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

**Partie 1:
Régimes métaboliques et régimes des
débits respiratoires**

*Respiratory protective devices — Human factors —
Part 1: Metabolic rates and respiratory flow rates*

ISO/TS 16976-1:2007

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/43251d6d-6300-4104-8233-721ea9c25ff1/iso-ts-16976-1-2007>



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TS 16976-1:2007

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/43251d6d-6300-4104-8233-721ea9c25ff1/iso-ts-16976-1-2007>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2007

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

Version française parue en 2008

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 Activité et métabolisme énergétique	3
5 Métabolisme énergétique et consommation d'oxygène	4
6 Consommation d'oxygène et ventilation minute	5
7 Ventilation minute et débits inspiratoires de pointe	7
7.1 Respiration normale	7
7.2 Parole et respiration	7
8 Variation individuelle et aspects liés au sexe	10
Annexe A (informative) Exemples d'utilisation des données	12
Bibliographie	15

iteh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TS 16976-1:2007](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/43251d6d-6300-4104-8233-721ea9c25ff1/iso-ts-16976-1-2007)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/43251d6d-6300-4104-8233-721ea9c25ff1/iso-ts-16976-1-2007>

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 16976-1 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*

Les parties suivantes sont en cours d'élaboration:

- *Partie 2: Anthropométrie*
- *Partie 3: Réponses physiologiques et limitations en oxygène et en gaz carbonique dans l'environnement respiratoire*

Introduction

Pour une conception, une sélection et une utilisation appropriées des appareils de protection respiratoire, il est important de prendre en considération 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 de l'appareil 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 les 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 Spécification technique constitue 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 16976-1:2007](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/43251d6d-6300-4104-8233-721ea9c25ff1/iso-ts-16976-1-2007)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/43251d6d-6300-4104-8233-721ea9c25ff1/iso-ts-16976-1-2007>

iTeh STANDARD PREVIEW **(standards.iteh.ai)**

ISO/TS 16976-1:2007

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/43251d6d-6300-4104-8233-721ea9c25ff1/iso-ts-16976-1-2007>

Appareils de protection respiratoire — Facteurs humains —

Partie 1:

Régimes métaboliques et régimes des débits respiratoires

1 Domaine d'application

La présente Spécification technique fait partie d'une série de documents fournissant 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. Cette Spécification technique particulière contient des informations sur les réponses respiratoires et métaboliques à des conditions de repos et d'activités de différentes intensités. Des informations sont notamment fournies sur

- les métabolismes énergétiques associés à différentes intensités d'activité,
- la consommation d'oxygène en fonction du métabolisme énergétique et du débit-volume pour des individus représentant trois corpulences,
- les débits inspiratoires de pointe 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 Spécification technique sont des données relatives à des hommes et des femmes adultes en bonne santé d'environ 30 ans, mais sont applicables à la tranche d'âge de la population générale.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour 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 saturées

ATPS

condition normalisée pour l'expression des paramètres de ventilation liés à l'air expiré

NOTE La température ambiante réelle, la pression atmosphérique et la pression de vapeur d'eau saturée.

3.4

température, pression et humidité ambiantes

ATPH

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

NOTE La température ambiante réelle, la pression atmosphérique et la pression de vapeur d'eau.

3.5

cycle respiratoire

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

3.6

température et pression corporelles saturées

BTPS

condition normalisée pour l'expression des paramètres de ventilation

NOTE 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 inspiratoire de pointe

débit instantané le plus élevé pendant la phase d'inspiration d'un cycle respiratoire, en litres par seconde BTPS

NOTE Il est préférable d'employer l'unité litres par seconde car l'écoulement n'intervient que pendant une courte fraction du cycle respiratoire.

3.8

ventilation minute

V_E
volume total d'air inspiré (ou expiré) dans les poumons pendant une minute, en litres par minute BTPS

3.9

consommation d'oxygène

V_{O_2}
quantité d'oxygène consommée par les tissus humains pour la production d'énergie aérobie, en litres par minute STPD

3.10

capacité de travail physique

aptitude d'une personne à se livrer à un travail musculaire

3.11

température et pression normalisées sèches

STPD

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

NOTE Température normalisée (0 °C) et pression normalisée (101,3 kPa, 760 mmHg), air sec (humidité relative de 0 %).

4 Activité et métabolisme énergétique

Les utilisateurs d'appareils de protection respiratoire 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 Spécification technique est tiré de l'ISO 8996:2004, Tableau A.2 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 figures 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 rapportées dans les Références [1], [8], [9], [10], [11], [15], [16] et [17]. Selon la Référence [15], 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 Références [2], [4] et [8]). 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 [15], des valeurs moyennes de (2,4 ± 0,5) l/min ont été rapportées pour un exercice de 17 min. La Référence [10] 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 s'étend de 3,24 l/min à 4,13 l/min, correspondant respectivement à des métabolismes énergétiques moyens de 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
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.

Trois classes supplémentaires ont été ajoutées dans le Tableau 1 par rapport à l'ISO 8996:2004, Tableau A.2 pour couvrir les activités 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 15 min (classe 7) et 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 pendant 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, à 475 W/m² et à 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 l'Équation (1):

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

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 O₂, qui correspond approximativement à la valeur de 5 kcal/l O₂, valeur que l'on rencontre couramment dans les publications de physiologie.

En supposant une valeur de 5 kcal/l O₂ (égale à 5,815 Wh/l O₂), les expressions suivantes s'appliquent pour convertir les métabolismes énergétiques (en W/m²) en V_{O_2} (en l/min):

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

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 m²;

60 est le facteur de conversion pour min/h;

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

Pour le même métabolisme énergétique, la consommation d'oxygène variera en fonction des corpulences. Des exemples sont donnés dans les Tableaux 2 à 4 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 par l'Équation (3) en se basant sur des valeurs de masse corporelle, W_b , en kilogrammes et la taille, H_b , en mètres:

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

Dans les Tableaux 2 à 4, les valeurs de V_{O_2} sont basées sur les Équations (4), (5) et (6).

Un individu de faible corpulence est défini par $W_b = 60$ kg, $H_b = 1,70$ m et $A_{Du} = 1,69$ m². La consommation d'oxygène, V_{O_2} , est calculée par l'Équation (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 par l'Équation (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 par l'Équation (6):

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

6 Consommation d'oxygène et ventilation minute

Le transport d'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: 20,93 % par volume dans l'air sec. Normalement, seulement 15 % à 30 % de cette fraction est consommée. L'air expiré contient encore approximativement 15 % à 18 % de O₂ par volume. Cela signifie que la ventilation minute en air, V_E , requise pour les niveaux de consommation d'oxygène les plus élevés est de 20 à 25 fois plus élevée (voir Référence [22]). Pour des niveaux d'activité élevés, la valeur peut être encore plus élevée en raison d'une tendance à l'hyperventilation.

ISO/TS 16976-1:2007

La Référence [5] contient une analyse de 19 articles publiés dans la littérature applicable. Les données relatives à 14 études sans appareil respiratoire sont reproduites à la Figure 1 conjointement avec les données issues des Références [3], [11] et [12]. 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 Références [1] et [7]). Les trois études mentionnées appliquent une méthode incrémentale pour augmenter la charge de travail. On peut se demander si V_E et V_{O_2} s'équilibrent dans un temps aussi court. Il convient en particulier que V_{O_2} ait une constante de temps de plus d'une minute. Dans l'étude de Hagan, la charge de travail est augmentée toutes les minutes.

D'un point de vue physiologique, on ne devrait pas s'attendre à une relation exponentielle. En réalité, les courbes individuelles montrent que, jusqu'à 60 % ou 70 % de V_{O_2} maximal, la relation est presque linéaire. À des niveaux plus élevés de V_{O_2} , l'hyperventilation augmente V_E de manière curviligne (voir Référence [22]). Il est probable que l'adaptation respiratoire à des charges de travail croissantes représente une équation à deux composantes: une composante linéaire et une composante de puissance ou exponentielle. Le modèle d'équation serait décrit par l'Équation (7):

$$y = ax + e^{bx} \quad (7)$$

où

a et b sont des constantes;

x représente V_{O_2} ;

y représente V_E .