015](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3558cb96-26fa-4301-8cd0-c9f045f91dc2/iso-ts-16976-1-2015)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3558cb96-26fa-4301-8cd0-c9f045f91dc2/iso-ts-16976-1-2015>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 16976-1:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3558cb96-26fa-4301-8cd0-c9f045f91dc2/iso-ts-16976-1-2015>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2015, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Activité et métabolisme énergétique	3
5 Métabolisme énergétique et consommation d'oxygène	4
6 Consommation d'oxygène et ventilation par minute	5
7 Ventilation par minute et débits de pointe à l'inspiration	7
7.1 Respiration normale.....	7
7.2 Parole et respiration.....	8
7.3 Éternuements et toux.....	10
7.3.1 Généralités.....	10
7.3.2 Pressions maximales.....	11
7.3.3 Débits d'air maximaux et vitesses de l'air maximales.....	11
8 Variation individuelle et aspects liés au sexe	12
Annexe A (informative) Exemples d'utilisation des données	15
Bibliographie	18

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 16976-1:2015](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3558cb96-26fa-4301-8cd0-c9f045f91dc2/iso-ts-16976-1-2015)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3558cb96-26fa-4301-8cd0-c9f045f91dc2/iso-ts-16976-1-2015>

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 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. 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 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'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [Avant-propos — Informations supplémentaires](http://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5558c696-261a-4501-8cd0-c9f045f91dc2/iso-ts-16976-1-2015).

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 94, *Sécurité individuelle — Vêtements et équipements de protection*, sous-comité SC 15, *Appareils de protection respiratoire*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO/TS 16976-1:2007), dont elle constitue une révision majeure avec les modifications techniques suivantes:

— le paragraphe 7.3 a été ajouté.

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

- *Partie 1: Métabolismes énergétiques et régimes des débits respiratoires* [Spécification technique]
- *Partie 2: Anthropométrie* [Spécification technique]
- *Partie 3: Réponses physiologiques et limitations en oxygène et en gaz carbonique dans l'environnement respiratoire* [Spécification technique]
- *Partie 4: Travail de respiration et de résistance à la respiration: limites physiologiques* [Spécification technique]
- *Partie 5: Effets thermiques* [Spécification technique]
- *Partie 6: Effets psycho-physiologiques* [Spécification technique]
- *Partie 7: Discours et audition* [Spécification technique]
- *Partie 8: Facteurs ergonomiques* [Spécification technique]

Introduction

Pour une conception, une sélection et une utilisation appropriées des appareils de protection respiratoire, il est important de prendre en compte les besoins physiologiques élémentaires de l'utilisateur. Le type et l'intensité des activités ont une incidence sur le métabolisme énergétique (dépense énergétique) de l'utilisateur. Le poids et la répartition du poids du dispositif sur le corps humain peuvent également avoir une influence sur le métabolisme énergétique. Le métabolisme énergétique est en corrélation directe avec la consommation d'oxygène qui détermine les besoins et débits respiratoires. Le travail ventilatoire est influencé par les résistances à l'écoulement de l'air de l'appareil et des voies respiratoires pulmonaires. Le travail (ou coût énergétique) d'une respiration est lié au gradient de pression produit par les muscles respiratoires et le volume qui est déplacé dans les poumons pendant la respiration. Des données anthropométriques et biomécaniques sont nécessaires pour une conception appropriée des divers composants d'un appareil de protection respiratoire ainsi que pour la conception des méthodes d'essai correspondantes.

La présente partie de l'ISO/TS 16976 est la première partie d'une série de documents fournissant des données physiologiques et anthropométriques élémentaires pour l'homme. Elle contient des informations sur les métabolismes énergétiques et les débits respiratoires pour différents types d'activité physique.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TS 16976-1:2015](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3558cb96-26fa-4301-8cd0-c9f045f91dc2/iso-ts-16976-1-2015)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3558cb96-26fa-4301-8cd0-c9f045f91dc2/iso-ts-16976-1-2015>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 16976-1:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3558cb96-26fa-4301-8cd0-c9f045f91dc2/iso-ts-16976-1-2015>

Appareils de protection respiratoire — Facteurs humains —

Partie 1: Métabolismes énergétiques et régimes des débits respiratoires

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO/TS 16976 fournit des informations sur les facteurs liés à l'anthropométrie, la physiologie humaine, l'ergonomie et les performances en vue de l'élaboration de normes relatives aux exigences de performance, aux essais et à l'utilisation des appareils de protection respiratoire. La présente partie de l'ISO/TS 16976 contient des informations sur les réponses respiratoires et métaboliques à des conditions de repos et d'activités de différentes intensités. Des informations sont fournies sur les points suivants:

- les métabolismes énergétiques associés à différentes intensités d'activité;
- la consommation d'oxygène en fonction du métabolisme énergétique et de la ventilation par minute pour des individus représentant trois corpulences;
- les débits de pointe à l'inspiration dans des conditions de parole et de mutisme pour des individus représentant trois corpulences en fonction des métabolismes énergétiques.

Les informations contenues dans la présente partie de l'ISO/TS 16976 sont des données relatives à des hommes et femmes adultes et en bonne santé de 30 ans environ, mais sont applicables à la tranche d'âge de la population générale.

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 8996:2004, *Ergonomie de l'environnement thermique — Détermination du métabolisme énergétique*

3 Termes et définitions

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

3.1

production d'énergie aérobie

processus biochimique se déroulant dans les cellules humaines qui fournit de l'énergie par combustion des graisses, des glucides et dans une moindre mesure des protéines en présence d'oxygène, et qui produit de l'eau et du dioxyde de carbone comme produits finaux

3.2

production d'énergie anaérobie

processus biochimique se déroulant dans les cellules humaines qui fournit de l'énergie par combustion des glucides sans oxygène et produit de l'acide lactique comme produit final

3.3

température et pression ambiantes, saturé
ATPS

condition normale 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 d'eau saturante.

3.4

température, pression et humidité ambiantes
ATPH

condition normale pour l'expression des paramètres de ventilation liés à l'air inspiré

Note 1 à l'article: Température ambiante, pression atmosphérique et pression de vapeur d'eau réelles.

3.5

cycle respiratoire

période respiratoire comprenant une phase d'inspiration et une phase d'expiration

3.6

température et pression corporelles, saturé
BTPS

condition normale 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 (6,27 kPa) dans un air saturé.

3.7

débit de pointe à l'inspiration

débit instantané maximal pendant la phase d'inspiration d'un cycle respiratoire

Note 1 à l'article: Il est exprimé en l/s BTPS.

Note 2 à l'article: Le litre par seconde est l'unité préconisée dans la mesure ou le débit ne se produit que pendant une fraction courte du cycle respiratoire.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 16976-1:2015](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3558cb96-26fa-4301-8cd0-c91045191dc2/iso-ts-16976-1-2015)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3558cb96-26fa-4301-8cd0-c91045191dc2/iso-ts-16976-1-2015>

3.8

ventilation par minute

V_E

volume total d'air inspiré (ou expiré) à l'intérieur des poumons en une minute

Note 1 à l'article: Elle est exprimée en l/s BTPS.

3.9

consommation d'oxygène

V_{O_2}

volume d'oxygène consommé par les tissus humains pour une production d'énergie aérobie

Note 1 à l'article: Elle est exprimée en l/min STPD.

3.10

capacité de travail physique

aptitude d'une personne à effectuer un travail musculaire

3.11

température et pression normales, sec
STPD

conditions normalisées 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 %).

4 Activité et métabolisme énergétique

Les utilisateurs d'appareils de protection respiratoire (APR) exercent un travail physique d'intensité variable. Le travail physique, en particulier lorsqu'il concerne de grands groupes musculaires comme dans la lutte contre l'incendie, nécessite des niveaux élevés de production d'énergie métabolique (métabolisme énergétique). L'énergie est produite dans les cellules humaines par des processus aérobies ou anaérobies.

La production d'énergie aérobie est de loin la forme d'extrait énergétique la plus courante pour tous les types de cellules humaines. Elle est également la forme normale de production d'énergie pour les muscles. Selon sa condition physique et d'autres facteurs, l'homme peut soutenir des niveaux élevés de production d'énergie aérobie pendant de longues périodes. Toutefois, des niveaux d'activité très élevés ne peuvent être soutenus que pendant de courtes périodes (minutes) et engagent aussi les processus de production d'énergie anaérobie. La production d'acide lactique qui leur est associée est l'une des raisons de l'apparition rapide de fatigue et d'épuisement.

La production d'énergie aérobie dépend strictement de la fourniture constante d'oxygène aux cellules actives. L'oxygène est extrait de l'air inspiré, lié à l'hémoglobine des globules rouges dans les capillaires alvéolaires et transporté vers les tissus cibles par la circulation. En conséquence, il existe une relation linéaire directe entre le taux de consommation d'oxygène et le métabolisme énergétique. Cette relation est décrite dans l'ISO 8996.

Le [Tableau 1](#) de la présente partie de l'ISO/TS 16976 est tiré du Tableau A.2 de l'ISO 8996:2004, qui définit cinq classes de métabolisme énergétique. Ce tableau sert de base à l'élaboration d'une norme pour l'évaluation de la contrainte thermique. Les classes représentent les types d'activités rencontrés dans l'industrie. Les chiffres représentent des métabolismes énergétiques moyens pour des périodes de travail ou des postes de travail complets, incluant généralement les pauses. Le métabolisme énergétique ne doit pas être confondu avec les taux de travail externes tels que ceux définis sur une bicyclette ergométrique.

Les activités de sauvetage et de lutte contre l'incendie sont par nature temporaires et souvent imprévisibles. Les activités peuvent devenir très exigeantes et des niveaux élevés de métabolisme énergétique ont été rapportés dans les Références [1], [13], [14], [16], [17], [21], [23] et [25]. Conformément à la Référence [21], des valeurs moyennes de consommation d'oxygène comprises entre 40 ml/(kg × min) et 45 ml/(kg × min) sont rapportées pour les tâches les plus exigeantes au cours des exercices de lutte contre l'incendie (voir les Références [6], [8] et [13]). En supposant une masse corporelle moyenne de 80 kg, la consommation absolue d'oxygène est de l'ordre de 3,2 l/min à 3,6 l/min. Dans la Référence [21], des valeurs moyennes de (2,4 ± 0,5) l/min ont été rapportées pour un exercice de 17 min; la Référence [16] a rapporté une valeur moyenne de (2,75 ± 0,3) l/min pour un exercice de 22 min. La valeur moyenne pour la tâche la plus exigeante (ascension d'une tour) est de (3,55 ± 0,27) l/min. Pour cette tâche, la fourchette de valeurs est comprise entre 3,24 l/min et 4,13 l/min, correspondant respectivement à des métabolismes énergétiques moyens compris entre 474 W/m² et 612 W/m².

Tableau 1 — Classification des activités basée sur le métabolisme énergétique (MR)

Classe	Activité	Métabolisme énergétique W/m ²
1	Repos	65
2	Activité légère	100
3	Activité modérée	165
4	Activité intense	230
5	Activité très intense	290

NOTE Les cinq premières classes données dans ce tableau sont extraites de l'ISO 8996. Ces classes sont valables pour des activités répétées pendant les postes de travail dans le cadre d'une exposition professionnelle courante. Les classes de 6 à 8 sont ajoutées comme exemples de métabolismes énergétiques associés à des activités temporaires de type secours et sauvetage avec port d'un appareil de protection respiratoire.

Tableau 1 (suite)

Classe	Activité	Métabolisme énergétique W/m ²
6	Activité très très intense (2 h)	400
7	Activité extrêmement intense (15 min)	475
8	Activité maximale (5 min)	600

NOTE Les cinq premières classes données dans ce tableau sont extraites de l'ISO 8996. Ces classes sont valables pour des activités répétées pendant les postes de travail dans le cadre d'une exposition professionnelle courante. Les classes de 6 à 8 sont ajoutées comme exemples de métabolismes énergétiques associés à des activités temporaires de type secours et sauvetage avec port d'un appareil de protection respiratoire.

Le [Tableau 1](#) de la présente partie de l'ISO/TS 16976 contient trois classes supplémentaires par rapport au Tableau A.2 de l'ISO 8996:2004, pour couvrir les activités qui sont, par nature, limitées dans le temps, telles que la lutte contre l'incendie et le sauvetage. Une classe se rapporte à des activités de sauvetage soutenues telles que l'on peut en rencontrer dans l'exploitation minière ou dans la lutte contre les feux de broussailles, avec des périodes de travail pouvant aller jusqu'à 2 h (classe 6). Les deux autres classes se rapportent à des opérations de lutte contre l'incendie ou de sauvetage de courte durée et de très haute intensité, c'est-à-dire, respectivement de 15 min (classe 7) et de 5 min (classe 8). Le [Tableau 1](#) présente les valeurs attendues pour des individus en très bonne condition physique. La classe la plus élevée (classe 8) représente une activité maximale ou proche de la maximale qui ne peut être endurée que pour des durées de 3 min à 5 min par des individus en bonne condition physique. Les trois nouvelles classes sont respectivement définies par des métabolismes énergétiques à 400 W/m², 475 W/m², et 600 W/m². Les valeurs représentent le métabolisme énergétique moyen pour la durée spécifiée, en excluant les pauses.

Pour des raisons naturelles, de nombreux types d'activités de sauvetage et d'urgence sont effectués avec un équipement de protection individuelle. Cela augmente la charge de travail physique et explique en partie les valeurs élevées de métabolisme énergétique dans les classes 6 à 8. Les données fournies pour les types d'activités indiqués dans les classes 1 à 5 sont obtenues sans port d'appareil de protection respiratoire et/ou équipement de protection individuelle.

5 Métabolisme énergétique et consommation d'oxygène

L'équivalent énergétique (EE) d'oxygène, tel que décrit dans l'ISO 8996:2004, 7.1.2, est déterminé à l'aide de la [Formule \(1\)](#):

$$EE = (0,23 \times RQ + 0,77) \times 5,88 \tag{1}$$

où RQ est le quotient respiratoire (rapport entre la quantité de dioxyde de carbone produit et la quantité d'oxygène consommée (V_{CO_2} / V_{O_2})) et l'équivalent énergétique d'oxygène est 5,88 Wh/l de O₂, qui correspond approximativement à la valeur de 5 kcal/l de O₂, valeur que l'on rencontre couramment dans les publications de physiologie.

En supposant une valeur de 5 kcal/l de O₂ (égale à 5,815 Wh/l de O₂), les expressions suivantes s'appliquent pour convertir les métabolismes énergétiques en (en W/m²) en V_{O₂} (en l/min):

$$V_{O_2} = \frac{M \times A_{Du}}{EE} = \frac{M \times A_{Du}}{60 \times 5,815} = \frac{M \times A_{Du}}{349} \tag{2}$$

où

V_{O_2} est la consommation d'oxygène, en l/min;

M est le métabolisme énergétique, en W/m²;

A_{Du} est la surface corporelle de Dubois, en m;

60 est le facteur de conversion pour min/h;

et l'équivalent énergétique d'oxygène est 5,815 Wh/l de O₂.

Pour le même métabolisme énergétique, la consommation d'oxygène variera en fonction des corpulences. Des exemples sont donnés dans les [Tableaux 3, 4, et 5](#) pour des individus représentant trois corpulences. La surface corporelle associée est respectivement de 1,69 m², 1,84 m², et 2,11 m². Comme défini dans l'ISO 8996, la surface corporelle d'un individu, A_{Du} , est déterminée en se basant sur la masse corporelle, W_b , en kg, et la taille, H_b , en m, selon la [Formule \(3\)](#):

$$A_{Du} = 0,202 \times W_b^{0,425} \times H_b^{0,725} \quad (3)$$

Les valeurs de V_{O_2} dans les [Tableaux 3, 4 et 5](#) sont basées sur les [Formules \(4\), \(5\) et \(6\)](#).

Un individu de faible corpulence est défini par $W_b = 60$ kg, $H_b = 1,7$ m et $A_{Du} = 1,69$ m². La consommation d'oxygène, V_{O_2} , est calculée avec la [Formule \(4\)](#):

$$V_{O_2} = \frac{M}{207} \quad (4)$$

Un individu de corpulence moyenne est défini par $W_b = 70$ kg, $H_b = 1,75$ m et $A_{Du} = 1,84$ m². La consommation d'oxygène, V_{O_2} , est calculée avec la [Formule \(5\)](#):

$$V_{O_2} = \frac{M}{190} \quad (5)$$

Un individu de forte corpulence est défini par $W_b = 85$ kg, $H_b = 1,88$ m et $A_{Du} = 2,11$ m². La consommation d'oxygène, V_{O_2} , est calculée avec la [Formule \(6\)](#):

$$V_{O_2} = \frac{M}{160} \quad (6)$$

6 Consommation d'oxygène et ventilation par minute

Le transport de l'oxygène vers les tissus nécessite son extraction de l'air inspiré dans les poumons. La concentration d'oxygène dans l'air inspiré est équivalente à la concentration atmosphérique de 20,93 % en volume dans l'air sec. Normalement, 15 % à 30 % seulement de cette fraction est consommée. L'air expiré contient encore de l'ordre de 15 % à 18 % en volume de O₂. Cela signifie que la ventilation par minute en air, V_E , requise pour les niveaux de consommation d'oxygène les plus élevés est environ 20 à 25 fois plus élevée (voir la Référence [3]). Pour des niveaux d'activité élevés, la valeur peut être encore plus élevée en raison d'une tendance à l'hyperventilation.

La Référence [9] contient une analyse de 19 articles publiés dans la littérature applicable. Les données relatives à 14 études sans appareil respiratoire sont reproduites dans la [Figure 1](#), avec les données issues des Références [7], [17] et [18]. Chaque point de données représente la valeur moyenne de plusieurs sujets. La droite de régression linéaire est tracée pour les valeurs moyennes. La droite de régression d'une fonction de puissance ne diffère du modèle linéaire que d'une façon marginale. L'équation de Hagan (en bas du graphique) donne une régression exponentielle qui surestime V_E à des niveaux de V_{O_2} bas et très élevés et le sous-estime aux niveaux intermédiaires. Des relations exponentielles ont également été proposées par d'autres (voir les Références [1] et [12]). Les trois études mentionnées appliquent une méthode incrémentale pour augmenter la charge de travail. On peut se