

LES

Méthodes Physiologiques actuelles d'évaluation

DE LA

Fatigue dite " Industrielle ,,

Docteur D. GLIBERT

Inspecteur-Général du Service médical du Travail.

Cette note est écrite à la demande d'un groupe de techniciens désireux de connaître avec une certaine précision la valeur des notions médico-sociales du moment en matière d'exploration de la fatigue, en se plaçant au point de vue spécial de leur application immédiate à l'industrie.

Soucieux de maintenir leur renom de producteurs industriels de premier ordre, préoccupés de concilier les exigences d'un grand rendement avec la conservation de l'énergie productrice de leurs ouvriers, il est naturel, dans les circonstances présentes surtout, que nos ingénieurs s'intéressent aux travaux des physiologistes et des hygiénistes qui étudient le problème de la fatigue.

Cet intérêt s'explique aussi par le bruit fait à l'étranger autour du « Scientific Management » dont certains protagonistes trop zélés compromettent le succès par des affirmations prématurées provenant d'une connaissance insuffisante de la physiologie.

Les dirigeants de nos grandes entreprises n'ont guère le temps de parcourir les innombrables publications consacrées à l'étude de la fatigue au cours du dernier quart de siècle, et il peut leur être difficile d'apprécier la juste valeur des recherches fragmentaires dont le compte-rendu les a frappés. C'est en réponse à un désir d'une documentation critique que nous avons accepté de résumer dans ces quelques pages, l'état de la question. C'est aussi avec l'espoir que nos chefs d'entreprises encourageront et seconderont les efforts des chercheurs désintéressés qui s'évertuent à projeter un peu de lumière sur un problème médical de grande importance, mais resté jusqu'ici obscur du fait même de son extrême complexité.

Il y a lieu de croire qu'il existe des lois fort générales, rapprochant les manifestations de l'activité animale, des lois physiques qui régissent la résistance des corps solides inorganiques. De fait, n'est-

il pas remarquable de constater, comme l'a fait Hele-Shaw, les concordances de forme entre les courbes représentant la résistance de certains métaux et celles qui se rapportent à l'endurance humaine?

Le graphique ci-contre (fig. 1), reproduit d'après cet auteur,

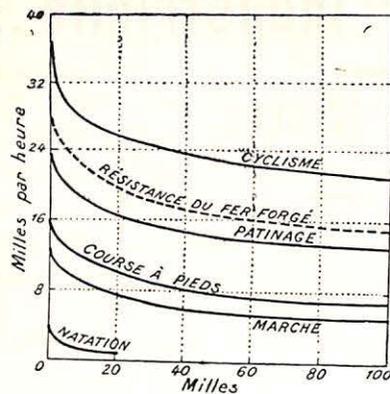


FIG. 1.

montre à côté de la résistance du fer forgé, des courbes d'endurance construites en prenant comme ordonnées les vitesses en milles à l'heure pour des records dans des concours de bicyclettes, de patinage de course à pied, de marche, de natation, et comme abscisses les distances sur lesquelles ces vitesses furent maintenues. Des courbes, analogues aux précédentes avaient déjà été obtenues antérieurement par Kennely, au moyen de relevés statistiques soigneux s'appliquant à la fois à des exercices athlétiques humains et à des courses de chevaux.

On a comparé souvent nos organes locomoteurs aux machines créées par la main des hommes, mais à des machines qui auraient des caractères particuliers ne se rencontrant pas dans les moteurs inanimés. Ces derniers, lorsqu'ils s'arrêtent spontanément, doivent d'ordinaire cet arrêt à l'épuisement du combustible plutôt qu'à l'encrassement excessif des rouages; c'est l'inverse qui se produit toujours pour le moteur animé. Nos organes de mouvement ont de plus, au repos, cette propriété singulière de se renouveler, de se réparer automatiquement et de se débarrasser spontanément de leur cambouis.

Cette comparaison, poussée trop loin, serait déplacée. Sa signification est de rappeler que les êtres animés n'échappent pas aux lois physico-chimiques qui régissent tous les corps, et que certains phénomènes biologiques peuvent, dès à présent, s'expliquer par l'application de ces lois. Mais quoiqu'il en soit des notions nouvelles que l'avenir réserve, il n'en demeure pas moins qu'un abîme sépare le monde inanimé de la matière vivante et que les propriétés caractéristiques de celle-ci ne permettront jamais une assimilation totale des lois biologiques aux phénomènes plus facilement contrôlables de la nature inerte.

Un rappel de certaines notions physiologiques paraît indispensable à notre exposé. Qu'on veuille bien en excuser la forme sommaire et les affirmations dépourvues de leurs preuves. Le cadre de cette note ne se prête pas à de longues digressions et les faits rappelés sont admis actuellement par la presque unanimité des initiés: une démonstration serait donc ici encombrante.

Chacun sait qu'on ne peut continuer indéfiniment un travail musculaire de quelque énergie. Après une période variable d'activité un repos plus ou moins long est nécessaire; repos après lequel on constate la récupération totale de la puissance amoindrie.

Certains muscles cependant paraissent faire exception: le cœur, notamment qui ne cesse de battre de l'origine de l'être jusqu'à sa mort. Mais la continuité de cette action n'est qu'une apparence. En réalité le travail du cœur est intermittent. Son mouvement de contraction est suivi d'un stade de repos dans un rapport de durée de 0",3 d'activité pour 0",5 de repos en ce qui concerne les ventricules. Cette succession ininterrompue de contractions et de repos rapprochés montre qu'il existe des rythmes de fonctionnement musculaire permanent (contractions cloniques) sans dégradation de puissance à condition, bien entendu, que les contractions successives soient en rapport avec la force de l'organe agissant.

Inversément, une constatation bien simple permet de s'assurer de la rapidité avec laquelle s'épuisent les muscles en contraction ininterrompue (contraction statique): chacun sait combien devient rapidement insoutenable le maintien du bras tenu horizontalement, même sans surcharge. Ce dernier phénomène démontre aussi que la mesure du travail (au sens mécanique du mot) n'est point toujours facteur important dans l'évaluation de la dépense d'énergie.

La répétition des mouvements musculaires, non suivis de repos suffisants, fait naître en nous une sensation particulière désignée sous le nom de fatigue. On sait que cette sensation peut exister sans qu'il faille faire intervenir l'influence du mouvement: il en est ainsi dans le travail de l'intelligence et dans certains états morbides.

On peut donc se demander où se trouve localisé le siège de la fatigue succédant au travail musculaire prolongé et quelle en est la cause.

Lorsque, expérimentalement, par des stimulations successives du nerf moteur d'un muscle on oblige celui-ci à se contracter en laissant sur les appareils enregistreurs la trace de ces contractions, on s'aperçoit, si la stimulation reste d'intensité constante, que la marche

du phénomène présente un stade initial d'accentuation d'assez courte durée. Ce premier stade d'accroissement est suivi d'un stade plus long de rendement maximum suivi lui-même d'un stade de déclin de plus en plus accentué.

Si on poursuit l'expérience jusqu'à épuisement complet, c'est-à-dire jusqu'à ce que cesse le mouvement, il est encore possible de réveiller les contractions par des stimulations directes du tissu musculaire. Il s'en suit que la fatigue de l'agent nerveux de transmission motrice précède la fatigue musculaire. Des expériences complémentaires, analysant de plus près le phénomène, semblent démontrer que, pratiquement, le nerf lui-même est infatigable et que seules ses terminaisons, c'est-à-dire ses points d'épanouissement dans la masse musculaire sont sujettes à l'épuisement.

On démontre encore, par expériences, que les centres nerveux, c'est-à-dire les organes de commande qui président au mouvement se fatiguent plus rapidement que le système neuro-musculaire. Cette particularité est heureuse car il s'en suit qu'un muscle ne pouvant être contracté jusqu'à épuisement total sous l'influence de la seule volonté, son retour à l'état normal est favorisé par la sensation nerveuse qui en réclame le repos.

L'influence du travail musculaire prolongé se fait donc sentir successivement sur les centres nerveux — sur les terminaisons périphériques des nerfs moteurs — sur les fibres musculaires elle-mêmes. En d'autres termes la fatigue industrielle est, avant tout, une fatigue nerveuse.

Il convient à présent d'en rechercher le mécanisme.

La vie animale est un ensemble de phénomènes physico-chimiques, évidemment très compliqués, mais tendant toujours à maintenir un état d'équilibre dans les échanges entre les causes productrices et consommatrices d'énergie. Un mouvement musculaire n'est possible que moyennant une dépense organique.

On démontre en physiologie que le muscle qui se contracte dépense du glycogène fourni par le foie et le transforme en produits résiduels parmi lesquels domine l'acide lactique. Ces résidus, charriés par le sang, sont oxydés par des réactions organiques et éliminés en vertu du principe indiqué plus haut de l'équilibre métabolique.

Si au cours du travail la production résiduelle ne dépasse que légèrement le pouvoir compensateur de destruction, les déchets envahissant le torrent circulatoire viennent « sensibiliser » les centres nerveux, y déterminer un état de stimulation se traduisant par une augmentation du pouvoir moteur et par une nutrition plus active

des muscles exercés. Si la production résiduelle est exagérée la sensation de fatigue ou d'accablement s'accroît avec une rapidité croissante, proportionnelle à l'intensité de l'effort et à la durée de sa répétition.

Ceci rend compte du mécanisme de l'entraînement, du développement athlétique et aussi du phénomène de surmenage.

On comprend pourquoi la sensation de fatigue que nous localisons dans les muscles est, en réalité, un phénomène ayant son siège principal dans les centres nerveux et *peut être aussi* dans les terminaisons neuro-musculaires. C'est une auto-intoxication fonctionnelle.

On conçoit que la dépense d'énergie nerveuse soit en rapport avec l'énergie de la contraction musculaire, mais ce rapport n'est pas proportionnel au travail mécanique développé. L'ensemble d'excitations nerveuses nécessaires à des contractions musculaires médiocres ou moyennes (fatigue oculaire de l'accommodation par exemple) peut être beaucoup plus pénible pour les centres nerveux que quelques excitations plus intenses mais plus rares requises pour des contractions plus énergiques.

Par ce qui précède on s'explique que l'un des principaux facteurs qui interviennent dans la production de la fatigue soit la rapidité du rythme combinée à la durée prolongée des contractions successives.

Mais ce facteur n'est point le seul. Sans parler des causes extérieures (température — degré hygrométrique de l'air, etc.) ni des causes psychiques individuelles (chagrins-découragement, etc.) qui, comme on le sait, ont une influence énorme par les entraves qu'elles apportent à l'ensemble des phénomènes physiologiques, la monotonie de la tâche accomplie contribue puissamment à augmenter la fatigue. Son influence s'explique, en partie par une action psychique, en partie par l'emploi des mêmes groupes musculaires et par conséquent des mêmes centres nerveux qui président au mouvement commandé.

Tout ce qui précède conduit à la notion essentielle de la « fatigue accumulée » ; la seule intéressante pour l'objet de cet examen.

Rappelons que si, au cours du travail, la production inévitable de déchets est un peu supérieure à la possibilité de leur destruction immédiate, le fonctionnement musculaire fait naître, au sein de l'organisme, la sensation de la fatigue normale par l'action de ces produits sur les centres nerveux. Cette fatigue normale plutôt avantagieuse par elle-même puisqu'elle est stimulante et tonique pour nos

organes disparaît totalement par le repos si celui-ci est de durée suffisante c'est-à-dire proportionnelle au degré de fatigue éprouvé.

S'il en est différemment ; si par exemple les repos méridien — quotidien — hebdomadaire ne suffisent pas à la réfection complète de l'organisme avant la reprise du travail, à la fatigue de la nouvelle tâche imposée s'ajoutera le reliquat des fatigues précédentes qui pourront ainsi s'accumuler de jour en jour, de semaines en semaines, de mois en mois suivant une progression des plus fâcheuses.

C'est cette fatigue accumulée qu'il conviendrait de pouvoir constater et mesurer avec précision pour éviter les pernicieux effets du surmenage.

Passons donc en revue les moyens d'investigation préconisés.

Après les remarquables travaux de Mosso qui suscitèrent parmi les chercheurs une émulation enthousiaste, les méthodes dynamométriques et ergographiques de recherches sur la fatigue donnèrent lieu à d'innombrables travaux dont certains contribuèrent puissamment à faire progresser nos connaissances physiologiques.

Les dynamomètres employés en physiologie sont des appareils en général assez simples. Leur action est basée sur la déformation de lames métalliques sous l'effet de la contraction de groupes musculaires plus ou moins importants. La déformation des ressorts se transmet d'ordinaire par une crémaillère et une roue dentée à un cadran indicateur des forces. Certains appareils perfectionnés, celui de Verdin, notamment, permet en outre l'enregistrement de toutes les phases de la contraction, grâce à l'emploi de tambours de Marey.

Divers savants et, le premier, M. le professeur Imbert de Montpellier, appliquèrent les appareils enregistreurs de Marey à l'analyse directe de l'effort déployé dans certaines manœuvres professionnelles. On transforma dans ce but les outils usuels du travailleur : cisaille de vigneron — cabrouet porte-bagages — marteau du forgeron, etc. Nous même fîmes construire et mimes en usage dans les travaux des inspecteurs-médecins du travail, il y a environ quinze ans, concurremment avec les appareils existants, un dynamomètre spécial constitué essentiellement par un manomètre à spirale creuse mis en relation, par l'intermédiaire d'un tube, avec une poire en caoutchouc. L'action des fléchisseurs des doigts sur la poire se traduisait par une augmentation de pression de l'air enclos dans l'appareil qui marquait ainsi la puissance déployée. En outre, une tige fixée à l'extrémité du tube manométrique permettait l'adaptation d'une paille inscrite se mouvant devant un tambour enregistreur.

Une méthode américaine récente, due à M. le professeur Martin, ne diffère pas essentiellement des procédés dynamométriques ordinaires. Contrairement à ces derniers qui, en général, n'interrogent que des groupes musculaires restreints, elle se base, et c'est là son mérite, sur l'exploration successive de la plus grande partie des muscles du corps.

L'ergographe, inventé par M. le professeur Mosso, modifié et pas toujours perfectionné par d'autres, est un appareil dont le principe est diamétralement opposé à celui sur lequel repose la méthode américaine. Mosso, préoccupé de limiter le plus possible à un faisceau musculaire isolé la puissance agissante, s'adressa à la flexion d'un seul doigt et construisit son instrument de telle sorte que cette flexion fut mesurée par le soulèvement de poids variables au gré de l'observateur. L'amplitude du soulèvement est enregistrée par les moyens ordinaires.

Partant de la supposition fort naturelle que la fatigue devait avoir pour effet de diminuer proportionnellement la force musculaire on crut, au début, être en possession de moyens commodes de mesure applicables aux travaux manuels de l'industrie. Mais l'expérience ne confirma nullement les espérances premières. Les méthodes dynamométriques et ergographiques, excellentes pour diverses recherches physiologiques et pour déterminer la valeur professionnelle d'un sujet c'est-à-dire pour favoriser la sélection ouvrière dans les travaux les plus pénibles sont à peu près abandonnées pour la mise en évidence du surmenage industriel.

Il existe pour cela de nombreuses raisons. La principale réside en ce que la méthode suppose la coopération volontaire, intelligente, désintéressée et attentive du sujet examiné. Cette coopération, facilement réalisable au laboratoire sur des aides instruits et de bonne volonté se rencontre moins dans les conditions ordinaires des examens à l'usine ou au chantier. En outre, il est établi qu'un état de fatigue marqué, voire excessif, n'est pas toujours incompatible avec des efforts musculaires d'intensité normale.

Sans parler de l'expérience des autres, un exemple qui nous est personnel démontrera cette assertion. Les inspecteurs-médecins du travail belges ont longuement exploré jadis la force musculaire de travailleurs de différents groupes et à différents stades de la fatigue. Ils se sont adressés tantôt à des artisans dont la besogne quotidienne implique plutôt de la précision mais en même temps des efforts puissants, tels les ébénistes et les chaisiers, tantôt à des travailleurs

exclusivement manuels et notamment à des débardeurs du port d'Anvers dont le travail, à l'époque de recherches, comportait parfois des périodes d'activité ininterrompue de plus de 24 heures et par conséquent l'existence, certaine à priori, d'un très haut degré de fatigue. Les résultats furent déconcertants : les tracés obtenus avant et après le travail étaient d'ordinaire de parfaite équivalence, parfois ils décelaient, même chez les débardeurs surmenés, une augmentation de puissance musculaire.

Est-il étonnant qu'à l'heure actuelle les méthodes dynamométriques et ergographiques, comme criterium du degré de fatigue industrielle, soient tombées dans un discrédit à peu près universel ?

Le même inconvénient d'exiger la coopération active et sincère du sujet examiné s'oppose à la généralisation dans l'industrie de différentes autres méthodes proposées. C'est ainsi que la diminution de l'acuité des sens, spécialement de la finesse du tact et de la netteté de l'audition, qui est habituelle dans la fatigue, perd toute signification par l'inattention, l'insouciance ou parfois le mauvais gré de la personne en observation.

On peut en dire autant des tests psychologiques qui permettent de déterminer la rapidité ou la précision des fonctions intellectuelles. On se sert, pour ces recherches délicates, de procédés divers et notamment d'appareils spéciaux enregistrant en centièmes de secondes les « temps de réaction » c'est-à-dire l'intervalle qui sépare le moment où le sujet perçoit un signal déterminé et celui où il accuse cette perception par un mouvement volontaire. On fait aussi appel à des méthodes plus simples : groupement d'échantillons de même couleur — erreurs dans les calculs, etc. Ces moyens sont d'autant moins applicables à la mensuration du surmenage industriel qu'il semble bien établi qu'un degré élevé d'attention momentanée n'est nullement incompatible avec un état de fatigue musculaire prononcé.

Parmi les manifestations de la fatigue dont l'investigation échappe aux objections précédentes il en est un certain nombre, fort intéressantes pour les études physiologiques et pathologiques, qui ne répondent pas non plus aux nécessités d'examens cliniques nombreux ou bien qui n'ont pas une signification symptomatique suffisante parce qu'elles se rencontrent dans des circonstances autres que celles de l'état de fatigue.

Ce sont : l'augmentation du volume du cœur, augmentation que l'on apprécie par la radioscopie — les altérations dans la composition

du sang — les troubles circulatoires fonctionnels : altération du pouls dans sa fréquence, dans son rythme, variation de la tension sanguine, etc. — les irrégularités de la respiration quant à sa fréquence, à son rythme, à la pression de l'air inspiré et de l'air expiré, aux modifications dans les échanges respiratoires constatées par l'analyse des gaz.

Les recherches plus compliquées encore qui visent soit à mesurer la chaleur extériorisée par le travail musculaire, soit à évaluer la rapidité des échanges organiques dans la nutrition ou du fonctionnement de nos appareils excréteurs sont toutes du domaine exclusif des laboratoires d'expériences et n'ont point, jusqu'ici, fourni des bases directement applicables à l'appréciation de la fatigue professionnelle.

Restent à signaler, parmi les signes corporels les plus caractéristiques et facilement contrôlables de la fatigue industrielle certains phénomènes intimement liés au fonctionnement automatique du système nerveux et qui, dans des circonstances particulières, peuvent avoir une signification intéressante.

Chacun sait que pendant les premiers instants qui suivent les exercices corporels violents existe, à un degré variable selon les sujets, un état d'incoordination musculaire qui se traduit par une diminution de précision dans les travaux délicats (écriture soignée dessin — dissection minutieuse — travail de fine mécanique, etc.). Cet état d'incoordination, pour ainsi dire normal, atteint parfois un degré plus élevé et détermine soit une trémulation légère de certains muscles soit même un véritable tremblement.

Il existe aussi, comme conséquence d'un travail rapide et précis, un déséquilibre nerveux fort intéressant, que nous avons observé à maintes reprises et, pour la première fois, sur des ouvriers roulant à la main des cigarettes.

Pour ce travail « à la pièce » la qualité principale est la rapidité extrême de mouvements musculaires fort ajustés. Outre les mouvements des doigts et des membres supérieurs le travail comporte un balancement régulier du tronc qui oscille d'arrière en avant et réciproquement à chaque prélèvement de tabac nécessaire à la confection d'une cigarette. Si, au cours de l'observation de cette gymnastique rapide, on pose brusquement aux ouvriers des questions dont les réponses demandent quelque réflexion, on s'aperçoit que certains d'entre-eux, cessant le travail pour vous parler, continuent néan-

moins pendant un temps appréciable le balancement automatique de tout le buste. Ce phénomène n'est ni général ni spécial à cette profession. Nous l'avons observé maintes fois sur d'autres groupes de travailleurs à activité extra-rapide et notamment sur des jeunes filles employées à la fabrication manuelle des boîtes pour allumettes.

Ceci n'est pas une manifestation d'incoordination proprement dite ; c'est plutôt une insuffisance de contrôle nerveux de mouvements automatiques.

Ces faits sont trop fugaces ou trop exceptionnels pour servir directement de base à une évaluation du degré de fatigue, mais ils montrent l'importance d'une exploration méthodique du système nerveux après une période d'activité musculaire fatigante.

De fait on a recherché les variations de nos mouvements réflexes, des plus simples comme le réflexe du genou, jusqu'aux plus compliquées comme la réaction du silence respiratoire sur les battements cardiaques. On a voulu apprécier la tonicité musculaire par différents moyens, par exemple en mesurant l'angle formé, avant et après le travail, par la cuisse et la jambe dans la position assise les pieds ballants. Les explorations de ce genre peuvent donner des résultats appréciables au point de vue de l'étude individuelle d'un sujet déterminé ; ils ne se prêtent pas à une généralisation.

Il semble en être autrement des réactions réflexes vaso-motrices. Nos vaisseaux sanguins et plus spécialement nos capillaires ne sont point des tubes élastiques dont le degré de dilatation est subordonné exclusivement à la pression intérieure. Ce sont des organes dont la contraction ou la dilatation dépendent du commandement de centres nerveux mis eux-mêmes en action sous des influences extrêmement variées.

On s'est aperçu que dans l'état de fatigue la rapidité d'action des vaso-constricteurs et des vaso-dilatateurs est notablement influencée et l'on a basé sur cette observation la recherche de la fatigue par le test suivant :

Le frôlement de la peau de l'avant-bras par un corps moussé tel que la roulette d'un curvimètre y détermine l'apparition d'une ligne blanche due à la contraction des vaisseaux sanguins de la région. A l'état normal cette ligne persiste un temps très appréciable puis disparaît par la réaction des vaso-dilatateurs. Ce temps est noté au chronomètre : il diminue dans l'état de fatigue, mais il n'est point établi que cette diminution soit proportionnelle. Quoiqu'il en soit

c'est là, pour un observateur averti, l'un de nos meilleurs réactifs physiologiques. Cependant, dans son emploi, il convient de faire la part (comme dans presque toutes les constatations de l'espèce) de l'« équation personnelle » de l'observateur ; appréciation du moment précis où la ligne blanche commence à pâlir — appui plus ou moins fort, vitesse plus ou moins grande de la roulette sur le membre.

Cette revue rapide nous amène à la conclusion que les méthodes psychologiques et physiologiques recommandées jusqu'ici pour mesurer la fatigue, et surtout pour évaluer la fatigue accumulée par l'insuffisance des repos, ne sont pas actuellement applicables dans les conditions habituelles de l'industrie. Certaines d'entre elles semblent ouvrir sur l'avenir des voies prometteuses, mais dans l'intérêt même du succès final, il serait imprudent de les faire sortir trop tôt du champ des expériences de laboratoire.

Dans un article ultérieur nous nous proposons d'examiner à la fois les méthodes indirectes préconisées pour l'évaluation de la fatigue et, chose d'application immédiate beaucoup plus utile encore, les moyens à employer pour écarter de l'exercice des professions pénibles toute fatigue superflue.