

# Détermination de la dépense énergétique de travail et des capacités cardio-respiratoires maximales à l'aide d'un exercice sous-maximal sur step-test

J.P. MEYER, D. FLENGHI (\*)

La relation entre la fréquence cardiaque ( $f_c$ ) et la consommation d'oxygène ( $\dot{V}O_2$ ) permet, d'une part, de déterminer la dépense énergétique correspondant à une  $f_c$  donnée, d'autre part, d'évaluer les capacités cardio-respiratoires maximales [20].

Ces deux grandeurs intéressent le médecin du travail à deux titres :

1) L'analyse des conditions de travail peut nécessiter l'évaluation de la dépense énergétique liée à la tâche pour quantifier la charge physique [22]. En effet, malgré une automatisation croissante, le travail physique touche encore un grand nombre de salariés [10, 31] et constitue la cause la plus fréquente d'accidents du travail [11]. Son évaluation reste donc d'actualité pour justifier des allègements de la charge de travail.

2) La connaissance de la relation  $f_c = f(\dot{V}O_2)$  permet de déterminer les capacités physiques et en particulier les capacités cardio-respiratoires maximales. Celles-ci sont l'un des critères les plus fidèles de la santé [3, 18, 33, 36]. La médecine du travail, composante essentielle d'une médecine de prévention et de promotion de la santé, se doit de disposer d'une méthode simple d'évaluation des capacités cardio-respiratoires.

La méthode généralement utilisée pour déterminer la relation  $f_c = f(\dot{V}O_2)$  consiste à réaliser un exercice sur bicyclette ergométrique au cours duquel  $f_c$  et  $\dot{V}O_2$  sont mesurées à différentes puissances de pédalage. La mesure de  $f_c$  au cours du travail permet ensuite d'évaluer la puissance de travail et de la traduire en équivalent énergétique. Mais, les coûts des matériels requis pour mener à bien ces tests réservent ces méthodes à des laboratoires spécialisés [14].

Cependant, l'évolution récente du matériel de mesure de la fréquence cardiaque permet un recueil simple et précis de celle-ci, à la fois au cours d'un test d'effort et pendant le travail, sans interférence avec celui-ci. Par ailleurs, le problème du matériel nécessaire à la quantification des niveaux de puissance mécanique, en général un bicyclette ergométrique, peut être résolu de façon satisfaisante par l'utilisation d'un step-test. De principe ancien [5, 21], ce test est réalisable simplement et permet de standardiser des puissances de travail. Toutefois, les protocoles d'exercice sur step-test généralement utilisés imposent des contraintes physiques trop importantes pour être réalisables sans risque par une population de salariés ; en effet, ces tests ont souvent pour objectifs de mettre en évidence une pathologie cardiaque [21] ou de déterminer les capacités cardio-respiratoires maximales de sujets jeunes et sportifs [5, 17, 28].

*L'objectif de la présente étude est de proposer un protocole de test d'effort sur step-test qui soit simple pour être utilisable en entreprise et sous-maximal afin d'être réalisable par des salarié(s) non sportifs. La méthode proposée repose sur l'hypothèse d'une relation linéaire entre la  $f_c$  et la  $\dot{V}O_2$  [22].*

(\*) Service de Physiologie environnementale, Centre de recherche de l'INRS, Vandœuvre.

Le diagramme qui permet la détermination graphique de la relation linéaire  $fc = f(\dot{V}O_2)$  est construit sur la base des résultats enregistrés au cours d'une première série expérimentale. Après avoir été établie de façon graphique, la relation  $fc = f(\dot{V}O_2)$  permet de déterminer la  $\dot{V}O_{2max}$  et la  $\dot{V}O_2$  qui correspond à une  $fc$  mesurée au travail. La validité et la précision de la méthode graphique de détermination de la relation  $fc = f(\dot{V}O_2)$  et la capacité du test à prédire la  $\dot{V}O_{2max}$  sont ensuite évaluées au cours d'une deuxième série expérimentale :

– les  $\dot{V}O_{2max}$  déterminées selon la méthode graphique  $\dot{V}O_{2maxGr}$  sont comparées aux  $\dot{V}O_{2max}$  calculées  $\dot{V}O_{2maxSt}$  en prenant en compte l'influence des caractéristiques physiques des sujets sur les coûts énergétiques aux différentes hauteurs du step-test [32] et les régressions  $fc = f(\dot{V}O_2)$  ;

– les  $\dot{V}O_{2max}$  déterminées au cours du step-test sont comparées à celles obtenues au cours d'un test d'effort maximal de course navette  $\dot{V}O_{2maxCn}$ .

## 1. MÉTHODES

### 1.1. Construction du diagramme $fc = f(\dot{V}O_2)$ (première série expérimentale)

#### Sujets

Vingt hommes, en bonne santé, volontaires ont participé à l'étude. L'âge moyen des sujets était de 29,5 ans ( $\pm 8,7$ ), leur poids moyen de 71,4 kg ( $\pm 9,3$ ), leur taille moyenne de 178 cm ( $\pm 7$ ) et leur indice de masse corporelle (body mass index, ou bmi) moyen de 22,6 kg.m<sup>-2</sup> ( $\pm 2,0$ ).

#### Step-test

Le step-test est constitué d'un châssis en cornières métalliques à base carrée de 50 cm de côté et 40 cm de hauteur. A 10, 20, 30 et 40 cm de hauteur, le châssis comporte des encoches dans lesquelles coulisse une planche carrée de 50 cm de côté et 1,5 cm d'épaisseur. Lors des tests, la planche est placée successivement dans les quatre encoches, déterminant ainsi quatre paliers de hauteur de montée successive prédéterminée de 11,5 cm, 21,5 cm, 31,5 cm et 41,5 cm. Un métronome mécanique rythme la fréquence de montée à 15 fois par minute.

Après un repos assis de 5 minutes et 2 minutes de repos debout, les sujets réalisent le step-test durant 3 minutes pour chaque palier. Entre chaque palier, le sujet reste au repos debout pendant 30 secondes, permettant ainsi à l'expérimentateur d'augmenter la hauteur de la marche de 10 cm. Les sujets étaient libres d'alterner la montée avec la jambe droite ou gauche. Ils devaient par contre poser les deux pieds au sol et sur la marche et se tenir debout droit sur cette dernière. La figure 1 présente le schéma de déroulement du test.

Les sujets ont réalisé le step-test dans des conditions de confort thermique et en dehors de la période post-prandiale. Ils étaient vêtus légèrement afin de ne pas être gênés lors des montées et des descentes de la marche.

#### Variables physiologiques

La fréquence cardiaque, exprimée en battements par minute (b.min<sup>-1</sup>), était calculée après un comptage automatisé des ondes QRS d'un électrocardiogramme précardial transmis par télémetrie (Hellige Servomed®).

L'air expiré était recueilli dans des sacs de Douglas pendant les repos assis et debout et pendant chacune des deux

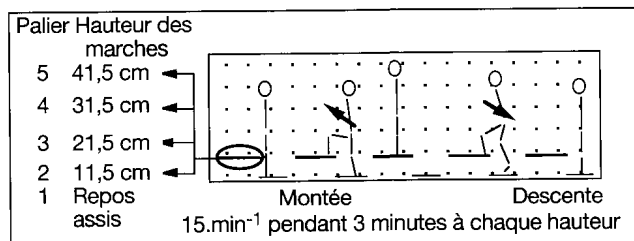


Fig. 1. Représentation schématisée du déroulement du step-test

dernières minutes des paliers successifs. Le volume expiré au cours de chacune de ces minutes était mesuré à l'aide d'un spiromètre de Tissot. Les concentrations d'oxygène et de gaz carbonique étaient analysées par méthodes physiques au moyen d'analyseurs Beckmann OM11® pour l'oxygène et LB2® pour le gaz carbonique. Les analyseurs étaient étalonnés avec un gaz de référence avant chaque mesure. La consommation d'oxygène  $\dot{V}O_2$  est exprimée en litre par minute (l.min<sup>-1</sup>) et en millilitre par minute et par kilogramme de poids des sujets (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). Tous les volumes sont exprimés en conditions STPD (1). La dépense énergétique E (en watt) au cours du travail est calculée à partir de la consommation d'oxygène et du quotient respiratoire [22].

Aux intensités de travail induites par le step-test,  $fc$  et  $\dot{V}O_2$  étaient stables 1,5 minute après le début de l'exercice [34]. Les valeurs considérées sont celles mesurées et calculées au cours de la dernière minute de chaque palier de 3 minutes.

Les résultats de cette première série expérimentale ont permis d'établir la méthode graphique et la méthode calculée décrites au § 1.3.

### 1.2. Validation de l'estimation de la $\dot{V}O_{2max}$ (deuxième série expérimentale)

#### Sujets

Trente étudiants en éducation physique, 16 femmes et 14 hommes, ont été volontaires pour participer à l'étude après que ses moyens et objectifs leur aient été exposés. Les moyennes et les écarts-type de l'âge, du poids et de la taille des 30 sujets sont respectivement :

– pour les 16 femmes :

20,6 ans ( $\pm 1,3$ ), 57 kg ( $\pm 5,9$ ) et 167 cm ( $\pm 5,4$ ) ;

– pour les 14 hommes :

20,6 ans ( $\pm 1,3$ ), 71 kg ( $\pm 8,5$ ) et 178 cm ( $\pm 5,4$ ).

(1) Conditions standards = température : 0 °C, pression : 760 mmHg, humidité relative : 0 %.

Aucun des sujets n'avait participé à la première série expérimentale. Chaque sujet a réalisé deux épreuves d'effort : d'une part, le step-test pour estimer la  $\dot{V}O_2$ max par la méthode graphique et le calcul et, d'autre part, un test de course navette pour déterminer la  $\dot{V}O_2$ max lors d'un effort maximal. Cette dernière  $\dot{V}O_2$ max sera utilisée comme valeur de référence.

### Step-test

Le protocole du step-test et la méthode de mesure de  $\dot{V}O_2$  sont identiques à ceux de la première série expérimentale. La valeur de  $f_c$  retenue est celle de la dernière minute d'exercice à chaque palier. Aucune grandeur respiratoire n'est mesurée au cours de ce test. Les sujets sont en tenue de sport. Les tests étaient réalisés le matin au moins 1 heure 30 après le petit déjeuner ou l'après-midi 2 heures au moins après le déjeuner. Les sujets n'avaient pas effectué d'efforts physiques importants le jour du test.

### Test de course navette

Le test de course navette (Cn) de 20 mètres avec palier d'une minute de LÉGER [19], est un test d'effort maximal durant lequel le sujet court en faisant des allers et retours entre deux plots distants de 20 mètres. Le sujet doit adapter sa vitesse de course afin de tourner autour de chaque plot lorsque retentit un signal sonore. Le rythme du signal sonore est fixe pendant une minute ; il est accéléré par palier à la fin de chaque minute de l'exercice. Le résultat du test est exprimé par le nombre de paliers d'une minute que le sujet a réalisé en respectant le rythme imposé par le signal sonore. La formule de LÉGER et coll. [19] permet de calculer  $\dot{V}O_2$ max à partir du nombre de paliers que le sujet a accompli. Ce test a été validé et utilisé par de nombreux auteurs comme outil simple d'estimation des capacités physiques maximales [1, 6]. Aucune mesure physiologique n'est réalisée au cours de ce test.

Le test de course navette était intégré au cursus universitaire des trente sujets en tant que module d'évaluation des capacités physiques ; ceci assure une motivation maximale des sujets. Le test de course navette a été réalisé par tous les sujets au cours des trois mois qui ont précédé l'épreuve sur step-test. Un interrogatoire rapide permettait de s'assurer que les sujets n'avaient pas été blessés et que leur condition physique ne s'était pas modifiée entre le test de course navette et le step-test.

### 1.3. Détermination des $\dot{V}O_2$ max à partir des $f_c$ mesurées pendant le step-test

$\dot{V}O_2$ max ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) a été déterminée par extrapolation de la relation  $f_c = f(\dot{V}O_2)$  à la valeur maximale théorique de  $f_c$  soit  $220 - \text{âge}$  (en années) du sujet [20]. Deux méthodes, l'une graphique, l'autre de calcul, ont été utilisées et sont décrites ci-après.

**La méthode graphique** repose sur l'ajustement visuel d'une droite sur 5 points qui représentent les 5 couples de valeurs  $f_c$ - $\dot{V}O_2$  mesurés au cours du step-test. Cette approximation est réalisée sur un diagramme construit comme suit. Les moyennes de  $\dot{V}O_2$  au repos et aux 4 niveaux d'activité sur le step-test, calculées sur les 20 sujets de la première série expérimentale, sont repérées dans un graphique  $f_c = f(\dot{V}O_2)$  à l'aide de 5 segments de droite parallèles à l'axe des ordonnées et ayant pour abscisses les 5 valeurs moyennes de  $\dot{V}O_2$  du step-test. Les valeurs de  $f_c$  mesurées à chaque palier au cours du step-test sont reportées sur les segments de droite qui correspondent aux niveaux d'activité auxquelles ces  $f_c$  ont été recueillies. L'ajustement visuel de la droite  $f_c = f(\dot{V}O_2)$  est réalisé sur les 5 points ainsi repérés. Cette méthode permet de déterminer rapidement la  $\dot{V}O_2$  d'une activité pour laquelle la  $f_c$  est connue (fig. 2) et la  $\dot{V}O_2$ max ( $\dot{V}O_2$ maxGr) en prolongeant la droite ajustée sur les

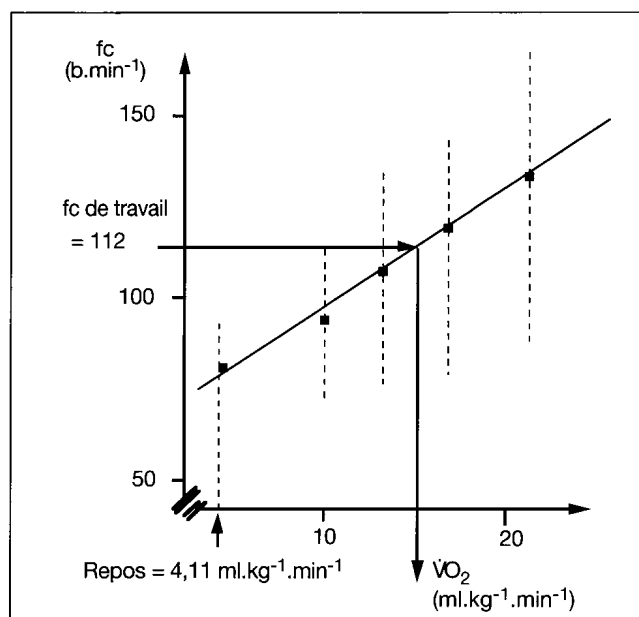
5 points jusqu'à la valeur maximale théorique de la  $f_c$ . Pour évaluer la précision de cette détermination graphique, cinq « experts », habitués aux techniques de régressions, mais n'ayant jamais utilisé une méthode d'approximation visuelle ont tracé chacun les 30 droites  $f_c = f(\dot{V}O_2)$  des sujets de la deuxième série expérimentale.

**La méthode calculée** a été établie à partir des résultats de la première série expérimentale.

Ce calcul permet, à la différence de la méthode graphique, de tenir compte des caractéristiques individuelles qui influencent le coût énergétique de l'activité sur le step-test [32]. Dans un premier temps, la  $\dot{V}O_2$  correspondant à chaque palier a été calculée pour chaque sujet en utilisant un modèle qui calcule  $\dot{V}O_2$  à partir du palier du step-test et des caractéristiques physiques des sujets. Les  $f_c$  au repos et aux 4 paliers du step-test et les  $\dot{V}O_2$  calculées correspondantes permettent ensuite de calculer les régressions  $f_c = f(\dot{V}O_2)$  pour chaque sujet. La  $\dot{V}O_2$ max ( $\dot{V}O_2$ maxSt) a alors été calculée pour une  $f_c$  théorique maximale de  $220 - \text{âge}$  où l'âge est exprimé en années [20].

### 1.4. Méthodes statistiques

Pour chaque série de résultats, les moyennes arithmétiques et les écarts-types sont calculés. Les comparaisons de moyennes sont effectuées au moyen du test  $t$  de Student pour séries appariées. Les régressions simples ou multiples sont calculées par la méthode des moindres carrés de Pearson. Le seuil de significativité retenu est de 5 % ( $p < 0,05$ ).



**Fig. 2. Détermination graphique de la relation  $f_c = f(\dot{V}O_2)$**   
Exemple de l'évaluation de la  $\dot{V}O_2$  de travail d'un salarié de 45 ans dont les  $f_c$  aux 5 paliers du step-test sont respectivement de 80 (repos assis), 95, 106, 119 et 133  $\text{b.min}^{-1}$ .

## 2. RESULTATS

### 2.1. Construction du diagramme $fc = f(\dot{V}O_2)$

#### Résultats du step-test

Les différents résultats de  $fc$  ( $b \cdot \text{min}^{-1}$ ), de  $\dot{V}O_2$  ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ), de la dépense énergétique  $E$  (W), du rendement énergétique du travail (Rt) et de la puissance mécanique développée par les sujets  $M$  (W) sont présentés dans le tableau I.  $M$  et Rt sont calculés sans tenir compte du travail « négatif » de descente des marches.  $M$  est le produit du poids des sujets par la hauteur montée par unité de temps. Le rendement (Rt) est le rapport  $M/(E-E_{\text{repos}})$ .

L'expression de la consommation d'oxygène en  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  élimine l'influence du poids des sujets sur les coûts énergétiques et explique que le coefficient de variation de la  $\dot{V}O_2$  exprimé en  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  soit deux fois plus faible que celui de  $E$  ou de la  $\dot{V}O_2$  exprimée en  $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ . Ceci permet de considérer que la  $\dot{V}O_2$  en  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  est l'expression la plus précise des dépenses énergétiques  $\dot{V}O_2$  aux différents niveaux du step-test ; c'est pourquoi elle a été utilisée dans la présente méthode graphique de détermination de la  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ . Le tableau I présente l'ensemble des résultats physiologiques mesurés pendant le step-test. Le rendement du travail est lié à la taille des sujets ( $p < 0,05$ ) mais pas à leur poids, ni à leur bmi ou à leur  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  estimée à partir des résultats du step-test.

Par ailleurs, la puissance mécanique  $M$  (watt) développée aux différents paliers du step-test est liée à  $\dot{V}O_2$  ( $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ) selon la formule suivante :

$$M = 56,6 \times (\dot{V}O_2) - 15,5 \quad (1)$$

$$r^2 = 0,96$$

$$p < 0,001$$

$$n = 100$$

$$\text{see} = 4,8 \text{ W}$$

$r$  : coefficient de corrélation

$p$  : probabilité d'erreur

$n$  : effectif

see : erreur standard de l'estimation.

#### Détermination graphique de la relation $fc = f(\dot{V}O_2)$

Les valeurs de  $\dot{V}O_2$  ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) du tableau I permettent de construire le graphique de la figure 2 dans lequel les  $\dot{V}O_2$  moyennes aux différents paliers et au repos assis (palier 1) sont représentées en abscisse par des segments pointillés (cf. 2.3). Les  $fc$  mesurées au cours des 5 paliers du step-test sont placées sur les lignes pointillées correspondant à ces 5 niveaux d'activité.

La figure 2 présente l'exemple d'un sujet de 45 ans, qui pèse 75 kg, dont les  $fc$  mesurées au cours du step-test sont respectivement de 80  $b \cdot \text{min}^{-1}$  au repos assis et 95, 106, 119 et 133  $b \cdot \text{min}^{-1}$  aux 4 paliers successifs. Sa  $fc$  mesurée au travail est de 112  $b \cdot \text{min}^{-1}$  ; elle correspond à une  $\dot{V}O_2$  de travail de 15,2  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ou de 1,14  $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$  pour ce sujet de 75 kg. Cette  $\dot{V}O_2$  correspond à une puissance de 49 watts (équation 1).

#### Calcul de la $\dot{V}O_2$ aux différents paliers du step-test

Dans la méthode graphique, les valeurs de  $\dot{V}O_2$  sont des moyennes qui ne tiennent pas compte des facteurs individuels qui sont sources de variation. Afin de réduire ces variations dans le calcul de  $\dot{V}O_2$ , certains facteurs ont été pris en compte au moyen de corrélations multiples. Pour ce faire, les  $\dot{V}O_2$  aux différents paliers du step-test sont calculées

TABLEAU I

Première série expérimentale : résultats moyens de 20 sujets aux 5 paliers du step-test

|          | Moyenne (écart-type)                  |  |  |                 |               |               |
|----------|---------------------------------------|--|--|-----------------|---------------|---------------|
|          | $fc$<br>( $b \cdot \text{min}^{-1}$ ) | $\dot{V}O_2$<br>( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) | $\dot{V}O_2$<br>( $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ) | $E$<br>(W)      | Rt<br>(%)     | $M$<br>(W)    |
| Palier 1 | 69,6<br>(10,4)                        | 4,11<br>(0,83)   | 0,292<br>(0,063)                                     | 100,7<br>(22,1) |               | 0             |
| Palier 2 | 86,4<br>(10,1)                        | 10,05<br>(0,92)  | 0,716<br>(0,100)                                     | 242,4<br>(35,1) | 14,2<br>(2,8) | 20<br>(2,6)   |
| Palier 3 | 96,6<br>(11,2)                        | (13,21)<br>(0,78)  | 0,940<br>(0,124)                                     | 317,6<br>(42,4) | 17,3<br>(1,9) | 37,6<br>(4,9) |
| Palier 4 | 108,3<br>(11,4)                       | 17,21<br>(1,16)  | 1,225<br>(0,153)                                     | 413,4<br>(50,0) | 17,6<br>(1,6) | 55,1<br>(7,2) |
| Palier 5 | 120,0<br>(12,9)                       | 21,42<br>(1,36)  | 1,522<br>(0,183)                                     | 517,8<br>(59,8) | 17,4<br>(1,4) | 72,6<br>(9,5) |

Résultats moyens et écarts-type de  $fc$  ( $b \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $\dot{V}O_2$  en  $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$  et en  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , de la dépense énergétique ( $E$  en W), du rendement du travail (Rt en %) et de la puissance mécanique fournie ( $M$  en W).

TABLEAU II

Deuxième série expérimentale : fréquence cardiaque moyenne et écart-type aux 5 paliers successifs du step-test pour les 16 femmes et les 14 hommes

|                  | Fréquence cardiaque<br>( $b \cdot \text{min}^{-1}$ ) |                     |
|------------------|--|---------------------|
|                  | Hommes $n = 14$                                      | Femmes $n = 16$     |
| Palier 1 (repos) | 70,1 ( $\pm 11,0$ )                                  | 75,8 ( $\pm 8,9$ )  |
| Palier 2         | 87,0 ( $\pm 11,1$ )                                  | 94,5 ( $\pm 6,9$ )  |
| Palier 3         | 97,4 ( $\pm 11,4$ )                                  | 104,7 ( $\pm 7,2$ ) |
| Palier 4         | 107,7 ( $\pm 10,7$ )                                 | 116,5 ( $\pm 8,0$ ) |
| Palier 5         | 118,3 ( $\pm 9,9$ )                                  | 131,1 ( $\pm 9,6$ ) |

TABLEAU III

Valeur moyenne et écart-type des  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  déterminées au test de course navette  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  et au step-test par la méthode graphique  $\dot{V}O_{2\text{maxGr}}$  et par le calcul  $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$

|  | $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$<br>( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) | $\dot{V}O_{2\text{maxGr}}$<br>( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) | $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$<br>( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) |
|--|--|--|--|
| Femmes ( $n = 16$ )<br>moyenne<br>écart-type | 45,3<br>6,0  | 43,4<br>6,2  | 45,3<br>6,8  |
| Hommes ( $n = 14$ )<br>moyenne<br>écart-type | 53,9<br>7,0  | 51,6<br>6,8  | 51,4<br>6,2  |

pour chaque sujet en utilisant l'équation 2. La  $\dot{V}O_2$  ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) à chaque palier est liée à la hauteur de montée verticale par minute ( $H_m = 15 \times$  hauteur de la marche en mètre), au palier et à la taille des sujets selon la formule :

$$\dot{V}O_2 = 7,4 + 2,33 H_m - 2,1 \text{ taille.palier}^{-1} \quad (2)$$

$$r^2 = 0,97 ; p < 0,001 ; n = 100 ; \text{see} = 1,1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$$

La variable palier est égale à 1 au repos et 2, 3, 4 et 5 pour les 4 hauteurs successives de montée au step-test, la taille des sujets est exprimée en mètre. Les  $\dot{V}O_2$  calculées à chaque palier selon l'équation 2 sont ensuite utilisées pour le calcul des régressions  $f_c = f(\dot{V}O_2)$  des 30 sujets de la deuxième série expérimentale.

## 2.2. Validation de la détermination de la $\dot{V}O_{2\text{max}}$ à partir de l'épreuve d'effort sur le step-test

### Résultats du step-test

Les résultats moyens de  $f_c$  aux 5 paliers du step-test des 16 femmes et des 14 hommes de la deuxième série expérimentale sont présentés dans le tableau II.

### Résultats du test de course navette

Les moyennes des  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  calculées à partir du test de course navette  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  sont respectivement de  $53,9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  ( $\pm 7,0$ ) pour les hommes et  $45,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  ( $\pm 6,0$ ) pour les femmes.

### Comparaison des $\dot{V}O_{2\text{max}}$ déterminées au step-test et lors du test de course navette

Le tableau III présente les valeurs moyennes et les écarts-type des  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$ ,  $\dot{V}O_{2\text{maxGr}}$  et  $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$  des femmes et des hommes.

Les cinq « experts » (cf § 1.3), qui ignoraient les résultats calculés, ont réalisé l'ajustement visuel de la relation  $f_c = f(\dot{V}O_2)$  des 30 sujets à partir des  $f_c$  aux 5 paliers du step-test en utilisant un diagramme identique à celui de la figure 2. Les  $\dot{V}O_{2\text{maxGr}}$  des 5 « experts » ne sont pas significativement différentes des  $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$  correspondantes ( $p > 0,2$ ).

La relation qui lie  $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$  à  $\dot{V}O_{2\text{maxGr}}$  est significative au seuil  $p < 0,001$  ( $r = 0,97$  ;  $n = 150$ ). L'erreur standard de l'estimation est de  $2,3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . L'écart entre  $\dot{V}O_{2\text{maxGr}}$  et  $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$  est supérieur à  $4 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  dans 12 cas sur les 150 ajustements réalisés et à  $6 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  dans 6 cas. Pour ces derniers, il s'agit toujours de sujets qui ont des  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  supérieures à  $55 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . Pour des sujets dont la  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  est inférieure à  $50 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , la détermination graphique de la relation  $f_c = f(\dot{V}O_2)$  induit dans près de 80 % des cas une erreur de l'estimation de la  $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$  inférieure à  $3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ .

Les relations qui lient les  $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$  ou  $\dot{V}O_{2\text{maxGr}}$  à la  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  sont significatives au seuil  $p < 0,001$ . Les erreurs standard de l'estimation de la  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  à partir de la  $\dot{V}O_{2\text{maxGr}}$  et de la  $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$  sont respectivement de  $4,2$  et  $3,6 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ .

Si la  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  est la valeur de référence,  $\dot{V}O_{2\text{maxGr}}$  et  $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$  sous-estiment la  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ . Cette sous-estimation est indépendante du sexe des sujets ( $p > 0,2$ ). Elle est significative ( $t = 4,5$  ;  $p < 0,01$ ) pour les  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  supérieures à  $50 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  ; la sous-estimation moyenne est de 7 % dans ces conditions. Par contre pour les  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  inférieures à  $50 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ,  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$ ,  $\dot{V}O_{2\text{maxGr}}$  et  $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$  ne sont pas significativement différentes ( $p > 0,2$ ). Dans ce cas, les écarts entre les valeurs moyennes de ces trois variables sont inférieurs à  $0,8 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ .

## 3. DISCUSSION

### 3.1. Choix du protocole du step-test et précision des mesures

L'apprentissage du paramètre essentiel d'un step-test bien réalisé, à savoir le rythme de montée, est délicat à acquérir pour certains sujets. Le respect, durant chaque palier, de cette fréquence est un élément essentiel de la précision du test. Par conséquent, la facilité du test et sa précision imposaient de faire varier la hauteur des marches et non la fréquence de montée pour déterminer différents niveaux de travail. La fréquence de 15 montées par minute a été préférée à celle de 20 par minute. En effet en utilisant le même protocole de step-test mais à deux fréquences de montée de 15 et 20 par minute, FLENGHI et coll. [13] ont montré que la  $f_c$  au dernier palier était de 125 battements par minute pour 15 montées par minute et 148 battements par minute pour 20 montées par minute. Ces résultats ont été obtenus sur deux groupes de 22 sujets jeunes et actifs. La fréquence de 20 montées par minute entraîne donc une astreinte cardiaque trop importante pour des sujets plus âgés et peu actifs.

Le calcul de la dépense énergétique  $E$  à partir de la mesure de la consommation d'oxygène fournit des résultats à 1 ou 2 % près. Dans le cas d'un travail modéré et stable,  $f_c$  est mesurée avec une précision inférieure à 1 %. L'erreur majeure qui est induite par un step-test est le non-respect de la cadence de montée. En effet, une cadence de 14 ou 16 montées par minute entraîne une erreur de l'ordre de 7 % dans le travail réalisé. Cette erreur a pour conséquence, selon le cas, une augmentation ou une diminution de  $f_c$  de 3 à 5 battements par minute. Cette erreur a été éliminée dans la présente étude durant laquelle les fréquences de montée ont été contrôlées en continu.

### 3.2. Comparaison des $\dot{V}O_2$ du step-test aux données de la littérature

Les niveaux d'astreinte du step-test sont modérés et, de ce fait, comparables à un petit nombre de données de la littérature où les  $\dot{V}O_2$  sont souvent plus élevées. Les  $\dot{V}O_2$   $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  du tableau I sont semblables à celles mesurées par NAGLE et coll. [23] et KAMON [16] au cours d'exercices de step-tests à des puissances équivalentes. KAMON [16] a proposé une équation qui lie la  $\dot{V}O_2$  ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) à la hauteur de montée du step-test ( $H_m$ ) de la forme :  $\dot{V}O_2 = 4,67 + 2,64 H_m$ . Les résultats de la présente étude permettent de calculer une équation équivalente de la forme :  $\dot{V}O_2 = 4,22 + 2,78 H_m$ . Ces deux relations sont semblables bien qu'elles aient été déterminées dans des conditions différentes. En effet, celle proposée par KAMON a été calculée pour des hauteurs de montée comprise entre 3 et 14 mètres par minute. Enfin, les rendements du travail mesurés aux trois derniers paliers du step-test (tableau I) sont identiques à ceux publiés par SHEPHARD [29] et SEIDL et coll. [27]. Les résultats obtenus sont donc similaires à ceux de la littérature même si l'astreinte du test proposé dans la présente étude est nettement inférieure à celles requises par la plupart des tests cités.

### 3.3. Détermination de la dépense énergétique au cours d'une tâche professionnelle

L'astreinte cardiaque au dernier palier du step-test est comprise entre 30 et 60 % des capacités cardio-respiratoires maximales pour les 50 sujets qui ont participé aux deux séries expérimentales de la présente étude. Ce niveau d'astreinte est léger pour un test d'effort, mais couvre la quasi-totalité des charges physiques en situation réelle de travail. A titre d'exemple la consommation d'oxygène d'un sujet de 70 kilogrammes au quatrième palier du step-test est de  $1,5 \text{ l.min}^{-1}$ , soit l'équivalent d'un travail dur qui, heu-

reusement, est rarement rencontré en situation de travail. Par contre, l'utilisation du diagramme est déconseillée pour évaluer la dépense énergétique de tâches physiques qui induisent des  $\dot{V}O_2$  inférieures à  $0,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ . En effet, la  $\dot{V}O_2$  estimée sera dans ce cas toujours supérieure à la  $\dot{V}O_2$  réelle.

Le protocole du test proposé permet en outre d'exprimer la puissance de travail en puissance de pédalage sur bicyclette ergométrique. En effet, la dépense énergétique de la descente d'une marche correspond à un tiers du travail de montée sur la marche [16]. Ce résultat, appliqué aux rendements du travail présentés au tableau I, montre que le rendement calculé en additionnant travail « positif » et « négatif » est de 23 % pour les 3 derniers paliers. Ce rendement est classiquement décrit pour un exercice sur bicyclette ergométrique [29]. Ainsi, la puissance mécanique  $M$ , multipliée par 1,33, correspond à une puissance de pédalage sur bicyclette ergométrique. Dans l'exemple du paragraphe 3.1 (fig. 2), où la puissance fournie sur le step-test est de 49 watts, la puissance de travail exprimée en puissance de pédalage sur bicyclette sera de 65 watts.

### 3.4. Précision de la détermination de la $\dot{V}O_{2\text{max}}$

Les résultats de cette étude montrent qu'un niveau d'astreinte modéré permet une bonne évaluation des capacités cardio-respiratoires maximales. En effet, la précision de celle-ci est identique à celle obtenue à l'aide d'épreuves d'effort qui ont pour objectif de tester des sujets sportifs [17, 35]. Mais ces exercices, bien que sous-maximaux, imposent des astreintes cardiaques qui atteignent toujours 60 à 80 % des capacités maximales des sujets [29]. Ils sont de ce fait inapplicables sans risque à une population de salariés.

L'erreur standard de l'estimation de  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  à partir de  $\dot{V}O_{2\text{maxSt}}$  ( $3,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) est inférieure à celle indiquée par DEVRIES et KLAFFS [8] et identique à celle trouvée par LOUHEVAARA et coll. [20] et OJA et coll. [24]. L'erreur standard de l'estimation de  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  à partir de  $\dot{V}O_{2\text{maxGr}}$  ( $4,2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) est équivalente à celle décrite par DEVRIES et KLAFFS [8]. L'estimation des capacités cardio-respiratoires maximales obtenue à partir du step-test proposé dans la présente étude est tout à fait acceptable en regard de ce qui est classiquement décrit. Cette bonne concordance peut surprendre, mais elle s'explique. En effet, chez des sujets sportifs, la  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  calculée à partir de tests sous-maximaux est sous-estimée [36]. La non-linéarité de la relation  $fc = f(\dot{V}O_2)$  pour les puissances de travail proches du maximum en est la raison essentielle [7, 36]. L'erreur de prédiction qui en découle est une sous-estimation de la  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  vraie de 15 à 20 % [7]. Chez ces sujets sportifs, les facteurs limitant la  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  sont surtout cardiaque et respiratoire et, dans une moindre mesure, liés au transport et à l'utilisation de l'oxygène au niveau musculaire [9]. Par contre, dans une population moins sportive, ce qui est le cas de sujets dont la  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  est inférieure à  $50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , la relation entre  $fc$  et  $\dot{V}O_2$  reste linéaire jusqu'à des valeurs de  $fc$  proches de la valeur maximale [26]. Pour ces sujets, la sous-estimation de la  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  vraie à partir d'un step-test sous-maximal est de l'ordre de 5 à 10 % [29]. De plus, chez ces sujets la limitation de l'effort maximum peut être causée par une motivation insuffisante ou la fatigue musculaire [14]. Cette dernière peut même être une cause d'arrêt de l'effort chez des insuffisants respiratoires [25]. Chez des sujets peu actifs et plus âgés, un test maximum des capacités cardio-respiratoires est souvent impossible car les capacités musculaires sont limitées [12]. Ainsi, la meilleure prédiction de la  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  par le step-test, pour les sujets dont la  $\dot{V}O_{2\text{maxCn}}$  est inférieure à  $50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , peut être expliquée par le fait que la performance du test de course navette soit limitée par la fatigue musculaire plus que par les capacités cardio-respiratoires.

Enfin, les  $\dot{V}O_2$  moyennes, utilisées pour la construction graphique, ont été mesurées sur un groupe de 20 hommes,

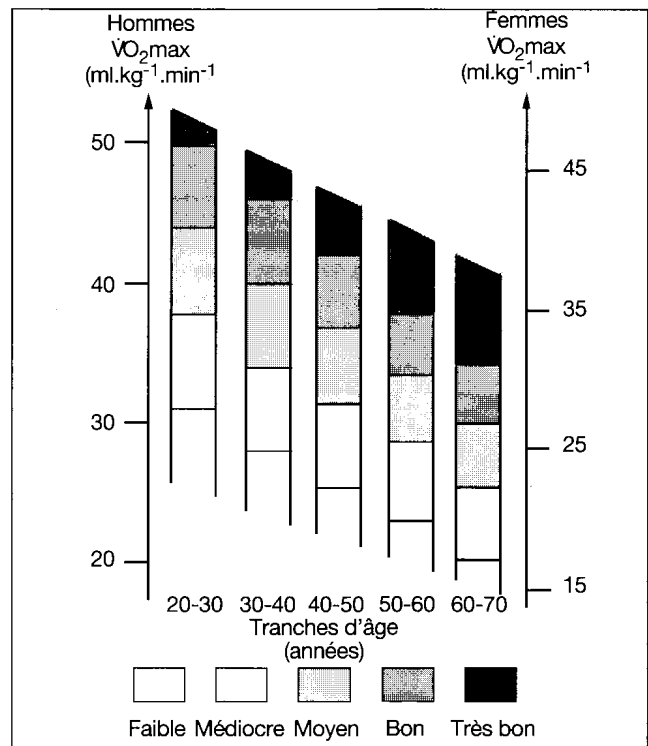


Fig. 3. Représentation des différentes classes de capacités cardio-respiratoires en fonction de l'âge et du sexe.

dont l'âge était compris entre 20 et 40 ans. Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que ces valeurs sont applicables aux femmes et aux hommes (cf. 3.2). Par ailleurs, les variations inter-individuelles de  $\dot{V}O_2$ , mesurées au cours du « fitness test canadien », sont faiblement expliquées par l'âge, la corpulence ou la  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  des sujets [32]. Ainsi, les résultats de  $\dot{V}O_2$ , utilisés dans la détermination graphique de la relation  $fc = f(\dot{V}O_2)$ , sont utilisables pour des populations variées de salariés.

### 3.5. Justification et aspects pratiques de l'utilisation du step-test

L'exercice sur step-test est le test d'effort le plus aisé à réaliser par des sujets peu actifs [28]. Ce test est simple à mettre en œuvre. La construction de l'escalier est possible dans tout atelier d'entreprise. Un step-test modulable qui permet, moyennant une légère modification, de réaliser le protocole proposé dans la présente étude est commercialisé. Différents systèmes de mesure de  $fc$  sont disponibles. Leurs prix sont raisonnables et leur fiabilité est excellente dans le cas d'un test réalisé au cabinet médical. Enfin la méthode graphique de détermination de la  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  est facile à réaliser et sa précision est acceptable (cf. 3.2), en particulier lorsqu'elle s'applique à une population de salariés dans laquelle les  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  inférieures à  $50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  sont la règle.

Cependant, pour rester précis, ce test simple exige que quelques précautions soient respectées.

Pour les sujets qui ont des difficultés à adopter le bon rythme, le premier palier peut être considéré comme un apprentissage et une mise en confiance afin de réduire le stress du test et son influence sur  $fc$ . Pour ces sujets, l'ajustement visuel de la régression  $fc = f(\dot{V}O_2)$  devra prendre en

compte les valeurs de  $f_c$  aux trois derniers paliers du step-test. Par ailleurs, la pause de 30 secondes entre chaque palier permet de contrôler la  $f_c$  du sujet. Afin de ne pas dépasser une  $f_c$  de  $160 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$  au dernier palier, il faut arrêter le test à la fin de l'avant dernier palier si, au terme de celui-ci, la  $f_c$  est supérieure à  $140 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$ . Enfin, le test doit se dérouler dans une ambiance thermique confortable, 2 heures au moins après la fin d'un repas et sans effort physique important dans les heures qui précèdent le test.

La durée du test est inférieure à 30 min. Cette durée inclut l'équipement du salarié (télémétrie ou cardiofréquence-mètre), 5 minutes de repos assis, la période d'exercice qui dure au maximum 13,5 min (4 fois 3 min de travail et 3 périodes de 30 secondes de repos debout) et 5 minutes de récupération. Le salarié peut être assis au moment de son équipement, ce qui améliore la qualité du repos avant le test. Les  $f_c$  à considérer sont la moyenne des 2  $f_c$  les plus basses au cours du repos assis et les  $f_c$  de la dernière minute de chaque palier. La  $f_c$  doit être comptée sur des durées de 15 secondes au plus, ce qui est possible avec tous les cardiofréquence-mètres. La détermination de la droite  $f_c = f(\dot{V}O_2)$  est réalisée sur support papier ou dans un logiciel de dessin selon le schéma de la figure 2.

### 3.6. Valeurs de référence de $\dot{V}O_2\text{max}$

La figure 3 présente pour les hommes et les femmes des valeurs de référence de  $\dot{V}O_2\text{max}$  pour différentes classes d'âge entre 20 et 70 ans. Ces valeurs ont été déterminées à partir des résultats de tests de capacités maximales [2, 4, 30] et corrigées pour être applicables à des résultats de tests sous-maximaux [4, 29]. Les valeurs de référence des femmes et des hommes sont présentées sur le même graphique en considérant que les  $\dot{V}O_2\text{max}$  ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) des femmes sont en moyenne inférieures à celles des hommes de  $6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  [4, 30].

La classification proposée à la figure 3 ne peut pas servir à juger l'aptitude des salariés. En termes de capacités cardio-respiratoires, l'aptitude se juge en général par l'existence d'une pathologie. Le step-test n'est pas un outil de diagnostic. Il permet par contre une évaluation objective des capacités cardio-respiratoires. Contrairement aux examens complémentaires habituels qui recherchent un handicap ou une maladie, la détermination d'une capacité est positive en termes de santé [15, 33]. Enfin, ce step-test permet d'évaluer avec précision les capacités moyennes d'un groupe de sujets dans le cadre du suivi d'une action de promotion de la santé en entreprise ou en dehors de celle-ci [3, 18, 24].

## CONCLUSION

Le step-test proposé est simple. Il induit une astreinte physique modérée qui englobe cependant la majorité des charges physiques observées en situation de travail. La connaissance des réactions cardiaques au cours du step-test permet d'évaluer l'astreinte physique du travail. L'estimation des capacités cardio-respiratoires maximales, qu'autorise ce test sous-maximal, est aussi bonne que celle obtenue avec des tests d'effort sous-maximaux, nettement plus durs et difficiles à réaliser par des sujets peu actifs. Son utilisation en pratique courante doit permettre au médecin de mesurer une variable représentative de la santé physique.

Les auteurs remercient Madame J. HERRAULT et Messieurs P. CAMPO, J.C. CNOCKAERT, A. KUSY et M. MOUZE-AMADY pour leur participation à l'étude.

Les utilisateurs intéressés peuvent obtenir un logiciel de calcul de la  $\dot{V}O_2\text{max}$  ( $\dot{V}O_2\text{maxSt}$ ) sur simple demande aux auteurs accompagnée d'une disquette Dos-PC.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] AHMAIDI S., COLLOMP K., CAILLAUD C., PREFAUT C. – Maximal and functional aerobic capacity as assessed by two graduated field methods in comparison to laboratory exercise testing in moderately trained subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 1992, 13, pp. 243-248.
- [2] American Heart Association – Exercise Standards. A statement for health professionals. *Circulation*, 1990, 82, 6, pp. 2286-2322.
- [3] ASTRAND P.O. – From exercise physiology to preventive medicine. *Annals of Clinical Research*, 1988, 20, pp. 10-17.
- [4] BAILEY D.A., SHEPHARD R.J., MIRWALD R.L. et McBRIDE G.A. – A current view of Canadian cardiorespiratory fitness. *Canadian Medical Journal*, 1974, 111, pp. 25-30.
- [5] BROUHA L., GRAYBIEL A., HEATH C.W. – The step-test. A simple method of measuring physical fitness for hard muscular work in adult man. *Revue Canadienne de Biologie*, 1943, 2, pp. 86-91.
- [6] EUROFIT – Tests européen d'aptitude physique – Manuel pour les tests Eurofit d'aptitude physique. Conseil de l'Europe, Comité pour le Développement du Sport. Rome, Comité National Olympique Italien, 1988, pp. 1-66.
- [7] DAVIES C.T.M. – Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *Journal of Applied Physiology*, 1968, 24, 5, pp. 700-706.
- [8] DEVRIES H.A., KLAFS C.E. – Prediction of maximal oxygen intake from submaximal tests. *Journal of Sports Medicine*, 1965, 16, pp. 207-214.
- [9] DI PRAMPERO P.E. – An analysis of the factors limiting maximal oxygen consumption in healthy subjects. *Chest*, 1992, 101, pp. 188S-191S.
- [10] EDWARDS P.K. et coll. – Workers are working harder : effort and shop-floor relations in the 1980s. *British Journal of Industrial Relations*, 1991, 29, pp. 593-601.
- [11] FINGAR A. R., HOPKINS R.S., NELSON M. – Work-related injuries in Athens county 1982 – 1986. *Journal of Occupational Medicine*, 1992, 34, 8, pp. 779-787.
- [12] FLEG J.L., LAKATTA E.G. – Role of muscle loss in the age-associated reduction in  $\dot{V}O_2\text{max}$ . *Journal of Applied Physiology*, 1988, 65, pp. 1147-1151.
- [13] FLENGHI D., MEYER J.P., DENIS G., PREDINE E. – Comparaison de  $\dot{V}O_2\text{max}$  estimées à partir d'un effort sous-maximal (step test) et d'un effort maximal (test de Leger). Actes des 3<sup>e</sup> Journées internationales d'automne de l'ACAPS, Poitiers, 29-31 octobre 1989, pp. 37-38.
- [14] GADOURY C., LEGER L. – Consommation maximale d'oxygène. Concept et tests. *Cinésiologie*, 1987, 26, pp. 23-33.
- [15] HANMAN B. – The evaluation of physical ability. *The New England Journal of Medicine*, 1958, 258, pp. 986-993.

- [16] KAMON E.- Negative and positive work in climbing a laddermill. *Journal of Applied Physiology*, 1970, 29, 1, pp. 1-5.
- [17] KASCH F.W., PHILLIPS W.H., ROSS W.D., CARTER J.E.L., BOYER J.L. - A comparison of maximal oxygen uptake by treadmill and step-test procedures. *Journal of Applied Physiology*, 1966, 21, 4, pp. 1387-1388.
- [18] KOPLAN J.P., CASPERSEN C.J., POWELL K.E. - Physical activity, physical fitness, and health : time to act. *Journal of the American Medical Association*, 1989, 262, p. 2437.
- [19] LEGER L., MERCIER D., GADOURY C., LAMBERT J. - The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 1988, 6, pp. 93-101.
- [20] LOUHEVAARA V., ILMARINEN J., OJA P. - Comparison of the Astrand nomogram and the WHO extrapolation methods for estimating maximal oxygen uptake. *Scandinavian Journal of Sports Science*, 1980, 21, pp. 21-25.
- [21] MASTER A.M., OPPENHEIMER E.T. - A simple exercise tolerance test for circulatory efficiency with standard tables for normal individuals. *American Journal of Medical Science*, 1929, 177, pp. 223-243.
- [22] MONOD H., POTTIER M. - Adaptations respiratoires et circulatoires du travail musculaire, in : SCHERRER J. et coll. - Précis de Physiologie du Travail. Notions d'Ergonomie. Paris, Masson, 1981, 2<sup>e</sup> éd., pp. 159-204.
- [23] NAGLE F.J., BALKE B., NAUGHTON J.P. - Gradational step test for assessing work capacity. *Journal of Applied Physiology*, 1965, 20, 4, pp. 745-748.
- [24] OJA P., LAUKKANEN R., PASANEN M., VUORI I. - A new fitness test for cardiovascular epidemiology and exercise promotion. *Annals of Medicine*, 1989, 21, pp. 249-250.
- [25] PUNZAL P.A., RIES A.L., KAPLAN R.M., PREWITT L.M. - Maximum intensity exercise training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest*, 1991, 100, pp. 618-623.
- [26] ROWELL L.B., TAYLOR H.L., WANG Y. - Limitations to prediction of maximal oxygen intake. *Journal of Applied Physiology*, 1964, 19, 5, pp. 919-927.
- [27] SEIDL C., MONTGOMERY D., REID G. - Stair stepping efficiency of mentally handicapped and nonhandicapped adult females. *Ergonomics*, 1989, 32, 5, pp. 519-526.
- [28] SHEPHARD R.J. - The prediction of « Maximal » oxygen consumption using a new progressive step test. *Ergonomics*, 1967, 10, 1, pp. 1-15.
- [29] SHEPHARD R.J. - For exercise testing, please a review of procedures available to the clinician. *Bulletin de Physiologie et de Pathologie Respiratoire*, 1970, 6, pp. 425-474.
- [30] SHVARTZ E., REIBOLD R.C. - Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years : a review. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 1990, 61, pp. 3-11.
- [31] SKORSTADT E. - Mass production, flexible specialization and just-in-time. *Futures*, 1991, pp. 1075-1084.
- [32] THOMAS S.G., WELLER I.M.R., COX M.H. - Sources of variation in oxygen consumption during a stepping task. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1993, 25, 1, pp. 139-144.
- [33] VUORI I. - Exercising for health. *World Health Forum*, 1987, 8, pp. 131-140.
- [34] WASSERMAN K., VAN KESSEL A.L., BURTON G.G. - Interaction of physiological mechanisms during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 1967, 22, pp. 71-85.
- [35] WILSON P.W.F., PAFFENBARGER R.S., MORRIS J.N., HAVLIK R.J. - Assessment methods for physical activity and physical fitness in population studies : Report of a NHLBI workshop. *American Heart Journal*, 1986, 111, pp. 1177-1192.
- [36] WYNDHAM C.H. - Submaximal tests for estimating maximum oxygen intake. *Canadian Medical Association Journal*, 1967, 96, pp. 736-742.