

METHODOLOGIE GENERALE D'INTERPRETATION DES ENREGISTREMENTS CONTINUS DE FREQUENCE CARDIAQUE AUX POSTES DE TRAVAIL

MALCHAIRE J. (1988) Méthodologie générale d'interprétation des enregistrements continus de fréquence cardiaque aux postes de travail.
Cah. Méd. Trav., Vol XXV, 4 : 181-186.

RESUME

Différents appareils apparus ces dernières années permettent, sans plus de difficultés, des enregistrements continus de la fréquence cardiaque. Les systèmes proposés pour l'analyse des tracés obtenus restent cependant plutôt orientés vers la médecine sportive et non le monde du travail.

L'article décrit, justifie et illustre une méthode d'interprétation de ces tracés pour l'appréciation en valeurs absolue et relative de la charge de travail globale au poste de travail. La méthode se veut non une recette aboutissant à des conclusions définitives, mais un outil de réflexion permettant au médecin du travail de tenir compte au mieux des caractéristiques propres au sujet.

INTRODUCTION

La microinformatique est insidieusement mais inexorablement en train de bouleverser notre façon de vivre et de travailler. Cela s'avère se vérifier également dans le domaine de la médecine du travail, de la sécurité, de l'ergonomie, de la physiologie du travail. Beaucoup de notions considérées comme acquises peuvent être remises en question dès lors que des moyens d'investigation simples, fiables et peu coûteux sont à disposition.

Tel est bien le cas en physiologie du travail, où progressivement sont apparus des mini-enregistreurs permettant le recueil de l'ECG, puis de la fréquence cardiaque (FC) au poste de travail.

Depuis plus de 10 ans maintenant existent des appareils très simples et peu coûteux, permettant, au moyen d'une simple ceinture thoracique (émetteur) et d'un récepteur porté au poignet, de relever la FC en continu. Ces appareils sont utilisés à grande échelle par les sportifs (cyclistes, coureurs de fond ...). Leur usage lors d'études de médecine du travail ou d'ergonomie est également de plus en plus répandu.

Reste à interpréter correctement les résultats.

Les systèmes d'exploitation accompagnant ces appareils permettent plutôt une interprétation dans le domaine de la médecine sportive et demandent donc à être adaptés pour la médecine du travail. Ils offrent fréquemment le graphique de FC en fonction du temps et les durées pendant lesquelles FC dépasse 70, 85 et 100% de la FC maximale.

Ces repères sont assez arbitraires et ne concernent de toute manière pas la médecine du travail où l'on serait plus intéressé par des limites telles que 20, 33 et 50% éventuellement de coût cardiaque relatif.

A partir de l'expérience acquise lors d'études sur le terrain, une méthodologie générale d'interprétation des enregistrements continus de FC a été développée (Malchaire et coli., 1986-, Rogowsky- et coll. 1981; Rogowsky et Malchaire 1986).

L'article présente le systématisme de cette méthodologie et l'illustre dans le cas d'un travailleur occupé à un poste d'assemblage dans une entreprise automobile.

SCHEMA GENERAL D'ANALYSE

La séquence de travail observée doit pouvoir être analysée sur toute sa durée ou sur une fraction de celle-ci, de manière à déterminer la charge de travail absolue et la charge relative pour la personne avant fait l'objet de l'enregistrement.

Pour ce faire, il est nécessaire qu'à partir du coût cardiaque observé, le métabolisme moyen exigé à ce poste (valeur absolue) soit estimé et que ce dernier soit apprécié en fonction des possibilités (capacité maximale de travail) du sujet.

La procédure d'interprétation comprend dès lors différentes étapes:

1. étude analytique du tracé de FC de manière à repérer les phases les plus contraignantes, déterminer la nature du travail réalisé durant ces phases et les priorités d'actions ponctuelles d'amélioration. Nous ne reviendrons pas sur ce type d'analyse qualitative, spécifique au cas étudié;
2. étude statistique de l'ensemble du tracé de FC ou de fractions de celui-ci correspondant aux phases repérées ci-dessus, de manière à déterminer la distribution de FC et sa valeur moyenne FC_m ;
3. à partir des caractéristiques individuelles du travailleur étudié, détermination des paramètres d'interprétation:
 - coût cardiaque absolu: $CCA = FC_m - FC_0$ (1)
où FC , est la fréquence cardiaque au repos;
 - coût cardiaque relatif: $CCR = CCA / (FC_{max} - FC_0)$ (2)
où FC_{max} est la fréquence cardiaque maximale du sujet;
 - Pourcentage du temps pendant lequel un CCR de 33% a été dépassé;
 - métabolisme équivalent (M_{eq}), c-à-d. métabolisme qui, lors d'une épreuve d'étalonnage sur bicyclette ergométrique aurait donné lieu à la fréquence FC_m . Cette étape nécessite la connaissance de la relation liant FC et M lors d'une telle épreuve;
 - pourcentage moyen d'utilisation de la capacité maximale de travail(CMT):
$$p = 100 M_{eq} / CMT \quad (3)$$
 - dose d'exposition: $D = 100 d/dL$ (4)
où d est la durée de la phase de travail considérée
et dL est la durée limite de travail correspondant au pourcentage d'utilisation p .

CARACTERISTIQUES DU SUJET

Avant de procéder à l'analyse globale absolue ou relative de l'enregistrement de FC, l'utilisateur doit donc connaître ou estimer les caractéristiques FC_0 , FC_{max} , CMT et la relation (FC-M) propres au sujet considéré. Rares sont les situations où il sera possible de soumettre ce sujet à une épreuve d'effort maximale ou même sous-maximale et généralement on devra se contenter d'une estimation à partir de l'âge et du poids du sujet.

A. Prédiction à partir de l'âge et du poids

Le calcul de la relation linéaire liant FC et M nécessite la connaissance de 2 points de cette droite, à savoir, l'état au repos (FC_0 , M_0) et l'état maximal (FC_{max} , CMT).

La fréquence cardiaque de repos FC_0 est en définitive impossible à définir de manière précise (Gaudemaris et coll., 1982). Aux valeurs relevées lors d'examens médicaux, on peut être amené à préférer la valeur fixe moyenne de 70 bpm ou, mieux, une donnée tirée de l'enregistrement de FC à interpréter: il s'agit de la FC dépassée pendant 99 % du temps d'enregistrement (FC_{99}) (Malchaire et al. 1986) pour autant que, durant cette période (idéalement la journée de travail de 8 h), le sujet ait disposé de périodes de repos suffisantes. Il appartient à la personne conduisant l'interprétation de déterminer, au vu du tracé (FC-temps) et connaissant le travail réalisé, la pertinence de cette valeur.

Le métabolisme de repos assis M_0 peut être estimé à 105 watts pour un homme et à 95 watts pour une femme (Spitzer et coll. 1982). Il s'agit là encore de valeurs moyennes que l'utilisateur doit éventuellement adapter en fonction des caractéristiques du sujet considéré.

La FC maximale FC_{max} peut être estimée, tant pour les hommes que pour les femmes (Gillet, 1984) par la relation proposée par Chaffin (1966) en fonction de l'âge du sujet (A ans):

$$FC_{max} = 205,5 - 0,62 A \quad \text{bpm} \quad (5)$$

Cette expression donne des résultats plus précis que la relation plus généralement connue (220 - A).

La capacité maximale de travail CMT, en watts, peut être estimée en fonction de l'âge et du poids maigre du sujet. La mesure de ce poids maigre étant peu commune, l'utilisateur aura à opter pour une valeur en comparant le poids réel du sujet à son poids idéal (P_{id}) compte tenu de sa taille (T, cm) et au poids moyen (P_m , kg) de la population de cet âge et de cette taille.

Le poids «idéal» peut être estimé (hommes et femmes) par l'expression utilisée classiquement par les nutritionnistes

$$P_{id} = (3 T - 250) / 4 \quad \text{kg} \quad (6)$$

Le poids moyen P_m doit être évalué à partir des tables anthropométriques de la population à laquelle appartient la personne considérée. Pour des sujets européens, les relations suivantes peuvent être utilisées:

- Hommes: $P_m = 0,75 T + 0,31 A - 65,5 \quad \text{kg} \quad (7)$

- femmes : $P_m = 0,64 T + 0,31 A - 54,8 \quad \text{kg} \quad (8)$

Une fois le poids maigre P (kg) apprécié, CMT peut être estimé par les relations suivantes établies sur des populations d'ouvriers sidérurgistes et de femmes travaillant dans un hôpital (infirmières, secrétaires, ...) (Gillet, 1984)

- hommes : $CMT = (75 - 0,4 \cdot A) \cdot p^{2/3} \quad \text{Watts} \quad (9)$

- femmes : $CMT = (56 - 0,35 \cdot A) \cdot p^{2/3} \quad \text{Watts} \quad (10)$

La consommation maximale d'oxygène correspondante (VO_{2max} , l/min) peut être calculée par:

$$VO_{2max} = CMT / 350 \quad \text{l/min} \quad (11)$$

en admettant égal à 350 W l'équivalent énergétique de la combustion interne d'un litre d'oxygène par minute.

A partir des paramètres FC_0 , M_0 , FC_{max} , CMT ainsi estimés, la relation liant en théorie FC et M peut être calculée par:

$$FC = a M + b \quad (12)$$

où a, pente de la droite, s'exprime par $a = (FC_{max} - FC_0) / (CMT - M_0)$

et b, intersection, est égal à $b = FC_0 - a M_0$

ETUDE STATISTIQUE DU TRACE DE FC

Le tracé de FC en fonction du temps permet difficilement d'apprécier la gamme de variation de FC, la FC moyenne, le pourcentage du temps durant lequel FC atteint telle valeur, etc. L'histogramme cumulé, par contre, permet de répondre à ces interrogations.

Les paramètres caractérisant a priori le mieux cette distribution sont les centiles FC_{99} , FC_{10} et FC_1 c-à-d. les valeurs de FC dépassées pendant respectivement 99, 10 et 1% du temps.

- Aux conditions discutées précédemment. FC_{99} peut être adoptée comme étant la fréquence cardiaque de repos «au travail» du sujet, le jour de l'enregistrement.
- FC_1 donne à l'inverse une indication plus systématique qu'aucune valeur de FC individuelle et fortuite, du maximum de FC entraîné par le travail. ($FC_1 - FC_{99}$) donne donc la gamme de FC rencontrées, exception faite des extrêmes non systématiques.

L'histogramme cumulé permet de déterminer le pourcentage du temps pendant lequel sont dépassées des valeurs repères de FC telles que 110 ou 135, préconisées par certains comme critères d'appréciation. Il en

est de même pour toute valeur de coût cardiaque absolu ou relatif. En particulier, on retiendra le pourcentage du temps pendant lequel est dépassée la FC correspondant à 33 % d'utilisation de la capacité maximale de travail.

De tels critères d'appréciation s'avèrent cependant de façon incontestable assez pauvres puisqu'ils ne retiennent ni de combien ces FC limites sont dépassées, ni quelles ont été les conditions aux autres instants. Aussi, le paramètre de base de l'interprétation sera-t-il la FC moyenne durant la durée d'enregistrement et/ou durant la phase prise en compte.

INTERPRETATION

La relation (FC-M) ayant été établie pour le sujet concerné, l'interprétation peut être menée comme indiqué précédemment en calculant successivement les coûts cardiaques absolu et relatif moyens, le métabolisme équivalent et le pourcentage moyen d'utilisation de la capacité maximale de travail. Depuis les travaux de Lehman (1953), l'on sait que le pourcentage moyen d'utilisation de la CMT compatible avec une durée de travail de 8 h est de 33 %, sous peine d'entraîner un épuisement progressif. Pour un sujet masculin standard, cette limite correspond à 33 % de 1050 Watts (3 LO₂ /min), soit 350 Watts. Reprenant cette limite et prenant en considération le fait que, d'une part, un effort correspondant à la CMT ne peut être enduré au maximum que 5 minutes en continu et que d'autre part l'apport calorique journalier est d'environ 4400 kcal, Bink (1962) proposa une relation permettant d'estimer la durée de travail en continu compatible avec un métabolisme donné.

Convertie en valeurs relatives de métabolisme, cette relation s'écrit:

$$d_L = 5700 / p^{0,131} p \quad \text{min} \quad (16)$$

où p est le pourcentage d'utilisation de la CMT.

Les ordres de grandeur de durée limite peuvent aisément être estimés, sachant que cette durée double pour toute réduction de 10 % du pourcentage d'utilisation de la CMT, suivant le tableau suivant:

P%	100	90	80	70	60	50	40	33	30	20
d _L min	5	10	20	40	80	160	320	480	640	1440

Comparant durée réelle de travail (d) et durée limite, la dose d'exposition permet d'estimer plus concrètement le degré d'acceptation en valeur relative du travail. L'usage s'est établi de chercher à qualifier de légère, moyenne, lourde, très lourde la charge de travail. Le tableau suivant donne les ordres de grandeur de métabolisme correspondant à ces qualificatifs, en valeurs absolues et en valeurs relatives (% CMT)

Charge de travail Moyenne sur 8 heures	Métabolisme En valeur absolue en watts	Métabolisme En valeur relative en % de la CMT	Métabolisme En valeur relative en % de la CMT (simplifié)
Repos	100	M ₀	M ₀
Léger	170	M ₀ + 0.08*(CMT - M ₀)	0.2*CMT
Moyen	290	M ₀ + 0.21*(CMT - M ₀)	0.3*CMT
Lourd	410	M ₀ + 0.34*(CMT - M ₀)	0.4*CMT
Très lourd	530	M ₀ + 0.45*(CMT - M ₀)	0.5*CMT

C'est en fonction de ces critères et de préférence sur base du pourcentage d'utilisation de la CMT et non du métabolisme en valeur absolue que doit s'apprécier la lourdeur du travail.

DISCUSSION

La pertinence de l'interprétation décrite ci-dessus est tributaire de la précision de la relation (FC-M) et de la CMT déterminées au départ.

Lorsqu'une épreuve d'étalonnage a été réalisée, l'utilisateur pourrait être amené à penser que la relation trouvée est précise et définitive. En fait, la précision sur la pente et l'intersection est rarement meilleure que 10.

L'imprécision est naturellement plus grande encore lorsque la relation est déduite de l'âge et du poids.

L'utilisateur doit dès lors rester conscient du fait qu'il en est réduit à déterminer, avec le plus de soin possible, des ordres de grandeur. Il n'est donc pas question de se fier aux décimales offertes par la calculatrice ou l'ordinateur, mais de porter à chaque étape un jugement de plausibilité sur les résultats.

Ayant ainsi, a priori, réalisé une première interprétation sur base de la relation (FC- M) initiale, on peut être amené à recalculer cette relation, utilisant cette fois comme fréquence de repos la FC₉₉ ou une autre estimation d'autre origine. Seule l'expérience permet d'affiner progressivement le jugement.

EXEMPLE

L'exemple repris ci-dessous illustre et commente brièvement l'analyse d'un enregistrement réalisé sur un travailleur occupé à un poste d'assemblage dans l'industrie automobile.

Le sujet a 40 ans, pèse 83 kg et mesure 175 cm. Il est non fumeur, mais guère sportif. Son poids idéal devrait être de 69 kg et son poids normal de 78 kg. L'excès pondéral serait de 5 kg seulement. Le sujet ne paraît pas avoir un tissu adipeux particulier, de sorte qu'il sera tenu compte d'un poids de 83 kg pour la prédiction de la capacité maximale de travail.

- La fréquence cardiaque maximale prédite est de 181 bpm.
- Le métabolisme maximal prédite à partir du poids et de l'âge est égal à 1120 Watts.
- Le métabolisme de repos est pris égal à 105 Watts
- La FC de repos assis est prise égale à 80 bpm.

La relation (FC-M) s'écrit:

$$FC = 0,109 M + 69 \quad \text{bpm.}$$

La figure 1 donne l'évolution de la FC observée entre 6 h 20 du matin et 14 h 20 au poste de travail. L'analyse qualitative de ce tracé permet d'identifier les phases de travail les plus contraignantes, d'analyser l'organisation du travail (repos,...) adoptée par le travailleur, etc. Cette étape ne sera pas décrite ici en détails.

Figure 1- Profil de la FC (minute par minute, bpm) au cours du temps de travail.

La figure 2 donne l'histogramme cumulé de FC au cours des 8 heures de travail. Il donne le pourcentage du temps pendant lequel une valeur quelconque de FC a été dépassée. On en tire que les valeurs dépassées pendant 99 %, 10 % et 1 % du temps sont respectivement 85, 114 et 118. La FC se situe donc pendant 80% du temps entre 93 et 114 bpm et pendant 98 % du temps entre 85 et 118 (soit gamme de 33 bpm).

Figure 2. Histogramme cumulé des valeurs de fréquence cardiaque au cours du travail.

La FC moyenne peut être calculée égale à 104 bpm.

L'interprétation globale peut être menée en utilisant la relation (FC-M) définie ci-dessus. Cependant, à partir du tracé relevé, le travailleur dispose de quelque 20 minutes de repos qu'il passe essentiellement assis et pendant lesquelles la FC est de l'ordre de 85 bpm. Il paraît donc autorisé d'adopter comme FC de repos alternative la FC dépassée pendant 99 % du temps, soit 85 bpm. La relation (FC-M) recalculée sur cette base est donnée par:

$$FC = 0,104 M + 74,1$$

F

La table 1 donne les valeurs de coût cardiaque absolu (CCA), coût relatif (CCA), métabolisme équivalent (M_{eq}), le pourcentage de la capacité maximale de travail (p%) et la dose d'exposition (D%) en partant des 2 fréquences cardiaques de repos.

Table 1 Interprétations globales de la charge de travail réalisées à partir des 2 hypothèses de FC de repos.

	FCO = 80	FCO = 85
CCA	24	1 9
CCR	23,7	19,8
M_{eq}	321	287
P%	31,2	27,9
D	78	62

Les résultats sont dans le cas présent relativement peu différents. Si l'on interprète le métabolisme équivalent comme représentant la dépense énergétique moyenne au poste de travail, il faut conclure que la charge de travail moyenne peut être qualifiée de moyenne à lourde et s'avère marginalement compatible avec une durée de travail de 8 heures, pour le travailleur concerné, dans sa forme physique actuelle. Reste bien entendu à analyser si, étant donné les autres composantes de l'environnement de travail, la situation est acceptable.

BIBLIOGRAPHIE:

ASTRAND I., Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. Acta Physiot. Scand 1960, 49, suppl. 169.

BINK B., The physiological working capacity in relation to working time and age. Ergonomics, 1962, 5, 25-28.

CHAFFIN D. B. The prediction of physical fatigue during manual labor. Journal Methods Time Measurement, 1966, XI-5, 2532.

GAUDEMARIS R., MALLION J.M., VILLEMMAIN P., DAVERS H., PERDRIX A., DIMITRICOU R., Etude de la charge de travail cardiaque par procédé Holter. Apport de la microinformatique dans l'évaluation de la fréquence de repos et le calcul des indices de charge de travail. Communication, Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française, 1982.

GILLET Y., Fréquence cardiaque et consommation d'oxygène au cours d'épreuves d'effort. Populations masculine et féminine. Observations et prédictions. Mémoire de Licence en Médecine du Travail. Bruxelles, Université Catholique de Louvain, 1984.

LEHMAN G., Praktische Arbeitsphysiologie, Stuttgart, 1953.

MALCHAIRE J., MAIRIAUX Ph., Validité de la prédiction de la consommation maximale d'oxygène, Arch. Mal. Prof., 1985, 46, 6, 379-384.

MALCHAIRE J., ROGOWSKY M., VANDERPUTTEN M., VVALLEMACQ M., Evaluation de la contrainte de travail par enregistrement continu de la fréquence cardiaque dans une entreprise d'assemblage automobile. Le Travail Humain, 1986, 49, 1, 75-87.

ROGOVSKY M., VANDERPUTTEN M., MALCHAIRE J., Essai d'amélioration des conditions de travail sur une chaîne de montage automobile, Cah.Méd. Interprofessionnelle, 1981, n°81, 18-35.

ROGOWSKY M., MALCHAIRE J., Etude qualitative et quantitative de la charge de travail par enregistrement continu de la fréquence cardiaque. Revue des Conditions de Travail, 1986, 22, mars/avril, 7-10.

SPITZER H., HETTINGER T., KAMINSKY G., Tafeln für den Energieumsatz bei Körperlicher Arbeit. 6. Vollständig überarbeitete Auflage. Beuth Verlag GmbH, Berlin-Köln, 198-1.