

Ergonomie de l'environnement thermique

Détermination du métabolisme énergétique

Ce document dont je fus le rédacteur principal (Prof. J. Malchaire) a fait l'objet d'une norme internationale 8996. Etant donné que je n'ai jamais été rémunéré pour ce travail et que je n'ai cédé les droits d'auteur à personne, je considère que j'ai le droit de le diffuser le document qui servi de base à l'édition de la norme ISO 8996.

Le programme *Malchaire_interpretation_charge_travail_FC.exe* disponible via mon répertoire DROPBOX suit la procédure du niveau 3, Analyse.

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. 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.

La présente Norme internationale spécifie différentes méthodes visant à déterminer le métabolisme énergétique dans le domaine de l'ergonomie de l'environnement de travail climatique. Elle peut cependant être également utilisée en vue d'autres applications — par exemple: l'évaluation des pratiques de travail, le coût énergétique de travaux ou d'activités sportives spécifiques, le coût global de l'activité, etc.

Les estimations, les tableaux et d'autres données figurant dans la présente Norme internationale concernent un individu «moyen»:

- un homme âgé de 30 ans, pesant 70 kg et mesurant 1,75 m (surface corporelle: 1,8 m²);
- une femme âgée de 30 ans, pesant 60 kg et mesurant 1,70 m (surface corporelle: 1,6 m²).

Il convient que les utilisateurs apportent les corrections appropriées lorsqu'ils considèrent une population particulière comportant des enfants, des personnes âgées, des personnes handicapées, etc.

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 9886, Ergonomie — Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques
- ISO 15265, Ergonomie des ambiances thermiques — Stratégie d'évaluation du risque pour la prévention de contraintes ou d'inconfort dans des conditions de travail thermiques

3 Principes et précision

Le rendement mécanique du travail musculaire — appelé «travail utile», *W* — est faible. Dans la plupart des activités

industrielles, il est si faible (quelques pour-cents) qu'il est supposé nul. Cela signifie que la consommation totale d'énergie au travail est supposée égale à la production de chaleur. Pour les besoins de la présente Norme internationale, le métabolisme énergétique est considéré comme étant égal à la production de chaleur métabolique.

Le Tableau 1 indique les différentes méthodes décrites dans la présente Norme internationale 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: deux méthodes simples et faciles à utiliser pour déterminer rapidement la charge de travail moyenne pour une profession ou une activité donnée:
 - la méthode 1A est une classification en fonction de la profession;
 - la méthode 1B est une classification en fonction du type d'activité.

Les deux méthodes donnent une estimation grossière sujette à une erreur importante. Cela limite considérablement leur précision. À ce niveau, un examen du poste de travail n'est pas nécessaire.

- Niveau 2, observation: deux méthodes destinées 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:
 - la méthode 2A permet de déterminer le métabolisme énergétique en ajoutant au métabolisme de base le métabolisme lié à la posture, le métabolisme lié au type d'activité et le métabolisme lié au déplacement du corps en fonction de la vitesse de travail (en utilisant les tableaux d'estimation par les composantes);
 - la méthode 2B permet de déterminer le métabolisme énergétique au moyen de valeurs classifiées pour différentes activités.

Un mode opératoire décrit la manière d'enregistrer les activités au cours du temps et de calculer le métabolisme moyen pondéré en fonction du temps, à partir des données issues des deux méthodes susmentionnées.

La possibilité d'erreurs est élevée. Une analyse des temps et des mouvements est nécessaire pour déterminer le métabolisme pour des conditions de travail qui comportent une succession d'activités différentes.

- 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 déterminé à partir de mesures de la fréquence cardiaque sur une période représentative. Cette méthode, qui permet une détermination indirecte du métabolisme, est fondée sur la relation entre la consommation d'oxygène et la fréquence cardiaque dans des conditions définies.
- Niveau 4, expertise: trois méthodes sont présentées. Elles nécessitent des mesurages très spécifiques réalisés par des experts:
 - avec la méthode 4A, la consommation d'oxygène est mesurée sur de courtes périodes (10 min à 20 min). Une analyse détaillée des temps et des mouvements est nécessaire pour indiquer la représentativité de la période de mesure;
 - la méthode 4B est la méthode dite méthode de l'eau doublement marquée, destinée à déterminer le métabolisme moyen sur des périodes beaucoup plus longues (1 à 2 semaines);
 - la méthode 4C est la méthode calorimétrique directe.

La précision des estimations est principalement limitée par les facteurs suivants:

- la variabilité des individus;
- les différences au niveau des outils de travail;
- les différences au niveau des vitesses de travail;
- les différences en matière de méthodes de travail et de compétences;
- les différences entre les sexes et les caractéristiques anthropométriques;
- les différences culturelles;
- en cas d'utilisation de tableaux, les différences existant entre les observateurs et leur niveau de formation;
- lors de l'utilisation du niveau 3, la validité de la relation entre la consommation d'oxygène et la fréquence cardiaque, puisque d'autres facteurs de contrainte influencent la fréquence cardiaque;

- au niveau 4, la précision des mesures (détermination du volume gazeux et de la teneur en oxygène).

La précision des résultats, mais également le coût de l'étude, augmentent du niveau 1 au niveau 4. Un mesurage de niveau 4 donne les valeurs les plus précises. Il convient d'utiliser autant que possible le mesurage le plus précis.

Tableau 1 — Niveaux de détermination du métabolisme énergétique

Niveau	Méthode	Précision	Étude du poste de travail
1- Typologies	1A: Classification en fonction de la profession	- Information grossière Risque d'erreur très important	Pas nécessaire, mais information requise sur l'équipement technique et l'organisation du travail
	1B: Classification en fonction de l'activité		
2- Observation	2A: Tableaux d'estimation par les composantes	- Risque d'erreur élevé- Précision : $\pm 20\%$	- Étude des temps et des mouvements nécessaire
	2B: Tableaux par activités spécifiques		
3- Analyse	Mesurage de la fréquence cardiaque dans des conditions définies	Risque d'erreur modéré- Précision : $\pm 10\%$	Étude requise pour déterminer une période représentative
- 4- Expertise	4A: Mesurage de la consommation d'oxygène	- Erreurs dans les limites- de précision de la mesure ou de l'étude des temps- Précision : $\pm 5\%$	Inspection du lieu de travail nécessaire
	4B: Méthode de l'eau doublement marquée		Inspection du lieu de travail pas nécessaire, mais estimation des activités de loisirs requise
	4C: Calorimétrie directe		Pas nécessaire

4 Niveau 1, typologies

4.1 Tableau d'estimation du métabolisme énergétique par professions

Le Tableau A.1 de l'Annexe A donne le métabolisme énergétique pour plusieurs professions. Les valeurs sont des valeurs moyennes pour toute la durée de travail, mais elles ne tiennent pas compte de longues périodes de repos telles que la durée du déjeuner. Un écart important peut résulter des différences en matière de technologie, d'outils de travail, de processus de travail, etc.

4.2 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.2 définit cinq classes de métabolisme: repos, métabolisme faible, moyen, élevé et très élevé. Pour chaque classe sont indiqués une valeur moyenne et une plage de valeurs du métabolisme ainsi qu'un certain nombre d'exemples. Ces activités sont supposées comporter de courtes périodes de repos. Les exemples donnés dans le Tableau A.2 illustrent cette classification.

5 Niveau 2, observation

5.1 Estimation du métabolisme énergétique à partir des composantes de l'activité

Dans ce cas, le métabolisme est déterminé sur la base des observations suivantes:

- la partie du corps impliquée dans le travail: les deux mains, un bras, deux bras, le corps entier;
- la charge de travail pour cette partie du corps: légère, modérée, intense, telle que jugée subjectivement par l'observateur;
- la posture du sujet: assis, agenouillé, accroupi, debout, debout penché;
- la vitesse de travail.

Le Tableau B.1 de l'Annexe B donne la valeur moyenne et une plage de valeurs des métabolismes pour un sujet standard, assis, en fonction de la partie du corps impliquée et de la charge de travail. Le Tableau B.2 fournit les corrections à apporter lorsque la posture est différente de la position assise.

5.2 Métabolisme énergétique pour des activités types

Le Tableau B.3 de l'Annexe B fournit les valeurs du métabolisme pour des activités types. Ces valeurs sont fondées sur des mesurages réalisés dans le passé par de nombreux laboratoires distincts.

5.3 Métabolisme énergétique 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 mouvements comprenant une description détaillée du travail. Cela implique de classer chaque activité en tenant compte de facteurs tels que la durée de chaque activité, les distances parcourues, les dénivelés associés au déplacement, les charges manipulées, le nombre d'actions effectuées.

Le métabolisme moyen pondéré en fonction du temps pour un cycle de travail peut être déterminé à partir du métabolisme et de la durée des activités concernées, selon l'équation suivante:

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

où

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

M_i est le métabolisme de l'activité i , en watts par mètre carré;

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

T est la durée, en minutes, du cycle de travail considéré, et elle est égale à la somme des durées partielles t_i .

L'enregistrement des activités professionnelles et de la durée des activités pour une journée de travail ou pour une période particulière peut être simplifié en utilisant le tableau de bord décrit dans le Tableau B.4. Les activités sont enregistrées au moment où elles changent, en utilisant un code de classification issu des tableaux d'estimation du métabolisme par composantes de l'activité. Le nombre de composantes à prendre en considération dépend de la complexité de l'activité.

Le mode opératoire est le suivant.

- Inscrire le nom et d'autres détails de la personne au travail.
- Observer le travail de la personne au travail (pendant au moins 2 h à 3 h).
- Déterminer chaque composante individuelle d'activité et le métabolisme correspondant estimé sur la base des Tableaux B.1, B.2 ou B.3.
- Toujours renseigner le tableau de bord au moment du changement de composante d'activité.
- Calculer la durée totale pour chaque composante d'activité.
- Multiplier la durée de chaque composante d'activité par le métabolisme correspondant.
- Ajouter les valeurs.
- Diviser la somme par la durée totale de la période d'observation. Les Tableaux B.4 et B.5 fournissent des formulaires

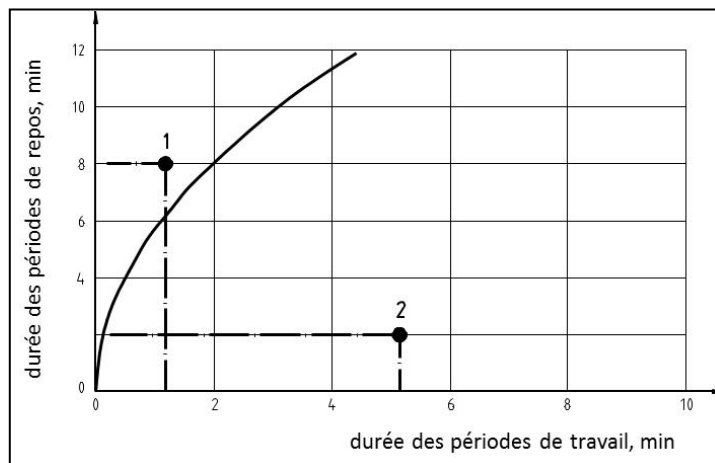
d'évaluation.

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

Les tableaux de l'Annexe B ne peuvent pas être utilisés pour l'évaluation du métabolisme moyen dans des conditions de travail impliquant une succession de courtes périodes d'activité et de longues périodes de repos. Dans ce cas, la procédure exposée en 5.3 conduirait à sous-estimer le métabolisme, du fait de l'effet dit de Simonson. La courbe de la Figure 1 présente la limite de validité des combinaisons de périodes de travail et des périodes de repos. L'Exemple 1 concerne une alternance de 1 min de travail avec 8 min de repos. Dans ce cas, la procédure exposée en 5.3 conduit à une sous-estimation, et les tableaux de l'Annexe B ne peuvent pas être utilisés. Pour les cycles de travail-repos tels qu'illustrés dans l'Exemple 2, les tableaux peuvent être utilisés avec la précision indiquée.

La Figure 1 ne s'applique qu'en l'absence de charge de travail physique pendant la période de repos. L'augmentation du métabolisme due à cet effet dépend de la nature du travail et des groupes musculaires utilisés. Il n'a pas été jugé utile de donner ici plus d'informations sur cette question, en raison de sa complexité et de sa faible pertinence à ce niveau d'évaluation.

Figure 1 — Courbe présentant la limite de validité des combinaisons de périodes de travail et de périodes de repos durant l'évaluation du métabolisme énergétique



5.5 Interpolation des valeurs

L'interpolation des valeurs de métabolisme est possible. Toutefois, lorsque les vitesses de travail diffèrent de celles données dans les tableaux de l'Annexe B, une conversion n'est possible que dans la limite de $\pm 25\%$ de la vitesse indiquée.

5.6 Exigences concernant l'application des tableaux d'évaluation du métabolisme énergétique

Pour permettre une comparaison des valeurs provenant de différentes sources, les valeurs spécifiées dans les tableaux des Annexes A et B ont été normalisées par rapport à un sujet standard travaillant dans un environnement thermique confortable.

Le métabolisme d'une personne donnée réalisant une tâche spécifique peut varier dans certaines limites autour des valeurs moyennes indiquées dans les tableaux en raison de l'influence des facteurs mentionnés à l'Article 3.

On peut cependant considérer que

- pour le même travail et dans les mêmes conditions de travail, le métabolisme peut varier d'environ $\pm 5\%$ d'une

- personne à une autre;
- 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.

Étant donné ce risque d'erreur, il n'est généralement pas justifié, à ce stade de l'évaluation, de tenir compte des différences de taille ou de sexe.

La prise en compte du poids du sujet ne pourrait être garantie que pour des activités impliquant des mouvements du corps entier, comme marcher, grimper, soulever des poids.

Dans des conditions chaudes, une augmentation maximale de $5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ à $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ peut être attendue en raison de l'augmentation de la fréquence cardiaque et de la sudation. Une telle correction n'est pas justifiée.

Par ailleurs, dans des conditions froides, une augmentation pouvant aller jusqu'à $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ peut être observée en présence de frissons. Le port de vêtements lourds augmentera également le métabolisme en accroissant le poids du sujet et en réduisant sa liberté de mouvements.

6 Niveau 3, analyse

6.1 Estimation du métabolisme énergétique à partir de la fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque à un moment donné peut être considérée comme étant la somme de plusieurs composantes.

$$HR = HR_0 + \Delta HR_M + \Delta HR_S + \Delta HR_T + \Delta HR_N + \Delta HR_E \quad (2)$$

où

- HR_0 est la fréquence cardiaque, en battements par minute, au repos, en position allongée sur le ventre, dans des conditions thermiques neutres;
- ΔHR_M est l'augmentation de la fréquence cardiaque, en battements par minute, liée au travail musculaire dynamique dans des conditions thermiques neutres;
- ΔHR_S est l'augmentation de la fréquence cardiaque, en battements par minute, liée au travail musculaire statique (cette composante dépend de la relation entre la force exercée et la force volontaire maximale du groupe musculaire utilisé);
- ΔHR_T est l'augmentation de la fréquence cardiaque, en battements par minute, due à la contrainte thermique (la composante thermique est traitée dans l'ISO 9886);
- ΔHR_N est l'augmentation de la fréquence cardiaque, en battements par minute, due à la charge mentale;
- ΔHR_E est le changement de la fréquence cardiaque, en battements par minute, dû à d'autres facteurs, par exemple aux effets respiratoires, aux rythmes circadiens, à la déshydratation.

Dans le cas d'un travail dynamique mettant en jeu des groupes musculaires majeurs, avec un travail musculaire statique faible et en l'absence d'astreinte thermique et de 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'estimation du niveau 1 et du niveau 2 (voir le Tableau 1) et elle est moins compliquée que le mesurage de la consommation d'oxygène, qui donne les résultats les plus précis.

La fréquence cardiaque peut être enregistrée de façon continue, par exemple par l'utilisation d'équipements télémétriques ou, avec une diminution consécutive de la précision, mesurée manuellement en comptant les pulsations artérielles (voir l'ISO 9886).

La fréquence cardiaque moyenne, HR , peut être calculée sur des intervalles de temps fixes, par exemple 1 min, pour différents cycles de travail ou sur toute la journée de travail.

En présence d'une charge thermique importante, d'un travail musculaire statique, d'un travail dynamique mettant en jeu

de petits groupes musculaires et/ou des charges mentales, la pente et la forme de la relation fréquence cardiaque-métabolisme peuvent changer radicalement. Les modalités de correction des mesurages de la fréquence cardiaque pour tenir compte de l'effet thermique sont décrites dans l'ISO 9886.

6.2 Relation entre fréquence cardiaque et métabolisme énergétique

La relation entre la fréquence cardiaque et le métabolisme peut être mesurée par l'enregistrement de la fréquence cardiaque à différents paliers d'un effort musculaire, défini au cours d'une expérimentation réalisée dans un environnement climatique neutre. Au cours d'un travail musculaire dynamique, la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène, ou le travail physique effectué correspondant, sont mesurés à différents paliers de l'effort. En raison de l'influence du type d'effort (bicyclette ergométrique, «step test», tapis roulant), de l'ordre et de la durée des paliers d'effort sur les deux paramètres, il est nécessaire d'utiliser un mode opératoire normalisé.

En général, la linéarité subsiste dans l'intervalle

- \Rightarrow 120 battements par minute (bpm), car la composante mentale peut alors être négligée;
- \leq 20 battements par minute en dessous de la fréquence cardiaque maximale du sujet, car au-delà de cette valeur la fréquence cardiaque a tendance à plafonner.

Dans cet intervalle, la relation entre la fréquence cardiaque et le métabolisme peut être exprimée de la manière suivante:

$$HR = HR_0 + RM \times (M - M_0) \quad (3)$$

où

- M est le métabolisme, en watts par mètre carré;
- M_0 est le métabolisme au repos, en watts par mètre carré;
- RM est l'augmentation de la fréquence cardiaque par unité de métabolisme;
- HR_0 est la fréquence cardiaque au repos, dans des conditions thermiques neutres.

Cette relation est utilisée pour calculer le métabolisme sur la base de la fréquence cardiaque mesurée. Lorsque cette expression est déduite des mesurages de HR et de M au cours d'une expérimentation, la précision peut être évaluée autour de 10 %.

Moyennant une perte de précision, l'expression peut être calculée à partir des estimations suivantes:

- de la fréquence cardiaque au repos, HR_0 , dans des conditions thermiques neutres;
- du métabolisme au repos, M_0 (= 55 watts par mètre carré);
- de la capacité de travail maximale, MWC, estimée à l'aide des formules suivantes en fonction de l'âge (A, en années) et du poids (P, en kg) :

$$\text{Homme: } MWC = (41,7 - 0,22A)P^{0,666} \quad W \cdot m^{-2} \quad (4)$$

$$\text{Femme: } MWC = (35,0 - 0,22A)P^{0,666} \quad W \cdot m^{-2} \quad (5)$$

- de la fréquence cardiaque maximale, HR_{max} , estimée à l'aide de la formule suivante:

$$HR_{max} = 205 - 0,62A \quad (6)$$

- $RM = (HR_{max} - HR_0)/(MWC - M_0)$ (7)

Le Tableau C.1 de l'Annexe C fournit des estimations directes de la relation HR-M pour des tranches d'âge de 20 ans à 60 ans et des poids compris entre 50 kg et 90 kg. Dans ce cas, la précision est encore réduite.

7 Niveau 4, expertise

Ces méthodes sont décrites dans la norme, mais ne seront pas reprises ici

Annexe A : Évaluation du métabolisme énergétique au niveau 1, typologies

La présente annexe fournit les données à utiliser pour caractériser simplement et facilement la charge de travail moyenne pour une profession donnée ou pour une activité donnée selon les deux méthodes données pour le niveau 1, typologies:

Méthode 1A: classification selon la profession

Tableau A.1 — Métabolisme pour différentes professions

Professions		Métabolisme (W·m ⁻²)
Travail de bureau	Travail sédentaire	55 à 65
	Travail de bureau	65 à 100
	Concierge	80 à 115
Artisan	Maçon	110 à 160
	Menuisier-charpentier	110 à 175
	Vitrier	90 à 125
	Peintre	100 à 130
	Boulangier	110 à 140
	Boucher	105 à 140
	Horloger	55 à 70
Industrie minière	Hercheur	70 à 85
	Piqueur de houille	110
	Ouvrier de four à coke	115 à 175
Industrie sidérurgique	Ouvrier de haut fourneau	170 à 220
	Ouvrier de four électrique	125 à 145
	Mouleur à la main	140 à 240
	Mouleur à la machine	105 à 165
	Fondeur	140 à 240
Ferronnerie et serrurerie	Forgeron	90 à 200
	Soudeur	75 à 125
	Tourneur	75 à 125
	Fraiseur	80 à 140
	Mécanicien de précision	70 à 110
Imprimerie	Compositeur manuel	70 à 95
	Relieur	75 à 100
Agriculture	Jardinier	115 à 190
	Conducteur de tracteur	85 à 110
Circulation	Conducteur de voiture	70 à 100
	Conducteur de bus	75 à 125
	Conducteur de tramway	80 à 115
	Grutier	65 à 145
Professions diverses	Laborantin	85 à 100
	Enseignant	85 à 100
	Vendeur	100 à 120
	Secrétaire	70 à 85

Méthode 1B: classification selon le type d'activité

Tableau A.2 — Classification du métabolisme par catégories

Classe	Métabolisme moyen (avec la plage entre parenthèses)		Exemples
	W.m-2	W	
0 Repos	65 (55 à 70)	115 (100 à 125)	Repos, position assise confortable.
1 Métabolisme faible	100 (70 à 130)	180 (125 à 235)	Travail manuel léger (écriture, frappe à la machine, dessin, couture, comptabilité); travail des mains et des bras (petits outils d'établi, inspection, assemblage ou triage de matériaux légers); travail des bras et des jambes (conduite de véhicule dans des conditions normales, manœuvre d'un interrupteur à pied ou à pédale). Debout: perceuse (petites pièces); fraiseuse (petites pièces); bobinage; enroulement de petites armatures; usinage avec outils de faible puissance; marche occasionnelle (vitesse jusqu'à 2,5 km.h-1).
2 Métabolisme modéré	165 (130 à 200)	295 (235 à 360)	Travail soutenu des mains et des bras (cloutage, limage); travail des bras et des jambes (manœuvre sur chantiers de camions, tracteurs ou engins); travail des bras et du tronc (travail au marteau pneumatique, accouplement de véhicules, plâtrage, manipulation intermittente de matériaux modérément lourds, sarclage, binage, cueillette de fruits ou de légumes; poussée ou traction de charrettes légères ou de brouettes; marche à une vitesse de 2,5 km.h-1 à 5,5 km.h-1, forgeage).
3 Métabolisme élevé	230 (200 à 260)	415 (360 à 465)	Travail intense des bras et du tronc: transport de matériaux lourds; pelletage; travail au marteau; sciage; planage ou ciselage de bois dur; fauchage et excavation manuels; marche à une vitesse de 5,5 km.h-1 à 7 km.h-1. Poussée ou traction de charrettes à bras ou de brouettes lourdement chargées; enlèvement de copeaux de pièces moulées, pose de blocs de béton.
4 Métabolisme très élevé	290 (> 260)	520 (> 465)	Activité très intense à allure rapide proche du maximum; travail à la hache; pelletage ou excavation à un rythme intensif; action de monter des escaliers, une rampe ou une échelle; marche rapide à petits pas, course, marche à une vitesse supérieure à 7 km.h-1.

Annexe B : Évaluation du métabolisme énergétique au niveau 2, observation

La présente annexe fournit les données à utiliser pour caractériser en moyenne une situation de travail à un moment précis selon les deux méthodes données pour le niveau 2, observation.

- Méthode A: le métabolisme est déterminé en ajoutant au métabolisme de base le métabolisme lié à la posture, le métabolisme lié au type d'activité et le métabolisme lié au déplacement du corps en fonction de la vitesse de travail (en utilisant des tableaux d'estimation par les composantes).
- Méthode B: le métabolisme est déterminé au moyen de valeurs classifiées pour différentes activités.

Tableau B.1 — Métabolisme (en $W \cdot m^{-2}$) pour un sujet assis, en fonction de l'intensité de l'activité et de la partie du corps impliquée

Parties du corps		Intensité de l'activité		
		Légère	Moyenne	Intense
Deux mains	Moyenne	70	85	95
	Plage	< 75	75 à 90	> 90
Un bras	Moyenne	90	110	130
	Plage	< 100	100 à 120	> 120
Deux bras	Moyenne	120	140	160
	Plage	< 130	130 à 150	> 150
Corps entier	Moyenne	180	245	335
	Plage	< 210	210 à 285	> 285

Tableau B.2 — Métabolisme supplémentaire (en $W \cdot m^{-2}$) lié à la posture du sujet

Posture	Métabolisme (en $W \cdot m^{-2}$)
Assis	0
Agenouillé	10
Accroupi	10
Debout	15
Debout penché	20

Tableau B.3 — Métabolisme pour des activités spécifiques

Activités	$W \cdot m^{-2}$
Sommeil	40
Allongé	45
Au repos, assis	55
Au repos, debout	70
Marche sur un terrain plat, régulier et dur	
1. sans charge	
à $2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	110
à $3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	140
à $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	165
à $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	200
2. avec charge	
10 kg, à $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	185
30 kg, à $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	250
Marche en montant sur un terrain régulier et dur	
1. sans charge	
pente de 5° , à $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	180
pente de 15° , à $3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	210
pente de 25° , à $3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	300
2. avec une charge de 20 kg	
pente de 15° , à $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	270
pente de 25° , à $4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	410

Marche en descendant à 5 km·h ⁻¹ , sans charge	pente de 5°	135		
		pente de 15°	140	
		pente de 25°	180	
Monter à une échelle inclinée à 70° à une vitesse de 11,2 m·min ⁻¹	sans charge	290		
	avec une charge de 20 kg	360		
Pousser ou tirer un wagonnet à bascule, à 3,6 km·h ⁻¹ , sur un terrain régulier et dur	force de poussée: 12 kg	290		
			force de traction: 16 kg	375
Pousser une brouette sur un terrain régulier, à 4,5 km·h ⁻¹ , roues à bandage en caoutchouc, charge de 100 kg		230		
Limage de fer	42 coups de lime/min	100		
	60 coups de lime/min	190		
Travail au marteau, 2 mains, poids du marteau 4,4 kg, 15 coups/min		290		
Travail de menuiserie	sciage à la main	220		
	sciage à la machine	100		
	planage à la main	300		
Pose de briques, 5 briques/min		170		
Visser		100		
Creuser une tranchée		290		
Activité sédentaire (bureau, habitation, école, laboratoire)		70		
Activité légère debout (magasin, laboratoire, industrie légère)		95		
Activité modérée debout (vendeur, travaux domestiques, travail à la machine)		115		
Travail avec machine-outil	léger (réglage, assemblage)	100		
	moyen (chargement)	140		
	intense	210		
Travail avec outil à main	léger (polissage léger)	100		
	moyen (polissage)	160		
	intense (perçage intense)	230		

Tableau B.4 — Tableau de bord d'enregistrement des activités

Date	
Objet	
Poste de travail	
Température de l'air, °C	
Température du globe noir, °C	
Humidité de l'air, HR, %	
Vitesse de l'air, m/s	
Vêtement	

Tableau B.5 — Synthèse des résultats du tableau de bord

Profession/activité:.....		Date:.....			
Catégorie		M		Temps	Total
		W·m ⁻²		min	
1	Tâche 1	M ₁	<input type="checkbox"/>	=	
2	Tâche 2	M ₂	<input type="checkbox"/>	=	
...	<input type="checkbox"/>	=	
n	Tâche n	M _n	<input type="checkbox"/>	=	
	Total		
Métabolisme moyen pondéré en fonction du temps					

Annexe C : Évaluation du métabolisme énergétique au niveau 3, analyse

La présente annexe fournit les données à utiliser pour estimer le métabolisme en mesurant la fréquence cardiaque sur une période représentative, selon la méthode prévue pour le niveau 3, analyse.

Tableau C.1 — Relation entre le métabolisme (en $W \cdot m^{-2}$) et la fréquence cardiaque (en battements par minute), obtenue en fonction de l'âge et du poids du sujet (homme/femme)

Âge (années)	Poids (kg)				
	50 kg	60 kg	70 kg	80 kg	90 kg
Femmes					
20	2,9 × HR - 150	3,4 × HR - 181	3,8 × HR - 210	4,2 × HR - 237	4,5 × HR - 263
30	2,8 × HR - 143	3,3 × HR - 173	3,7 × HR - 201	4,0 × HR - 228	4,4 × HR - 254
40	2,7 × HR - 136	3,1 × HR - 165	3,5 × HR - 192	3,9 × HR - 218	4,3 × HR - 244
50	2,6 × HR - 127	3,0 × HR - 155	3,4 × HR - 182	3,7 × HR - 207	4,1 × HR - 232
60	2,5 × HR - 117	2,9 × HR - 145	3,2 × HR - 170	3,6 × HR - 195	3,9 × HR - 219
Hommes					
20	3,7 × HR - 201	4,2 × HR - 238	4,7 × HR - 273	5,2 × HR - 307	5,6 × HR - 339
30	3,6 × HR - 197	4,1 × HR - 233	4,6 × HR - 268	5,1 × HR - 301	5,5 × HR - 333
40	3,5 × HR - 192	4,0 × HR - 228	4,5 × HR - 262	5,0 × HR - 295	5,4 × HR - 326
50	3,4 × HR - 186	4,0 × HR - 222	4,4 × HR - 256	4,9 × HR - 288	5,3 × HR - 319
60	3,4 × HR - 180	3,9 × HR - 215	4,5 × HR - 249	4,8 × HR - 280	5,2 × HR - 311