

Ambiances thermiques

La charge de travail

1. Qu'appelle-t-on métabolisme ou charge de travail?	1
2. Qu'est-ce que le travail extérieur fourni?	1
3. Qu'est-ce qu'un travail statique et un travail dynamique?	1
4. Quelles sont les différentes méthodes permettant d'évaluer la charge de travail?	2
5. Quel est le métabolisme associé aux différentes professions?	3
6. Qu'appelle-t-on travail «léger», «moyen», «lourd»?	4
7. Comment peut-on évaluer le métabolisme dans le cas d'un poste fixe?	5
8. Comment peut-on évaluer le métabolisme dans le cas où le travailleur se déplace au cours du travail?	6
9. Quel est le métabolisme associé à diverses activités typiques?	8
10. Comment évaluer la charge de travail dans le cas d'un travail qui varie au cours du temps?	9
11. Quels sont les facteurs principaux affectant la précision des méthodes d'évaluation de la charge de travail?	10
12. Quelle est l'ordre de grandeur des différences interindividuelles? (Cas des opérateurs non "standards")	11
13. Comment peut-on évaluer la charge de travail à partir de la fréquence cardiaque?	11
14. Comment peut-on évaluer la relation fréquence cardiaque - métabolisme?	12

1. Qu'appelle-t-on métabolisme ou charge de travail?

- Le métabolisme mesure le coût énergétique de la charge musculaire de l'activité, ou charge de travail, associé à la conversion des sucres et graisses en énergie mécanique et thermique.
- La charge de travail influence de manière déterminante le confort ou la contrainte thermique. En particulier, dans des climats chauds, les niveaux élevés de production métabolique de la chaleur liée au travail musculaire aggravent la contrainte due à la chaleur, car de grandes quantités de chaleur doivent être perdues la plupart du temps par évaporation de sueur.



[TOP](#)

2. Qu'est-ce que le travail extérieur fourni?

- L'efficacité mécanique du travail musculaire autrement dit le travail "utile" est faible.
- Dans la plupart des travaux industriels, elle est à ce point faible (quelques %) qu'elle est supposée égale à zéro. Ceci signifie que l'énergie totale dépensée pour le travail est supposée transformée en chaleur.

[TOP](#)

3. Qu'est-ce qu'un travail statique et un travail dynamique?

- Un travail dynamique est un travail qui comprend des mouvements alternatifs des muscles: l'exemple parfait en est la marche.

- Un travail statique est, au contraire, un travail effectué avec les muscles en contraction fixe: c'est le cas du port de charge.
- En pratique, à peu près tous les travaux comportent une composante statique et une composante dynamique: porter une charge en se déplaçant, pelleter, pousser un chariot...

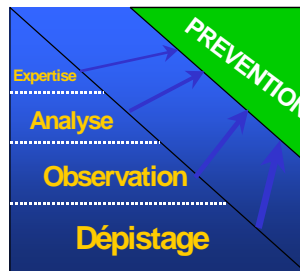
[TOP](#)



4. Quelles sont les différentes méthodes permettant d'évaluer la charge de travail?

Le tableau suivant énumère les différentes approches qui peuvent être utilisées pour déterminer le métabolisme, ainsi que leur précision.

Selon la stratégie **SOBANE**, quatre niveaux sont considérés:



- Niveau 1, **Dépistage**: Deux méthodes simples et faciles permettent de caractériser rapidement la charge de travail moyenne pour une profession donnée ou pour une activité donnée.
 - méthode A: classification selon le métier
 - méthode B: classification selon le genre d'activité

Les deux méthodes fournissent une évaluation grossière et peu précise. À ce niveau, une inspection du lieu de travail n'est pas nécessaire.
- Niveau 2, **Observation**: Trois méthodes permettent, à des personnes avec une connaissance parfaite des conditions de travail, mais sans nécessairement une formation en ergonomie, de caractériser la charge moyenne dans une situation de travail à un instant spécifique.
 - méthode A: le métabolisme est déterminé en fonction de la posture du corps et des efforts et postures des segments corporels
 - méthode B: le métabolisme moyen est déterminé en fonction de la vitesse de travail
 - méthode C: le métabolisme moyen est déterminé directement en fonction de l'activité.

Une procédure permet d'enregistrer les activités au cours du temps et de calculer le métabolisme moyen pondéré dans le temps, en utilisant les données des méthodes ci-dessus.

La précision reste faible.

Une étude de temps est nécessaire pour déterminer le métabolisme dans les situations de travail qui impliquent un cycle de différentes activités.

- Niveau 3, **Analyse**: Le métabolisme moyen est déterminé à partir d'enregistrements de fréquence cardiaque sur une période représentative. Cette méthode de détermination indirecte du métabolisme est basée sur la relation existant entre la consommation d'oxygène et la fréquence cardiaque dans des conditions définies. La méthode s'adresse aux personnes qualifiées en santé au travail.
- Niveau 4, **Expertise**: La méthode disponible à ce niveau est le mesurage de la consommation d'oxygène

Comparaison des méthodes de détermination du métabolisme

Niveau	Méthode	Précision	Inspection du lieu de travail
<i>Dépistage</i>	A. Classification selon le métier	Information approximative Risque très grand d'erreur	Non nécessaire, mais une information est requise concernant l'équipement technique et l'organisation du travail
	B. Classification selon le genre d'activité		
<i>Observation</i>	A. Tables en fonction des postures et efforts	Risque élevé d'erreur Précision: $\pm 20\%$	Etude des temps nécessaire
	B. Tables en fonction des vitesses		
	C. Tables pour des activités spécifiques		
<i>Analyse</i>	Evaluation à partir d'enregistrement de la fréquence cardiaque dans des conditions définies	Risque moyen d'erreur Précision: $\pm 10\%$	Non nécessaire
<i>Expertise</i>	Mesurage de consommation d'oxygène	Erreurs dans les limites de la précision de la mesure ou de l'étude de temps Précision: $\pm 5\%$	Étude de temps nécessaire
	Calorimétrie directe		Non nécessaire

[TOP](#)

5. Quel est le métabolisme associé aux différentes professions?

Le tableau suivant donne le métabolisme moyen pour différentes professions. Des variations importantes peuvent survenir en fonction des techniques utilisées, de la nature exacte du travail, de l'organisation du travail, etc.

Métabolisme pour différentes professions

	Métier	Métabolisme (watts)
Artisans	Maçon	200 - 290
	Charpentier	200 - 310
	Vitrier	160 - 230
	Peintre	180 - 230
	Boulangier	200 - 250
	Boucher	190 - 250
	Horloger	100 - 130
Industrie minière	Mineur de charbon	200 - 400
	Ouvrier de four à coke	210 - 310
Sidérurgie	Ouvrier de haut fourneau	310 - 400
	Ouvrier de four électrique	220 - 260
	Mouleur manuel	250 - 430
	Mouleur à la machine	190 - 300
Métallurgie	Ouvrier de fonderie	250 - 430
	Forgeron	160 - 360
	Soudeur	130 - 220
	Tourneur	130 - 220
	Foreur	140 - 250
	Mécanicien de précision	130 - 200
Imprimerie	Imprimeur	125 - 170
	Relieur	135 - 200
Agriculture	Jardinier	200 - 340
	Conducteur de tracteur	150 - 200
Transport	Conducteur de voiture	125 - 180
	Chauffeur de bus	135 - 225
	Conducteur de tramway	145 - 210
	Grutier	115 - 260
Divers	Aide de laboratoire	150 - 180
	Enseignant	150 - 180
	Vendeur	180 - 220
	Secrétaire	125 - 150



[TOP](#)

6. Qu'appelle-t-on travail «léger», «moyen», «lourd»?

Le tableau suivant donne, pour chaque classe, la moyenne et la gamme des valeurs de métabolisme ainsi qu'un certain nombre d'exemples. Ces activités sont censées inclure des pauses de détente courtes.

Ces qualificatifs sont utilisés pour un travail **EN CONTINU** de **8 h** (en tenant compte des pauses habituelles). Ils n'ont pas de sens pour un travail occasionnel de quelques instants.

Exemple: monter un escalier est un travail très lourd s'il doit être fait pendant 8 h en continu; c'est tout à fait acceptable si cela dure 30 secondes.

Catégories de métabolisme

Classe	Métabolisme (watts)	Exemples
Repos assis	100	
Repos debout	120	
Léger	180 (130 – 240)	<ul style="list-style-type: none"> • Travail de secrétariat • Travail assis manuel léger (taper sur un clavier, dessiner, coudre...) • Travail assis avec de petits outils, inspection, assemblage léger • Conduite de voiture, opération d'une pédale... • Forage, polissage légers de petites pièces • Utilisation de petites machines à main • Marche occasionnelle lente
Moyen	300 (241 – 355)	<ul style="list-style-type: none"> • Travail soutenu des mains et des bras (clouage, vissage...) • Conduite d'engins, tracteurs, camions... • Manutention occasionnelle d'objets moyennement lourds • Marche plus rapide (3,5 à 5,5 km/h)
Lourd	410 (356 – 465)	<ul style="list-style-type: none"> • Travail intense des bras et du tronc • Manutention d'objets lourds, de matériaux de construction • Pelletage, sciage à main, rabotage • Marche rapide (5,5 à 7 km/h) • Pousser, tirer chariots, brouettes
Très lourd	520 (> 466)	<ul style="list-style-type: none"> • Travail très intense et rapide • Pelletage lourd, creusage • Montée d'escaliers ou d'échelles • Marche très rapide, course (>7km/h)

[TOP](#)

7. Comment peut-on évaluer le métabolisme dans le cas d'un poste fixe?

Le métabolisme est estimé à partir des observations suivantes:

- le segment de corps impliqué dans le travail: les deux mains, un bras, deux bras, le corps entier
- la charge de travail pour ce segment de corps: léger, moyen, lourd
- la posture de corps: au repos, à genoux, accroupi, debout, debout penché



Le tableau suivant donne la valeur moyenne et la gamme des métabolismes pour une personne standard, assise, en fonction du segment corporel impliqué et de la charge de travail.

La charge doit être appréciée selon les capacités moyennes des travailleurs et NON en fonction des capacités d'un travailleur particulier, ni, a fortiori, de l'observateur.

Charge de travail (en watts) pour un sujet assis,

en fonction de l'intensité du travail et de la zone corporelle impliquée

Zone corporelle impliquée		Travail		
		Léger	Moyen	Lourd
Les 2 mains	Moyenne	125	155	170
	Gamme	<135	135-160	>160
Un bras	Moyenne	160	200	235
	Gamme	<180	180-215	>215
Les 2 bras	Moyenne	215	250	290
	Gamme	<235	235-270	>270
Le corps	Moyenne	325	440	600
	Gamme	<380	380-510	>510

Le tableau suivant donne les corrections à ajouter quand la posture est différente d'assise.

Posture du corps	Métabolisme (watts)
Assis	0
À genoux	20
Accroupi	20
Debout	25
Debout penché	35

[TOP](#)

8. Comment peut-on évaluer le métabolisme dans le cas où le travailleur se déplace au cours du travail?

Le tableau suivant permet d'évaluer le métabolisme pour une activité de déplacement en fonction de la vitesse de ce déplacement

Métabolisme lié à la vitesse de travail

Le métabolisme basal (80 W) doit être ajouté aux valeurs résultantes

Type de travail	Métabolisme
Métabolisme en fonction de la vitesse de marche en mètres par minute	W . (m/min)-1
Marche: 0,55 à 1,40 m/min (2 à 5 km/h)	200
Marche en montant: 0,55 à 1,40 m/min (2 à 5 km/h)	
Pente 5°	320
Pente 10°	500
Marche en descendant: 0,55 à 1,40 m/min (2 à 5 km/h)	
Pente 5°	110
Pente 10°	90
Marche avec une charge sur le dos: 1,1 m/min (4 km/h)	
charge de 10 kg	225
charge de 30 kg	330
Métabolisme lié à la vitesse de montée en m/sec (distance verticale par seconde)	W . (m/sec)-1
Montée d'escaliers	3240
Descente d'escaliers	945
Montée d'une échelle inclinée	
Sans charge	3000
charge de 10 kg	3400
charge de 20 kg	4000
Montée d'une échelle verticale	
Sans charge	3800
charge de 10 kg	4300
charge de 20 kg	4900



[TOP](#)

9. Quel est le métabolisme associé à diverses activités typiques?

Le tableau suivant fournit des valeurs du métabolisme pour des activités typiques.

Activités	M (watts)
Sommeil	70
Repos assis	100
Repos debout	125
Marche chemin uni, solide, de niveau	
1. sans charge	
à 2 km/h	200
à 3 km/h	250
à 4 km/h	300
à 5 km/h	360
2. avec charge	
10 kg de charge, 4 km/h	330
30 kg de charge, 4 km/h	450
Marche chemin uni, solide, en montée	
1. sans charge	
5° inclinaison, 4 km/h	320
15° inclinaison, 3 km/h	380
25° inclinaison, 3 km/h	540
2. avec charge 20 kg	
15° inclinaison, 4 km/h	490
25° inclinaison, 4 km/h	740
Descente à 5 km/h, sans charge	
5° inclinaison	240
15° inclinaison	250
25° inclinaison	320
Echelle 70° vitesse 11,2 m de dénivellation par minute	
non chargé	520
20 kg de charge	650
Pousser ou tirer des wagonnets, 3,6 km/h, chemin plat, solide	
force de poussée: 12 kg	520
force de poussée: 16 kg	670
Porter une brouette, chemin uni, 4,5 km/h, bandage en caoutchouc, 100 kg de charge	410
Limer du fer	
42 coups de lime/min	180
60 coups de lime/min	340
Travail au marteau (2 mains), poids du marteau: 4,4 kg, 15 coups/min	520
Menuiserie	
sciage à la main	400
sciage à la machine	180
rabotage à la main	540
Maçonnerie, 5 briques/min	310
Vissage	180
Creuser une tranchée	520
Travail sur machine-outil	
léger (réglage, assemblage)	180
moyen (chargement)	250
lourd	380
Travail avec une machine manuelle	
léger (polissage léger)	180
moyen (ponçage)	290
lourd (forage lourd)	410



[TOP](#)

10. Comment évaluer la charge de travail dans le cas d'un travail qui varie au cours du temps?

Pour déterminer le métabolisme moyen sur une phase de travail, il est nécessaire d'effectuer une étude des temps d'exécution qui inclut une description détaillée du travail. Ceci demande de classer chaque activité en tenant compte de facteurs tels que la durée de l'activité, les distances parcourues, les hauteurs, les poids manipulés, le nombre d'actions effectuées...



Le métabolisme pour un cycle de travail peut être déterminé à partir des métabolismes des diverses activités et des durées respectives par:

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

où

- M est le métabolisme moyen du cycle de travail, en watts
- M_i est le métabolisme de l'activité i , en watts
- t_i est la durée de l'activité, en secondes
- T est la durée, en secondes, de la phase de travail considérée et est égal à la somme des durées partielles t_i

L'enregistrement des activités professionnelles et la durée des activités pendant une période représentative de travail peut être simplifié en employant le journal décrit au tableau suivant.

Date						
Sujet						
Lieu de travail						
Température de l'air (°C)						
Température de globe (°C)						
Humidité de l'air (RH %)						
Vitesse de l'air (m/s)						
Isolement vestimentaire (clo)						
Heure	Minute	Numéro de la tâche				
		1	2	3		n
..						
..						

La procédure est la suivante:

- choisir un opérateur représentatif
- déterminer la phase de travail à analyser, en s'intéressant à sa représentativité
- observer le travail de cet opérateur pendant la phase déterminée
- déterminer les composantes de la tâche et le métabolisme correspondant, au moyen des tableaux précédents
- numéroter ces composantes et préparer le journal
- enregistrer le numéro de la composante dès qu'elle débute

Après l'observation:

- calculer le temps passé à chaque composante de la tâche
- calculer le métabolisme moyen par l'expression ci-dessus

La table des résultats peut prendre la forme du tableau suivant:

Tâche:..... Date:..... Observateur:.....

Composantes		M_i	Temps	Produit
N°	Description	W	t_i /sec	$M_i t_i$
1	Tâche 1	M_1		
2	Tâche 2	M_2		
..				
i	Tâche i	M_i		
..				
n	Tâche n	M_n		
	Total			
Métabolisme moyen				

[TOP](#)

11. Quels sont les facteurs principaux affectant la précision des méthodes d'évaluation de la charge de travail?

La précision varie fortement en fonction de la méthode, mais quelle que soit cette méthode, elle est influencée également par les aspects suivants:

- les différences hommes-femmes et les caractéristiques anthropométriques
- d'autres caractéristiques individuelles
- les variations dans la vitesse de travail
- les différences de techniques de travail et de compétences professionnelles
- lors de l'utilisation des tableaux, les différences entre observateurs et leur niveau de formation
- en utilisant le niveau 3, la précision de la relation entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène, et la présence d'autres facteurs influençant la fréquence cardiaque

[TOP](#)

12. Quelle est l'ordre de grandeur des différences interindividuelles? (Cas des opérateurs non "standards")

Les valeurs rapportées ci-dessus ont été normalisées pour un opérateur "standard", travaillant dans un environnement thermique confortable.

Pour une personne donnée accomplissant une tâche donnée, la charge de travail peut varier dans certaines limites autour des valeurs données dans les tables.

On peut estimer que:

- pour le même travail et dans les mêmes conditions de travail, le métabolisme peut varier d'environ ± 5 % d'une personne à une autre
- pour une personne formée à l'activité, la variation est d'environ 5 % dans des conditions de laboratoire.

Sur le terrain, c'est-à-dire quand l'activité n'est pas exactement la même d'une fois à une autre, une variation allant jusqu'à plus de 20 % peut être constatée.

Vu ce risque d'erreur, il n'est pas normalement justifié, à ce niveau de l'évaluation, de prendre en considération les différences de taille, genre... des sujets.

La considération du poids du sujet peut se justifier seulement pour des activités comportant des mouvements du corps entier, tels que marcher, s'élever, soulever un poids...

En ambiances chaudes, une augmentation d'au maximum 10 à 20 W peut survenir du fait de la fréquence cardiaque accrue et de la transpiration. Une telle correction n'est pas justifiée.

En ambiances froides, une augmentation importante du métabolisme peut être observée si l'opérateur frissonne. Le port de l'habillement lourd augmente également le métabolisme, en augmentant le poids du sujet et en diminuant la facilité des mouvements.

[TOP](#)

13. Comment peut-on évaluer la charge de travail à partir de la fréquence cardiaque?



La fréquence cardiaque à un moment donné peut être considérée comme une somme de plusieurs composants.

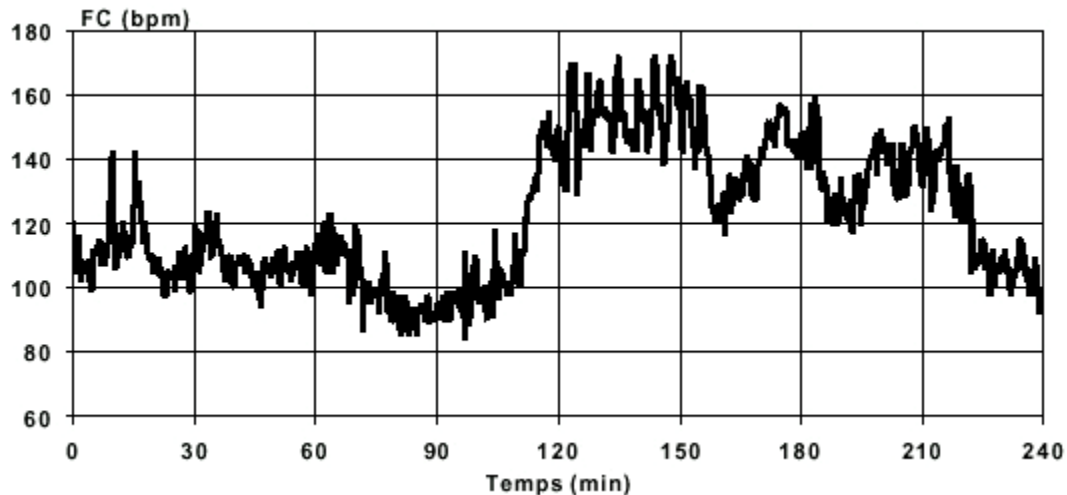
$$FC = FC_0 + \Delta FC_M + \Delta FC_S + \Delta FC_T + \Delta FC_N + \Delta FC_E$$

- la fréquence cardiaque FC_0 au repos, en position couchée, dans des conditions thermiques neutres
- l'augmentation de la fréquence cardiaque due à la charge musculaire dynamique, ΔFC_M , dans des conditions thermiques neutres
- l'augmentation de la fréquence cardiaque due au travail musculaire statique ΔFC_S
- l'augmentation de la fréquence cardiaque due à la contrainte thermique ΔFC_T
- l'augmentation de la fréquence cardiaque due à la charge mentale ΔFC_N
- une composante résiduelle de la fréquence cardiaque ΔFC_E due, par exemple, aux effets respiratoires, au rythme circadien, à la déshydratation.

Dans le cas du travail dynamique utilisant les groupes musculaires principaux, avec seulement un peu de charge musculaire statique et en l'absence de contrainte thermique

et de charge mentale, le métabolisme peut être estimé en mesurant la fréquence cardiaque pendant le travail.

Une relation linéaire peut alors être supposée entre la fréquence cardiaque et le métabolisme. Si les restrictions mentionnées ci-dessus sont prises en considération, cette méthode peut être plus précise que les précédentes.



La fréquence cardiaque peut être enregistrée sans interruption, par exemple en utilisant un équipement télémétrique, ou peut être mesurée manuellement, avec une précision réduite, en comptant les pulsations artérielles (voir ISO 9886).

La fréquence cardiaque moyenne peut être calculée sur des intervalles fixes de temps, par exemple 1 minute, sur différents cycles de fonctionnement ou sur la durée totale de la journée de travail.

En présence d'une charge thermique importante, de travail musculaire statique, de travail dynamique avec de petits groupes musculaires, ou encore d'une charge mentale importante, la pente et la forme de la relation fréquence cardiaque - métabolisme peuvent changer considérablement.

[TOP](#)

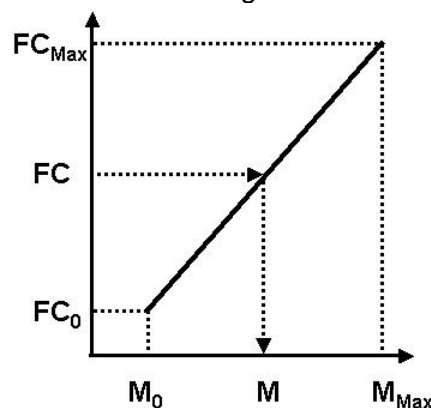
14. Comment peut-on évaluer la relation fréquence cardiaque - métabolisme?

La relation fréquence cardiaque - métabolisme peut être déterminée en enregistrant la fréquence cardiaque à différents niveaux de charge musculaire pendant une expérience (appelée épreuve d'effort) dans un environnement climatique neutre. C'est évidemment rarement le cas et en général, on prédit la relation en fonction de l'âge et du poids selon les données de la table suivante:

**Relation Métabolisme (en watts) – Fréquence cardiaque,
prédite en fonction de l'âge et du poids du sujet (femmes et hommes)**

Age (années)	Poids				
	50 kg	60 kg	70 kg	80 kg	90 kg
Femmes					
20	5.2 FC - 270	6.1 FC - 324	6.8 FC - 378	7.6 FC - 427	8.1 FC - 473
30	5.0 FC - 257	6.0 FC - 311	6.7 FC - 361	7.2 FC - 410	7.9 FC - 457
40	4.9 FC - 244	5.6 FC - 165	6.3 FC - 346	7.0 FC - 392	7.7 FC - 439
50	4.7 FC - 229	5.4 FC - 279	6.1 FC - 328	6.7 FC - 373	7.4 FC - 418
Hommes					
20	6.7 FC - 361	7.6 FC - 428	8.5 FC - 491	9.4 FC - 553	10.1 FC - 610
30	6.5 FC - 355	7.4 FC - 419	8.3 FC - 482	9.2 FC - 542	9.9 FC - 600
40	6.3 FC - 346	7.2 FC - 410	8.1 FC - 472	9.0 FC - 531	9.7 FC - 587
50	6.1 FC - 335	7.2 FC - 400	7.9 FC - 461	8.8 FC - 518	9.5 FC - 574

La relation est utilisée pour dériver le métabolisme à partir de la fréquence cardiaque moyenne (FC_M) mesurée, comme le schématise la figure suivante:



En général, la linéarité est correcte dans la gamme:

- au-dessus de 120 battements par minute (bpm), parce que la composante mentale peut alors être négligée.
- jusqu'à 20 battements au-dessous de la fréquence cardiaque maximale du sujet, parce que la fréquence cardiaque tend à se stabiliser au-dessus de cette valeur. La fréquence cardiaque maximale individuelle peut être estimée par: $FC_{max} = 220 - \text{âge}$

Puisque existent les composantes ΔFC_S , ΔFC_T , ΔFC_N et ΔFC_E décrite ci-dessus, La fréquence cardiaque totale est plus élevée que la fréquence cardiaque associée à la dépense énergétique. Le métabolisme estimé est donc aussi une surestimation du métabolisme réel. L'estimation va donc dans le sens de la protection.

Il faut remarquer cependant que ce métabolisme estimé n'est peut-être pas une estimation de la *pénibilité* du travail.

[TOP](#)