
Ergonomie de l'environnement thermique — Détermination du métabolisme énergétique

*Ergonomics of the thermal environment — Determination of
metabolic rate*

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

ISO 8996:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/458b67b7-ba55-406b-985f-58c706b230d4/iso-8996-2021>



iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

ISO 8996:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/458b67b7-ba55-406b-985f-58c706b230d4/iso-8996-2021>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2021

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
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 Les unités	1
5 Les quatre niveaux des méthodes d'estimation du métabolisme énergétique	1
6 Niveau 1, Typologies: classification du métabolisme énergétique par catégories	3
7 Niveau 2, Observation	4
7.1 Évaluation du métabolisme énergétique pour une activité donnée	4
7.2 Évaluation du métabolisme énergétique moyen sur une période donnée	4
7.3 Précision	5
9 Niveau 3, Analyse	5
9.1 Évaluation du métabolisme énergétique à partir de la fréquence cardiaque	5
9.1.1 Principe de la méthode	5
9.1.2 Détermination de la relation ($HR-M$) pour un travail musculaire purement dynamique	5
9.1.3 Évaluation du métabolisme énergétique en fonction de la fréquence cardiaque en situation réelle	6
9.2 Évaluation du métabolisme énergétique par accélérométrie	7
10 Niveau 4, Expertise	8
10.1 Évaluation du métabolisme énergétique à partir du mesurage de la consommation d'oxygène	8
10.1.1 Méthode partielle et méthode intégrale	8
10.1.2 Évaluation du métabolisme énergétique à partir de la consommation d'oxygène	11
10.1.3 Évaluation de la consommation d'oxygène	11
10.1.4 Calcul du métabolisme énergétique	13
10.2 Évaluation du métabolisme énergétique avec la méthode de l'eau doublement marquée pour les mesurages à long terme	14
10.3 Évaluation du métabolisme énergétique avec la méthode calorimétrique directe — Principe	14
Annexe A (informative) Évaluation du métabolisme énergétique au niveau 1, Typologies	15
Annexe B (informative) Évaluation du métabolisme énergétique au niveau 2, Observation	17
Annexe C (informative) Évaluation du métabolisme énergétique au niveau 3, Analyse	21
Annexe D (informative) Évaluation du métabolisme énergétique au niveau 4, Expertise	23
Annexe E (normative) Correction des mesures de la fréquence cardiaque pour tenir compte des effets thermiques	25
Bibliographie	27

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 www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 159, *Ergonomie*, sous-comité SC 5, *Ergonomie de l'environnement physique*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 122, *Ergonomie*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 8996:2004), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- le métabolisme énergétique associé à une tâche donnée et estimé selon les méthodes décrites dans le présent document est exprimé en watts;
- au niveau 1, Typologies, la méthode de classification du métabolisme énergétique selon la profession a été supprimée, et des procédures révisées sont fournies pour l'évaluation du métabolisme énergétique pour des activités données (niveau 2, Observation), et lors de l'utilisation de la fréquence cardiaque (niveau 3, Analyse);
- la précision des méthodes d'estimation du métabolisme énergétique a été réévaluée à la lumière de la littérature récente et, par conséquent, la méthode intégrale n'est plus recommandée au niveau 4, Expertise.

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

Le métabolisme énergétique, transformation d'énergie chimique en énergie thermique et en énergie mécanique, mesure le coût énergétique de la charge musculaire et donne une estimation quantitative de l'activité. Le métabolisme énergétique représente un facteur important pour déterminer le confort ou la contrainte résultant de l'exposition à un environnement thermique. Dans les climats chauds, notamment, les niveaux élevés de production de chaleur métabolique, associés au travail musculaire, aggravent la contrainte thermique dans la mesure où de grandes quantités de chaleur doivent être dissipées, principalement par évaporation de la sueur. Au contraire, dans les environnements froids, les niveaux élevés de production de chaleur métabolique aident à compenser les pertes excessives de chaleur à travers la peau et donc à réduire la contrainte du froid.

Les estimations, les tableaux et d'autres données figurant dans le présent document concernent la population active générale. Des corrections peuvent être nécessaires lorsqu'il s'agit de populations particulières, notamment les enfants, les personnes âgées ou les personnes présentant un handicap physique. Les caractéristiques personnelles, telles que la masse corporelle, peuvent être utilisées si le corps se déplace en marchant ou en grim pant ([Annexe B](#)). Le sexe, l'âge et la masse corporelle sont pris en compte dans l'[Annexe C](#) pour l'évaluation du métabolisme énergétique à partir de la fréquence cardiaque.

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

ISO 8996:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/458b67b7-ba55-406b-985f-58c706b230d4/iso-8996-2021>

Ergonomie de l'environnement thermique — Détermination du métabolisme énergétique

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie différentes méthodes visant à déterminer le métabolisme énergétique dans le domaine de l'ergonomie de l'environnement de travail thermique. Il peut cependant être également utilisé en vue d'autres applications, par exemple l'évaluation des pratiques de travail, le coût énergétique de travaux ou d'activités sportives spécifiques et le coût énergétique global d'une activité. Les méthodes sont classées en quatre niveaux de précision croissante: niveau 1, Typologies, avec un tableau donnant des exemples d'activités avec métabolismes énergétiques faibles, modérés et élevés; niveau 2, Observation, où le métabolisme énergétique est estimé par une étude des temps et des mouvements; niveau 3, Analyse, où le métabolisme énergétique est estimé à partir d'enregistrements de la fréquence cardiaque ou de mesures d'accéléromètres; et niveau 4, Expertise, où des techniques plus sophistiquées sont décrites. Le mode opératoire pour mettre en pratique ces méthodes est indiqué et les incertitudes sont examinées.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

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 <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

4 Les unités

Le métabolisme énergétique associé à une tâche donnée et estimé selon les méthodes décrites dans le présent document doit être exprimé en watts.

Si la tâche n'implique pas de déplacements, le métabolisme énergétique ne varie pas en fonction de la taille et du poids du sujet. Si elle implique des déplacements, le poids de la personne doit être pris en compte (voir [Annexe B](#)).

Comme la chaleur associée au métabolisme énergétique et produite à l'intérieur du corps sort essentiellement par la peau, les thermophysiologistes expriment généralement le métabolisme énergétique par unité de surface corporelle en $W \cdot m^{-2}$, et les estimations du confort thermique et des contraintes thermiques décrites dans l'ISO 7243, l'ISO 7730, l'ISO 7933 et l'ISO 11079 sont faites en utilisant le métabolisme énergétique en $W \cdot m^{-2}$.

5 Les quatre niveaux des méthodes d'estimation du métabolisme énergétique

Le rendement mécanique du travail musculaire – appelé «travail utile» – est faible. Dans la plupart des activités industrielles, il est si faible (quelques pourcents) qu'il est présumé nul. Cela signifie que l'énergie dépensée au travail est présumée être complètement transformée en chaleur. Pour les besoins

du présent document, le métabolisme énergétique est considéré comme étant égal à la production de chaleur métabolique.

Le [Tableau 1](#) indique les différentes méthodes décrites dans le présent document pour déterminer le métabolisme énergétique.

Ces méthodes sont structurées selon la philosophie décrite dans l'ISO 15265 concernant l'évaluation de l'exposition. Les quatre niveaux suivants sont considérés:

- niveau 1, Typologies: une méthode simple et facile à utiliser pour classer rapidement comme légère, modérée, élevée ou très élevée la charge de travail moyenne selon le type d'activité;
- niveau 2, Observation: une étude des temps et des mouvements destinée à des personnes ayant une parfaite connaissance des conditions de travail mais n'ayant pas nécessairement reçu une formation en ergonomie, pour caractériser en moyenne une situation de travail à un moment donné.

Un mode opératoire décrit la manière d'enregistrer successivement les activités au cours du temps, d'estimer le métabolisme énergétique de chaque activité en utilisant les formules et les données présentées à l'[Annexe B](#), et de calculer le métabolisme moyen pondéré en fonction du temps;

- niveau 3, Analyse: une méthode destinée aux personnes formées à l'hygiène du travail et à l'ergonomie de l'environnement thermique. Le métabolisme énergétique est évalué à partir de mesures de la fréquence cardiaque sur une période représentative. Cette méthode, qui permet une évaluation indirecte du métabolisme énergétique, est fondée sur sa relation avec la fréquence cardiaque dans des conditions définies. Une autre méthode à ce niveau est basée sur l'utilisation de l'accélérométrie pour enregistrer les mouvements du corps;
- niveau 4, Expertise: trois méthodes sont présentées. Elles nécessitent des mesurages très spécifiques réalisés par des experts:
 - méthode 4A: mesurage de la consommation d'oxygène sur de courtes périodes (10 min à 20 min);
 - méthode 4B: la méthode dite méthode de l'eau doublement marquée, destinée à déterminer le métabolisme moyen sur des périodes beaucoup plus longues (1 semaine à 2 semaines);
 - méthode 4C: la méthode calorimétrique directe.

Tableau 1 — Niveaux d'évaluation du métabolisme énergétique

Niveau	Méthode	Incertitude	Étude du poste de travail
1 Typologies	Classification en fonction de l'activité	Information grossière Risque d'erreur très important	Pas exigée
2 Observation	Étude des temps et des mouvements	Risque d'erreur élevé Incertitude: ± 20 %	Exigée
3 Analyse	3A: Mesurage de la fréquence cardiaque dans des conditions définies	Risque d'erreur modéré Incertitude: ± 10 % à 15 %	Étude requise pour déterminer une période représentative
	3B: Accélérométrie	Risque d'erreur élevé	
4 Expertise	4A: Mesurage de la consommation d'oxygène	Erreurs dans les limites de précision de la mesure ou de l'étude des temps et des mouvements, si les hypothèses (9.1.1, 9.1.4) se vérifient. Incertitude: ± 5 %	Étude des temps et des mouvements nécessaire
	4B: Méthode de l'eau doublement marquée		Étude du poste de travail pas exigée, mais les activités de loisirs doivent être évaluées
	4C: Calorimétrie directe	Erreurs dans les limites de précision de la mesure ou de l'étude des temps et des mouvements Incertitude: ± 5 %	Étude du poste de travail pas exigée

L'incertitude de chaque méthode est indiquée dans le [Tableau 1](#) sous forme de coefficient de variation (CV), c'est-à-dire le rapport en pourcentage de l'écart-type à la moyenne, et il convient de considérer ces valeurs comme des valeurs indicatives, qui peuvent augmenter en raison des influences non maîtrisées examinées comme suit. La précision à chaque niveau est examinée lors de la description des méthodes dans les [Articles 6](#) à [9](#). Elle augmente du niveau 1 au niveau 4, et il convient d'utiliser autant que possible le mesurage le plus précis.

Il convient d'attirer l'attention sur différentes sources de variations:

- pour une personne habituée à l'activité, 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 pouvant aller jusqu'à 20 % peut être attendue;
- dans des conditions froides, une augmentation pouvant aller jusqu'à 400 W peut être observée en présence de frissons;
- des vêtements lourds peuvent augmenter également le métabolisme énergétique de 20 % ou plus en accroissant le poids porté par le sujet et en réduisant sa liberté de mouvement.

La précision dépend également des éléments suivants:

- la représentativité de la période observée;
- la perturbation éventuelle de l'activité normale par l'observateur et/ou le mode opératoire. À cet égard, la méthode basée sur des mesures de la fréquence cardiaque semble être celle qui interfère le moins avec l'activité;
- le nombre de mesurages: la répétition est l'une des méthodes permettant de réduire l'erreur de mesure aléatoire. Sur la base du CV d'une estimation non biaisée, la formule $(CV \text{ réel} / CV \text{ demandé})^2$ permet de calculer approximativement le nombre de répétitions requis (Vogt et al., 1976). Cela implique que pour atteindre le niveau d'incertitude de 10 %, deux mesurages seraient nécessaires avec une méthode permettant d'obtenir effectivement 14 %, tandis que quatre répétitions seraient nécessaires avec une incertitude de 20 %, et neuf avec 30 %. Bien entendu, cette amélioration ne fonctionne que si aucune erreur systématique n'est inhérente. Il est recommandé d'évaluer le métabolisme énergétique de tous les échantillons et d'adopter la valeur moyenne comme métabolisme énergétique de la condition étudiée.

6 Niveau 1, Typologies: classification du métabolisme énergétique par catégories

Le métabolisme peut être estimé approximativement au moyen de la classification donnée à l'[Annexe A](#). Le [Tableau A.1](#) définit cinq classes de métabolisme: repos, métabolisme faible, moyen, élevé et très élevé. Pour chaque classe sont indiqués une plage de valeurs du métabolisme ainsi qu'un certain nombre d'exemples. Ces activités sont présumées comporter de courtes périodes de repos.

Une étude du poste de travail n'est pas nécessaire.

Les exemples donnés dans le [Tableau A.1](#) illustrent cette classification.

La méthode ne fournissant qu'une estimation grossière du métabolisme énergétique avec des risques d'erreur considérables, il convient de ne l'utiliser qu'à des fins de classification sans interpolation entre les quatre catégories.

7 Niveau 2, Observation

7.1 Évaluation du métabolisme énergétique pour une activité donnée

L'[Annexe B](#) donne les valeurs moyennes ou les formules pour estimer le métabolisme énergétique en watts dans les cas suivants:

- au repos;
- pour les activités avec déplacement:
 - en marchant avec ou sans charge à $< 6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
 - en courant avec ou sans charge à $\geq 6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$;
 - en montant ou en descendant des escaliers et des échelles;
- pour les activités sans déplacement:
 - en soulevant ou en abaissant des charges sans déplacement;
 - à partir de l'observation de la partie du corps impliquée dans le travail: les deux mains, un bras, deux bras, le corps entier, en prenant en compte la posture du sujet: assis, agenouillé, accroupi, debout, debout penché.

7.2 Évaluation du métabolisme énergétique moyen sur une période donnée

Pour évaluer le métabolisme énergétique moyen sur une période donnée, il est nécessaire de réaliser une étude détaillée du travail. Cela implique:

- de déterminer la liste des activités effectuées pendant cette période;
- d'estimer le métabolisme énergétique pour chacune de ces activités en tenant compte de leurs caractéristiques et en utilisant les données de l'[Annexe B](#), par exemple la vitesse de déplacement, les dénivélés associés au déplacement, les charges manipulées et le nombre d'actions effectuées;
- de déterminer le temps consacré à chaque activité sur l'ensemble de la période considérée.

Le métabolisme moyen pondéré en fonction du temps pour la période considérée peut alors être évalué à l'aide de la [Formule \(1\)](#):

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

où

M est le métabolisme moyen pour le cycle de travail, en W;

M_i est le métabolisme de l'activité i , en W;

t_i est la durée de l'activité i , en min;

T est la durée totale, en min, de la période considérée, et elle est égale à la somme des durées partielles t_i .

Le mode opératoire de cette évaluation des temps et des activités est décrit plus en détail à l'[Annexe B](#).

Le moment et la durée de l'étude doivent être représentatifs de l'activité dans toutes ses variations possibles: la durée peut être plutôt courte si le cycle de travail est court et répétitif, et très longue lorsque les activités changent en permanence.

7.3 Précision

La précision du mode opératoire concernant les temps et les activités dépend de la précision des formules utilisées (voir [Annexe B](#)), mais surtout du niveau de formation des observateurs et de leur connaissance des conditions de travail: le risque d'erreurs est élevé.

9 Niveau 3, Analyse

9.1 Évaluation du métabolisme énergétique à partir de la fréquence cardiaque

9.1.1 Principe de la méthode

Dans le cas d'un travail dynamique pur mettant en jeu des groupes musculaires majeurs, sans travail musculaire statique, sans charge thermique et sans charge mentale, le métabolisme peut être estimé en mesurant la fréquence cardiaque pendant le travail. Dans ces conditions, une relation linéaire existe entre le métabolisme et la fréquence cardiaque. Sous réserve de la prise en compte des restrictions mentionnées ci-dessus, cette méthode peut être plus précise que les méthodes d'évaluation du niveau 1 et du niveau 2 (voir le [Tableau 1](#)) et elle est nettement moins compliquée que les méthodes indiquées du niveau 4. Dans ce cas, la relation entre la fréquence cardiaque et le métabolisme énergétique est indiquée dans la [Formule \(2\)](#):

$$M = a + b \text{ HR} \quad (2)$$

où

M est le métabolisme énergétique, en W;

HR est la fréquence cardiaque mesurée, en battements par min;

a et b sont des coefficients.

La fréquence cardiaque peut être enregistrée de façon continue, par exemple par l'utilisation d'équipements téléométriques ou, avec une diminution de la précision, mesurée manuellement en comptant les pulsations artérielles.

La fréquence cardiaque moyenne peut être calculée sur des intervalles de temps fixes, par exemple 1 min, sur une période donnée ou sur toute la journée de travail.

La précision de cette estimation du métabolisme énergétique dépend:

- de la précision et de la validité de la relation dans la [Formule \(2\)](#);
- de l'importance des composantes HR non liées au travail musculaire dynamique.

9.1.2 Détermination de la relation ($\text{HR}-M$) pour un travail musculaire purement dynamique

La relation ($\text{HR}-M$) peut être déterminée par différentes méthodes avec une précision décroissante:

- a) la méthode la plus précise consiste à enregistrer la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène correspondante à différents niveaux d'effort lors d'un test d'effort cardiaque, par exemple sur un ergomètre ou un tapis roulant dans un environnement thermiquement neutre. La relation ($\text{HR}-M$) peut être utilisée à condition que la durée des efforts à chaque niveau permette d'obtenir des valeurs stables de fréquence cardiaque et de consommation d'oxygène;

Des études ont montré que lorsque le test cardiaque consiste en des efforts sur manivelle manuelle, au lieu de pédaler sur un vélo ou de marcher sur un tapis roulant, le métabolisme énergétique pour la même valeur de HR est inférieur de 23 % à 30 % et la validité de ($\text{HR}-M$) se limite aux activités impliquant uniquement le haut du corps et les membres supérieurs. À l'inverse, la relation ($\text{HR}-M$)