

NORME INTERNATIONALE

**ISO
8996**

Première édition
1990-12-15

Ergonomie — Détermination de la production de chaleur métabolique

iTeh STANDARD PREVIEW
Ergonomics — Determination of metabolic heat production
(standards.iteh.ai)

ISO 8996:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a5b49c7-3b97-4614-8254-c72bc5f304c2/iso-8996-1990>



Numéro de référence
ISO 8996 : 1990 (F)

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 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.

La Norme internationale ISO 8996 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 159, *Ergonomie*, sous-comité SC 5, *Ergonomie de l'environnement physique*.

Les annexes A à G font partie intégrante de la présente Norme internationale.

© ISO 1990

Droits de reproduction réservés. 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'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

Introduction

L'ISO 8996 fait partie d'une série de Normes internationales destinées à être utilisées pour l'étude des environnements thermiques. Elle concerne l'évaluation de la production de chaleur métabolique au moyen de la détermination du métabolisme énergétique, nécessaire pour évaluer le confort et la contrainte thermique par les méthodes figurant dans cette série de normes.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 8996:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a5b49c7-3b97-4614-8254-c72bc5f304c2/iso-8996-1990>

Page blanche

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 8996:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a5b49c7-3b97-4614-8254-c72bc5f304c2/iso-8996-1990>

Ergonomie — Détermination de la production de chaleur métabolique

1 Domaine d'application

Le métabolisme énergétique, transformation d'énergie chimique potentielle en énergie thermique et en énergie mécanique, mesure le coût énergétique de la charge musculaire et constitue un indice quantitatif de l'activité. La connaissance du métabolisme énergétique est nécessaire à l'évaluation de la production de chaleur métabolique qui intervient dans le calcul du bilan thermique de l'organisme. La présente Norme internationale prescrit des méthodes visant à déterminer le métabolisme énergétique, elle peut cependant être également utilisée en vue d'autres applications: par exemple, l'évaluation des pratiques de travail, le coût de travaux ou d'activités sportives spécifiques, le coût global de l'activité etc.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale

sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 7933 : 1989, *Ambiances thermiques chaudes — Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de la sudation requise.*

ISO 9886 : — ¹⁾, *Ergonomie — Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques.*

3 Principes et précision

La majeure partie de l'énergie produite dans l'organisme devant de l'énergie thermique, il est généralement possible de négliger la fraction mécanique, appelée «travail utile», et de considérer la production de chaleur métabolique comme étant égale au métabolisme énergétique (voir ISO 7933).

Le tableau 1 indique trois manières de déterminer le métabolisme énergétique.

Tableau 1 — Niveaux de détermination du métabolisme

Niveau	Méthode	Précision	Étude du poste de travail
I	A — Classification en fonction du type d'activité	Informations grossières avec risque d'erreurs très important	Pas nécessaire
	B — Classification en fonction des professions		Information sur l'équipement technique et l'organisation du travail
II	A — Estimation du métabolisme à partir des composantes de l'activité	Risque élevé d'erreurs Précision: $\pm 15\%$	Étude des temps nécessaire
	B — Utilisation de tableaux d'estimation par activité type		Pas nécessaire
	C — Utilisation de la fréquence cardiaque dans des conditions définies		
III	Mesure	Risque d'erreurs dans les limites de précision de la mesure et de l'étude des temps Précision: $\pm 5\%$	Étude des temps nécessaire

1) À publier.

Le niveau I comprend deux méthodes d'estimation du métabolisme. La méthode A est une classification en fonction du type d'activité et la méthode B une classification en fonction de la profession. Les deux méthodes donnent une estimation grossière sujette à une erreur importante. Ceci limite considérablement leur précision. Pour ce niveau, un examen du poste de travail n'est pas nécessaire.

Au niveau II, en utilisant la méthode A, le métabolisme est déterminé en additionnant le métabolisme de base à un métabolisme de posture, un métabolisme d'activité et un métabolisme de déplacement en fonction de la vitesse (tableaux d'estimation par les composantes). En utilisant la méthode B, le métabolisme est déterminé au moyen de valeurs classifiées pour différentes activités-types. La possibilité d'erreurs est élevée. Une analyse du travail est nécessaire pour déterminer le métabolisme d'un travail qui implique une succession d'activités différentes. En utilisant la méthode C, le métabolisme est déterminé en mesurant la fréquence cardiaque. Cette méthode qui permet une détermination en direct du métabolisme est fondée sur la relation entre la consommation d'oxygène et la fréquence cardiaque dans des conditions définies.

Au niveau III le métabolisme est déterminé par une mesure directe. Une étude détaillée des temps est nécessaire pendant la mesure.

La précision de chaque méthode est limitée par plusieurs facteurs.

Lorsque l'on observe un individu en train d'exécuter une tâche, il est possible de décrire les principaux facteurs suivants.

NOTE — Les valeurs relatives à la précision indiquées au tableau 1 prennent ces facteurs en compte.

En cas d'utilisation de tableaux, les différences existant entre les observateurs et leur niveau de formation influent pour une grande part sur les résultats. En utilisant la méthode C du niveau II, il est nécessaire de tenir compte de la précision de la relation entre la consommation d'oxygène et la fréquence cardiaque en raison de l'existence d'autres facteurs de contrainte qui ne peuvent être négligés.

Les résultats sont également influencés par les différences culturelles. Au niveau III, la précision de la mesure (détermination du volume gazeux et de la teneur en oxygène) déterminera le degré d'erreur.

Dans le cas d'une normalisation des résultats, d'autres facteurs tels que :

- la variabilité des individus,
- les différences entre les outils de travail,
- les différences entre les vitesses de travail,
- les différences entre les méthodes de travail

ont une incidence sur la précision susceptible d'être obtenue avec chaque méthode (voir 4.6.2).

Ainsi, la précision des résultats et le coût impliqué augmentent du niveau I au niveau III. Une mesure directe donne les valeurs

les plus précises. Il est souhaitable d'utiliser le plus fréquemment possible la mesure la plus précise.

4 Tableaux d'estimation du métabolisme

4.1 Classification du métabolisme par types d'activités

Le métabolisme peut être estimé approximativement au moyen de la classification donnée à l'annexe A. Le métabolisme de l'activité considérée est classé dans l'une des cinq classes (repos, métabolisme faible, métabolisme moyen, métabolisme élevé, métabolisme très élevé). Les exemples donnés dans le tableau A.1 de l'annexe A tiennent compte de courtes périodes de repos et illustrent ce classement.

4.2 Tableau d'estimation du métabolisme par professions

Le tableau B.1 de l'annexe B donne le métabolisme d'un certain nombre de professions différentes. Les valeurs sont des valeurs moyennes pour toute la durée de travail mais ne tiennent pas compte de longues périodes de repos telles que, par exemple, la durée du déjeuner. Un écart important provient des différences de technologie, d'outils de travail, de processus de travail, etc.

4.3 Tableaux d'estimation du métabolisme par les composantes de l'activité

Le métabolisme d'un homme au travail peut être estimé en additionnant les différentes composantes de celui-ci. Une étude du poste de travail est habituellement nécessaire dans ce cas.

Le métabolisme est déterminé analytiquement en additionnant les valeurs suivantes :

- a) métabolisme de base ;
- b) composante posturale ;
- c) composante d'activité ;
- d) composante de déplacement du corps en fonction de la vitesse.

Le métabolisme basal est le métabolisme d'une personne couchée au repos dans des conditions définies.

Le métabolisme de base (MB) est fonction du poids, de la taille, de l'âge et du sexe. Ces facteurs ont une influence faible ; des valeurs de $MB = 44 \text{ W/m}^2$ (hommes) et de $MB = 41 \text{ W/m}^2$ (femmes) peuvent donc être utilisées avec une bonne approximation. Les valeurs données dans la présente Norme internationale se rapportent à une personne standard définie dans l'annexe C, tableau C.1 afin de disposer de valeurs comparables.

L'annexe D donne dans le tableau D.1 le métabolisme de posture, dans le tableau D.2 le métabolisme pour différents types d'activité et dans le tableau D.3 le métabolisme de déplacement en fonction de sa vitesse. Les tableaux D.4 et D.5 donnent des exemples d'utilisation de la méthode.

4.4 Tableau indiquant le métabolisme des activités-types

Les valeurs du métabolisme peuvent être obtenues à partir du tableau E.1, annexe E. Ces valeurs sont basées sur des mesures.

4.5 Métabolisme d'un cycle de travail

Pour déterminer le métabolisme total d'un cycle de travail, il est nécessaire d'effectuer une étude des temps et des performances comprenant une description détaillée du travail. Ceci implique de classer chaque activité et de tenir compte de facteurs tels que la durée de chaque activité, les distances parcourues, les hauteurs montées, les charges manipulées, le nombre d'actions effectuées etc. Le métabolisme pour le cycle de travail peut être déterminé à partir du métabolisme et de la durée de chaque activité de la façon suivante :

$$M = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n M_i t_i \quad \dots (1)$$

où

M est le métabolisme moyen pour le cycle de travail, en watts par mètre carré;

M_i est le métabolisme d'une activité, en watts par mètre carré;

T est la durée du cycle de travail considéré, en secondes;

t_i est la durée de l'activité concernée, en secondes.

L'annexe F donne un exemple.

4.6 Conditions requises pour l'application des tableaux d'évaluation du métabolisme

4.6.1 Standardisation des valeurs

Les valeurs ont été standardisées en fonction de la personne de référence définie à l'annexe C pour permettre une comparaison des valeurs provenant de différentes sources.

Ceci est nécessaire pour des activités particulières qui nécessitent un mouvement lié au poids du corps, tel que monter ou soulever des charges.

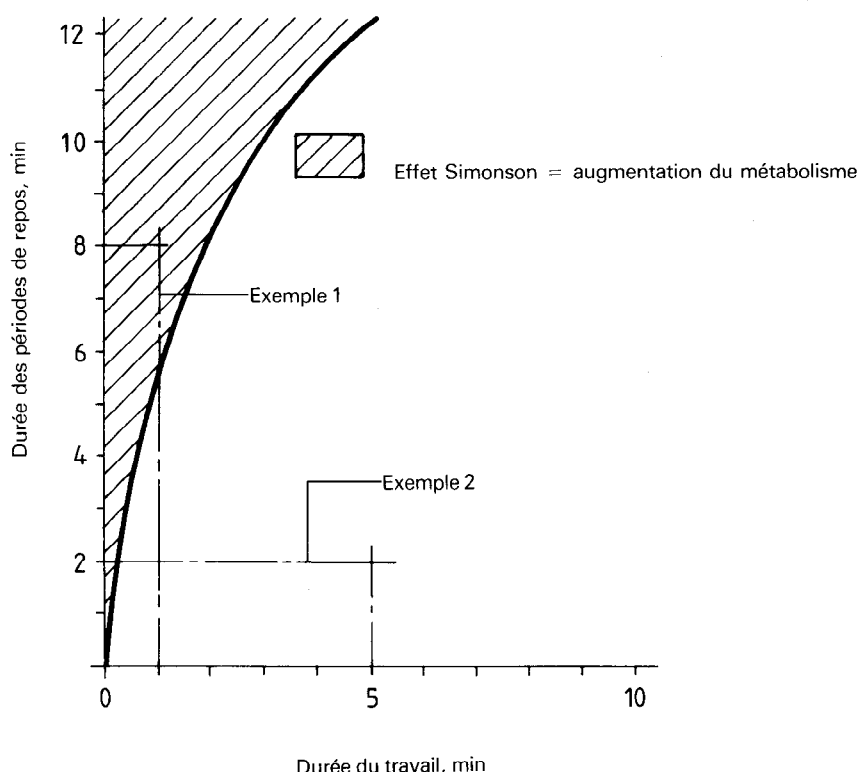
4.6.2 Fluctuation des valeurs

Les valeurs indiquées varient dans certaines limites en raison de l'influence des facteurs suivants :

- a) technique de travail;
- b) vitesse de travail;
- c) différences dans l'équipement de travail.

Pour le même travail et dans les mêmes conditions de travail, le métabolisme peut varier d'une personne à une autre d'environ $\pm 5\%$.

Pour une personne habituée au travail, la variation est d'environ 5 % dans des conditions de laboratoire. Sur le terrain, c'est-à-dire lorsque l'activité à mesurer n'est pas exactement la même d'un essai à l'autre, une variation de 20 % ou plus doit être prise en compte.



4.6.3 Influence du climat

Les valeurs du métabolisme données dans la présente Norme internationale s'appliquent aux environnements thermiques modérés. Dans un environnement chaud ou froid le métabolisme peut augmenter.

Dans des conditions chaudes, une augmentation de 5 W/m² à 10 W/m² peut être attendue en raison de l'augmentation de la fréquence cardiaque et de la sudation.

Dans des conditions froides, une augmentation maximale de 200 W/m² peut être attendue s'il y a des frissons.

Le port de vêtements lourds augmentera également le métabolisme.

4.6.4 Influence de la durée des périodes de repos et de travail

Les tableaux D.1 à D.5 et le tableau E.1 (voir 4.3 et 4.4) ne peuvent pas être appliqués à une succession de courtes activités et de longs repos car ceci conduit à augmenter les niveaux de

métabolisme. Les limites sont indiquées dans la figure 1 où la partie hachurée indique la région dans laquelle les tableaux (voir 4.3 et 4.4) ne peuvent pas être utilisés. La figure 1 ne s'applique que lorsque les muscles sont complètement relâchés pendant la période de repos.

L'exemple 1 (voir figure 1) présente une alternance de 1 min de travail avec 8 min de repos. Dans ce cas, les tableaux de métabolisme (voir 4.3 et 4.4) ne peuvent pas être utilisés. Pour des activités présentant une proportion de durée de travail à l'intérieur du domaine en blanc, comme indiqués dans l'exemple 2, les tableaux peuvent être utilisés sans risque.

Comme l'augmentation du métabolisme par l'effet Simonson dépend de la nature du travail et du groupe de muscles utilisé, il n'a pas été jugé utile de donner d'autres indications sur ce problème en raison de sa complexité.

4.6.5 Extrapolation des valeurs

L'extrapolation des valeurs du métabolisme est possible. Lorsque les vitesses de travail diffèrent de celles données dans les tableaux (voir 4.3 et 4.4), une correction n'est possible que dans la limite de $\pm 25\%$ de la vitesse indiquée.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

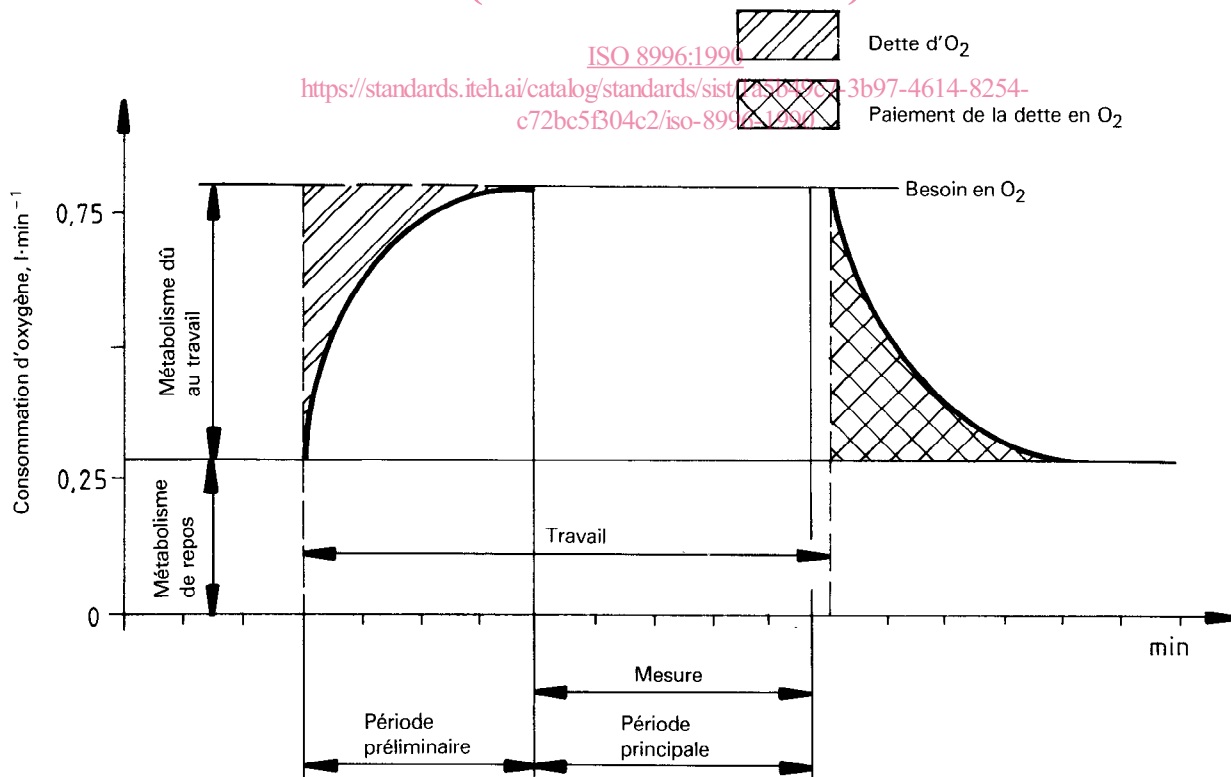


Figure 2 — Mesure du métabolisme d'après la méthode partielle

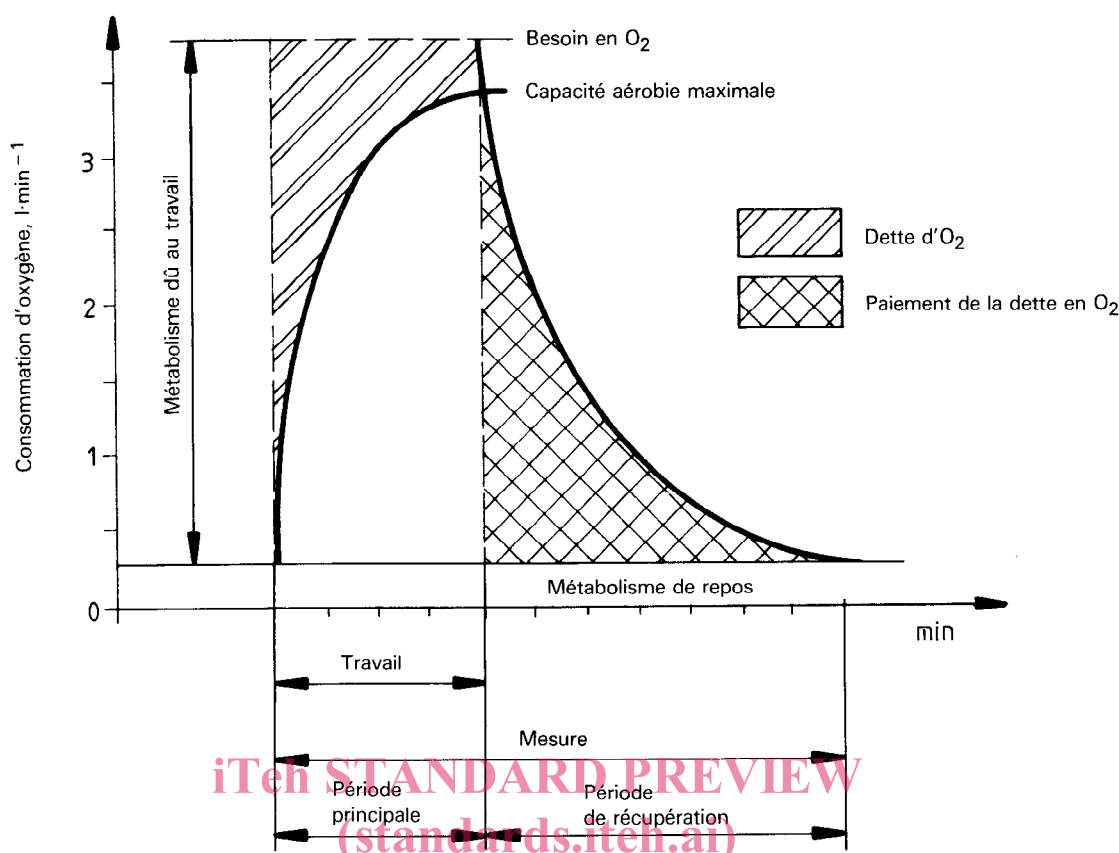


Figure 3 — Mesure du métabolisme d'après la méthode intégrale
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/1a5b49c7-3b97-4614-8254-c72bc5f304c2/iso-8996-1990>

5 Mesure du métabolisme

5.1 Détermination directe du métabolisme

Les méthodes de mesure décrites ci-après ont été vérifiées par de nombreuses études *in situ* et en laboratoires, les autres méthodes doivent être vérifiées en se fondant sur les données recueillies par cette méthode.

5.1.1 Méthodes de mesure

Le métabolisme peut être déterminé par deux méthodes:

- méthode partielle;
- méthode intégrale.

La méthode partielle est à utiliser en cas de travail léger ou modéré. La méthode intégrale est à utiliser pour un travail lourd de courte durée. Des méthodes différentes doivent être utilisées pour les raisons suivantes. En cas de travail léger ou modéré, la consommation en oxygène est égale aux besoins en oxygène peu de temps après le début du travail. La consommation en oxygène atteint un état stable égal aux besoins en oxygène. En cas de travail lourd, les besoins en oxygène sont supérieurs à la limite à long terme de la capacité aérobie et, en cas de travail très lourd, supérieurs à la capacité aérobie maximale. Pendant le travail, la consommation en oxygène ne peut pas

atteindre les besoins en oxygène. La dette en oxygène est payée après l'arrêt du travail. Donc la mesure comprend la période de travail et la période de repos qui la suit. La méthode intégrale devrait être utilisée pour une consommation d'oxygène de plus de 60 litres d'oxygène par heure (60 l O₂/h) équivalant à un litre d'oxygène par minute.

La figure 2 indique la procédure suivie en utilisant la méthode partielle. Le travail commence d'abord sans recueillir l'air expiré. Puisque l'état stable de consommation d'oxygène est atteint après 3 min à 5 min, le recueil des gaz expirés commence après environ 5 min (période préliminaire) sans interrompre le travail. Le travail est poursuivi pour 5 min à 10 min (période principale). Le recueil du gaz soit dans sa totalité par exemple avec un sac de Douglas, soit par des prélèvements réguliers, par exemple avec un compteur à gaz est arrêté lorsque le travail est arrêté. De telle sorte une partie de «l'état stable» du travail a été supprimée. Pour utiliser la méthode partielle, il est essentiel que le métabolisme pendant le travail soit inférieur à la limite d'endurance.

Avec la méthode intégrale (voir figure 3), le recueil du gaz expiré commence immédiatement au début du travail et ce travail est poursuivi pendant un certain temps, habituellement pas plus de 2 min à 3 min (période principale). À la fin du travail, le sujet s'assoit pendant que les mesures continuent jusqu'à ce que la valeur au repos soit atteinte. Pendant cette période de récupération, la dette d'oxygène contractée pendant le travail est restituée. Puisque la mesure comprend l'activité en travail

(période principale) et l'activité en position assise (période de récupération) le métabolisme correspondant à la position assise doit être retranché de la valeur mesurée pour obtenir le métabolisme relatif au travail seul (voir 5.1.4.2).

En vue d'une future évaluation des résultats et d'une comparaison de la consommation d'oxygène avec les données de la littérature, il est nécessaire d'enregistrer le déroulement du travail (étude des temps) et la fréquence des phases d'activité répétitives.

5.1.2 Détermination du métabolisme à partir de la consommation d'oxygène

Puisque le corps humain ne peut stocker que de très petites quantités d'oxygène, celui-ci doit être prélevé de façon continue dans l'atmosphère par la respiration. Les muscles peuvent travailler pendant une courte période sans recevoir directement de l'oxygène (travail anaérobie), mais pour de longues périodes de travail, le métabolisme par oxydation est la principale source d'énergie.

Le métabolisme peut donc être déterminé en mesurant la consommation d'oxygène. L'équivalent énergétique (EE) pour l'oxygène est utilisé pour transformer les valeurs de la consommation d'oxygène en métabolismes énergétiques.

L'équivalent énergétique dépend du type de métabolisme qui est indiqué par le quotient respiratoire (RQ) [voir l'équation (2)]. Dans la détermination du métabolisme, l'utilisation d'une valeur moyenne $RQ = 0,85$ et par conséquent d'un équivalent énergétique (EE) de $EE = 5,68 \text{ W} \cdot \text{h/l O}_2$ est souvent suffisante. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de mesurer la production de gaz carbonique. L'erreur maximale possible est de $\pm 3,5 \%$, mais généralement l'erreur n'excède pas 1 %.

Ainsi, le métabolisme peut être déterminé par les équations (2), (3) et (4)

$$EE = (0,23 RQ + 0,77) \times 5,88 \quad \dots (2)$$

$$RQ = \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{\dot{V}_{\text{O}_2}} \quad \dots (3)$$

$$M = EE \times \dot{V}_{\text{O}_2} \times \frac{1}{A_{\text{Du}}} \quad \dots (4)$$

où

EE est l'équivalent énergétique, en watts heures par litre d'oxygène;

RQ est le quotient respiratoire;

$\dot{V}_{\text{O}_2}$ est la consommation d'oxygène en litres d'oxygène par heure;

$\dot{V}_{\text{CO}_2}$ est la production de dioxyde de carbone, en litres de dioxyde de carbone par heure;

M est le métabolisme, en watts par mètre carré;

A_{Du} est la surface du corps, en mètres carrés, d'après Du Bois:

$$A_{\text{Du}} = 0,202 \times W_b^{0,425} \times H_b^{0,725}$$

W_b étant le poids du corps, en kilogrammes,

H_b étant la taille, en mètres.

5.1.3 Détermination de la consommation d'oxygène

Il est nécessaire de mesurer ou d'enregistrer les données suivantes pour déterminer la consommation d'oxygène:

- a) données personnelles: sexe, poids, taille, âge;
- b) méthode de mesure;
- c) durée de la mesure;
 - 1) méthode partielle: période principale;
 - 2) méthode intégrale: période principale et période de récupération;
- d) pression atmosphérique;
- e) volume de l'air expiré;
- f) température de l'air expiré;
- g) teneur en oxygène de l'air expiré, s'il est nécessaire de déterminer RQ;
- h) teneur en dioxyde de carbone de l'air expiré.

5.1.3.1 Calcul du facteur de réduction STPD

Le volume gazeux doit être rapporté à $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 101,3 \text{ kPa}$ (pression normale) pour un gaz sec (conditions STPD: Standard condition for Temperature $0 \text{ }^\circ\text{C}$, Barometric Pressure $101,3 \text{ kPa}$, Dry). Comme l'air expiré est saturé de vapeur d'eau (dont la pression de saturation est fonction de la température) et sa température déterminée à température ambiante (conditions ATPS: Atmospheric condition for Temperature and Barometric Pressure, Saturated), le facteur de réduction f peut être calculé d'après l'équation (5) en utilisant la pression partielle de vapeur d'eau (voir tableau 2).

$$f = \frac{273(p - p_{\text{H}_2\text{O}})}{(273 + t) 101,3} \quad \dots (5)$$

où

f est le facteur de réduction (STPD);

p est la pression atmosphérique mesurée, en kilopascals;

$p_{\text{H}_2\text{O}}$ est la pression partielle de la vapeur d'eau saturée, en kilopascals, (voir tableau 2);

t est la température de l'air expiré, en degrés Celsius, mesurée dans le compteur à gaz ou supposée être la température ambiante en cas d'utilisation d'un sac de Douglas.

Si l'air expiré recueilli est chauffé par l'environnement à une température supérieure à $37 \text{ }^\circ\text{C}$, la pression de la vapeur d'eau saturée à une température de $37 \text{ }^\circ\text{C}$ doit être utilisée:

$$t \leq 37 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (voir tableau 2)}$$

$$t > 37 \text{ }^\circ\text{C} \quad p_{\text{H}_2\text{O}} = 6,27 \text{ kPa}$$

Tableau 2 — Pression de la vapeur d'eau saturée (kPa) entre 10 °C et 37 °C par échelons de 1 °C

Température (°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,23	1,31	1,40	1,50	1,60	1,70	1,82	1,94	2,06	2,20
20	2,34	2,49	2,64	2,81	2,98	3,17	3,36	3,56	3,78	4,00
30	4,24	4,49	4,75	5,03	5,32	5,62	5,94	6,27	—	—

5.1.3.2 Calcul du volume expiratoire pour les conditions STPD

$$V_{\text{ex}} \text{ STPD} = V_{\text{ex}} \text{ ATPS} \times f \quad \dots (6)$$

où

$V_{\text{ex}} \text{ STPD}$ est le volume expiratoire, en litres, à STPD;

$V_{\text{ex}} \text{ ATPS}$ est le volume expiratoire, en litres, à ATPS;

f est défini en 5.1.3.1.

5.1.3.3 Calcul du débit volumique

$$\dot{V}_{\text{ex}} = \frac{V_{\text{ex}} \text{ STPD}}{T} \quad \dots (7)$$

où

$\dot{V}_{\text{ex}}$ est le débit volumique, en litres par heure;

T est la durée de l'essai, en heures, c'est-à-dire la période principale pour la méthode partielle, ou encore la période principale et la période de récupération pour la méthode intégrale.

5.1.3.4 Calcul de la consommation d'oxygène

$$\dot{V}_{\text{O}_2} = \dot{V}_{\text{ex}} \times (0,209 - F_{\text{O}_2}) \quad \dots (8)$$

où

$\dot{V}_{\text{O}_2}$ est la consommation d'oxygène, en litres d'oxygène par heure;

F_{O_2} est la teneur en oxygène de l'air expiré.

5.1.3.5 Calcul de la production de dioxyde de carbone

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = \dot{V}_{\text{ex}} \times (F_{\text{CO}_2} - 0,0003) \quad \dots (9)$$

où

$\dot{V}_{\text{CO}_2}$ est la production de dioxyde de carbone, en litres de dioxyde de carbone par heure;

F_{CO_2} est la teneur en dioxyde de carbone de l'air expiré.

5.1.3.6 L'effet de contraction du volume expiré

Les volumes inspiré et expiré ne sont pas égaux si $RQ \neq 1$. La contraction peut être prise en considération en utilisant les équations (10) et (11).

$$\dot{V}_{\text{O}_2} = \dot{V}_{\text{ex}} [(1 - F_{\text{O}_2} - F_{\text{CO}_2}) 0,265 - F_{\text{O}_2}] \quad \dots (10)$$

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = \dot{V}_{\text{ex}} [F_{\text{CO}_2} - (1 - F_{\text{O}_2} - F_{\text{CO}_2}) 0,380 \times 10^{-3}] \quad \dots (11)$$

5.1.4 Calcul du métabolisme

5.1.4.1 Méthode partielle

Le métabolisme est déterminé à partir de la consommation d'oxygène et de l'équivalent énergétique en utilisant l'équation (4).

5.1.4.2 Méthode intégrale

Le calcul suivant doit être effectué en utilisant la méthode intégrale car seule la différence entre le métabolisme total mesuré et le métabolisme connu pour l'activité au cours de la période de récupération, c'est-à-dire en position assise, peut être rapportée à la période de travail.

Dans un premier temps, le métabolisme est déduit comme dans la méthode partielle puis la correction suivante est effectuée:

$$M = \left(M_p \times t_m + t_r \right) - \left(M_a \times \frac{t_r}{t_m} \right) \quad \dots (12)$$

où

M est le métabolisme, en watts par mètre carré;

M_p est le métabolisme, en watts par mètre carré, pour la méthode partielle;

M_a est le métabolisme, en watts par mètre carré, en position assise;

t_m est la durée de la période principale, en minutes;

t_r est la durée de la période de récupération, en minutes.

5.2 Estimation du métabolisme par la mesure de la fréquence cardiaque

Dans le cas de travail dynamique mettant en jeu des groupes musculaires importants avec un travail musculaire statique faible et en l'absence de contrainte thermique et de charge mentale, le métabolisme peut être estimé en mesurant la fréquence cardiaque pendant le travail. Sous réserve des restrictions mentionnées ci-dessus, cette méthode peut être plus précise que les méthodes d'estimation du niveau I et du niveau II (voir tableau 1) mais est moins compliquée que la mesure de la consommation d'oxygène qui donne les résultats les plus précis.