

# PRISE EN COMPTE DE L'ERGONOMIE LORS DE L'UTILISATION DE SYSTÈMES DE TEMPS PRÉDÉTERMINÉS

## État de l'art et perspectives

- Système de temps prédéterminés
- Organisation du travail
- Ergonomie
- Logiciel
- TMS

► *Laurent CLAUDON, Jacques MARSOT, INRS, département Ingénierie des équipements de travail*

### CONSIDERING ERGONOMICS WHEN USING PREDETERMINED TIME SYSTEMS – STATE OF THE ART AND PROSPECTS ÉTAT DE L'ART ET PERSPECTIVES

At manufactured product assembly companies, the operations foreseen at each production line workstation and their related operating procedures are designed by methods personnel. These designers base their work on time criteria and, in particular, implement predetermined time systems without necessarily considering the risks associated with the physical loads on workstation operators.

Yet, confronted with the growing increase in certain MSD-type occupational diseases, it would seem crucial that these designers should have not only an economic factor (cycle time), but also an ergonomic factor, as early as possible in the design process to be in a position to take more effective action on some of the risks of these diseases appearing.

After introducing the background and problem, this paper therefore recalls the principle underlying predetermined time systems and offers an overview of various existing systems. A review of the main software tools allowing these systems to be linked to an ergonomic assessment is then conducted. Finally, suggested improvements for facilitating application of this type of tool are described based on the results of a study recently conducted at INRS.

- Predetermined time system
- Work organisation
- Ergonomics
- Software
- MSD

Dans les entreprises réalisant des assemblages de produits manufacturiers, les opérations prévues sur chaque poste de travail des lignes de production, ainsi que les modes opératoires associés, sont définis par les agents des méthodes. Ces derniers se basent principalement sur des critères temporels, en faisant notamment appel aux systèmes de temps prédéterminés, sans nécessairement prendre en considération les risques liés à la charge physique des opérateurs.

Pourtant, face à l'augmentation croissante de certaines pathologies professionnelles de type troubles musculosquelettiques (TMS), il apparaît important que ces concepteurs disposent non seulement d'un indice économique (temps de cycle), mais également d'un indice ergonomique et, ce, le plus tôt possible dans le cycle de conception, afin d'être en capacité d'agir plus efficacement sur certains des facteurs de risques d'apparition de ces pathologies.

Ainsi, après l'introduction du contexte et de la problématique, cet article rappelle le principe des systèmes de temps prédéterminés et dresse un panorama des différents systèmes existants. Ensuite, une revue de la littérature des principaux outils logiciels permettant de coupler ces systèmes avec une évaluation ergonomique est présentée. Enfin, des propositions d'évolution permettant de faciliter l'utilisation de ce type d'outil sont exposées au travers des résultats d'une étude récemment conduite à l'INRS.

Le processus de conception d'une ligne d'assemblage de produits manufacturiers comporte de nombreuses étapes dont celle qui consiste à élaborer les modes opératoires. Pour cela, le concepteur (agent des méthodes) se base principalement sur l'aspect temporel. En effet, l'objectif est de s'assurer que la durée des tâches affectées à chaque opérateur ne dépasse pas le temps de cycle préalablement défini par les objectifs de production et de viabilité économique de la future ligne. Parmi les outils proposés aux concepteurs pour réussir cette étape, les systèmes de temps prédéterminés permettent d'attribuer *a priori* des durées

associées à l'exécution d'actions telles que : atteindre, saisir, placer, appuyer, marcher...

Durant de nombreuses années, seuls ces aspects temporels étaient pris en considération pour l'aménagement des postes de travail, la définition du rythme de travail et l'élaboration des modes opératoires. Mais face à l'évolution sociétale, à l'augmentation croissante du nombre de pathologies d'origine professionnelle de type troubles musculosquelettiques (TMS) et aux exigences de la directive « Machines » [1], les entreprises ont été sensibilisées à la nécessité d'une conception plus

« ergonomique » de leur situation de travail. Si, pour les grandes entreprises, cela s'est traduit par l'embauche d'ergonomes [2], dans les PME la mise en pratique des aspects ergonomiques a généralement été confiée aux agents des méthodes. Toutefois, ces derniers qui maîtrisent bien l'utilisation de ces systèmes de temps prédéterminés, rencontrent généralement plus de difficultés pour prendre en compte les facteurs de risques de TMS en relation avec l'activité future des opérateurs pour plusieurs raisons. Tout d'abord, un manque d'informations sur les outils disponibles relatifs à l'intégration des principes ergonomiques à la conception des équipements de travail. En effet, peu connaissent les logiciels et les normes dans ce domaine. Pourtant, ce référentiel normatif s'est très largement enrichi ces dernières années. On citera, par exemple, la série des normes EN 1005 relatives à l'évaluation des performances physiques et, plus particulièrement, la norme NF EN 1005-5 [3] qui permet d'apprécier le risque relatif à la manutention répétitive à fréquence élevée. Ensuite, même lorsque ces outils sont connus, on constate que leur utilisation n'est pas très répandue du fait :

■ d'un manque de connaissance en biomécanique pour déterminer les principaux facteurs de risques directs de survenue de TMS du membre supérieur, à savoir les efforts exercés, les postures adoptées et la répétitivité des gestes,

■ d'un manque de disponibilité pour réaliser, à la suite de leur analyse des temps, une seconde analyse sur l'ergonomie du futur poste ou de la future ligne d'assemblage.

Face à ces difficultés, il apparaît donc souhaitable que les agents des méthodes disposent de moyens leur permettant de combiner leurs outils traditionnels avec la possibilité d'évaluer *a priori* les facteurs de risques directs de survenue de TMS. En effet, de tels moyens leur permettraient de s'assurer, très tôt dans le cycle de conception, que les temps de cycles et les modes opératoires prévus ne sont pas générateurs d'efforts trop élevés, de postures inconfortables ou d'une répétitivité excessive des gestes.

Après une rapide présentation des systèmes de temps prédéterminés, cet article présente un état de l'art et les

résultats d'une étude sur l'intérêt de coupler ces systèmes à des évaluateurs ergonomiques.

## LES SYSTÈMES DE TEMPS PRÉDÉTERMINÉS

Les systèmes ont donc été élaborés afin de disposer *a priori* d'un temps standard moyen pour les gestes qu'un opérateur réalise au cours de son activité (saisir, placer, appuyer, marcher...). Les temps attribués à ces actions varient notamment selon la distance de déplacement (par exemple, lors de l'atteinte d'un objet ou lors d'une action de marche), la difficulté pour réaliser l'action (il est plus difficile de saisir un objet de petite taille mélangé parmi d'autres objets que de saisir un objet isolé facilement préhensible) et les efforts exercés par l'opérateur (le transport d'un objet lourd nécessite plus de temps que le transport d'un objet léger).

Leur origine remonte à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle avec les travaux de Frédéric Taylor, l'homme de la mesure des temps et de Franck Gilbreth, l'homme de l'analyse des mouvements qui, longtemps opposés<sup>1</sup>, finirent par se rejoindre pour élaborer les premiers référentiels de temps standards prédéterminés [4]. Depuis l'introduction du premier système de mesure des temps appelé MTA (Motion Time Analysis en 1926), de nombreux systèmes de mesure des temps ont fait leur apparition. Parmi les plus célèbres : MTS (Motion Time Survey, 1928), WF (Work Factor, 1934), MTM (Methods-Time Measurement, 1948 pour la version initiale MTM-1 ; 1965 pour la seconde version MTM-2 ; et de 1975 à 1984 pour les versions successives MTM-UAS, MTM-MEK et MTM-SAM), MODAPTS (MODular Arrangement of Predetermined Time Standards, 1966), MOST (Maynard Operation Sequence Technique, 1980) [5]. Ces différentes versions sont nées de la nécessité de s'adapter aux évolutions des modes de production (diminution des tailles de lots, flexibilité), de la durée des temps de cycle et à la diversité des produits présents sur le marché. Elles se différencient principalement par la finesse de la

décomposition des mouvements prescrits : plus une méthode nécessite une analyse fine de la gestuelle, plus elle est précise sur le temps prévu, mais plus la durée d'analyse est grande. Le contraire est observé pour une méthode décomposant de façon plus grossière la gestuelle (certaines de ces méthodes se contentent d'une description de la gestuelle de la main dominante, ne codant pas les mouvements de l'autre main).

En raison de l'évolution du contexte industriel, avec un glissement de la production de masse mono-produit vers une production de plus en plus flexible avec de nombreuses références, les systèmes de temps prédéterminés très précis sont de moins en moins utilisés au profit de systèmes permettant une analyse plus grossière. A titre d'exemple, le nombre de personnes formées à la Méthode MTM-1 a été divisé par 2 entre les années 2000 et 2004 alors que le contraire a été observé pour la méthode MTM-2 pour la même période [6].

Certaines entreprises ont également élaboré leurs propres référentiels de temps prédéterminés, plus en relation avec leur activité spécifique ou leur permettant une conception plus rapide des modes opératoires.

## SYSTÈMES DE TEMPS PRÉDÉTERMINÉS ET ÉVALUATION ERGONOMIQUE

Comme mentionné ci-dessus, les systèmes de mesure des temps ont avant tout été introduits dans le but de rationaliser et d'améliorer la production. Si certains facteurs humains ont été pris en considération lors de l'élaboration de ces systèmes, il s'agissait non pas de rechercher une baisse des sollicita-

<sup>1</sup> Les défenseurs de la méthode de Taylor baptisés « groupe d'études des temps » ne voyaient rien de pratique dans l'approche des Gilbreth alors que les partisans de la méthode des Gilbreth, appelés « groupe d'études des mouvements » reprochaient un manque de rigueur scientifique à l'approche de Taylor.

tions mais d'essayer de tirer partie du maximum de travail qu'un opérateur pouvait fournir.

Ainsi, les premiers travaux concernaient la recherche de critères permettant de favoriser le travail des deux mains pour éviter que seule la main dominante soit sollicitée [7] ou de réduire la distance entre chaque déplacement de la main soit en disposant les composants saisis successivement les uns à côté des autres [8], soit en agencant les éléments les plus fréquemment utilisés ou les plus lourds le plus près possible de l'opérateur [9]. Même s'il était possible d'observer, dans le principe, certains bénéfices pour la charge physique de l'opérateur, ces travaux ont conduit, dans leur application, à une densification des gestes courts, à un compactage et un rapprochement des postes de travail ayant pour conséquence une diminution des possibilités d'encours entre les postes et, de ce fait, à une augmentation de la dépendance organisationnelle [10].

Ce constat illustre une des limites de l'utilisation des systèmes de temps prédéterminés vis-à-vis des conditions de travail lorsque le seul objectif visé est une réduction du temps de cycle. Il renforce l'intérêt de proposer aux agents des méthodes, des moyens complémentaires leur permettant de statuer *a priori* (sur le prescrit) sur l'existence ou non d'un risque potentiel de survenue de TMS. Ces moyens doivent, de fait, prendre en considération à la fois les temps de cycle et la charge physique associée aux modes opératoires prévus.

Les premiers travaux dans ce sens, ont été initiés par Laurig, Kühn et Schoo [11], visaient à répartir le temps attribué à chaque instruction MTM en activité motrice (mouvement qui requiert principalement de l'énergie musculaire) et en activité sensorielle (mouvement fin nécessitant un haut degré d'activités sensorielles pour ajuster le contrôle moteur). Ces recherches ont ensuite été poursuivies par Kühn et Laurig [12] avec le développement du logiciel MAID (Motion Analysis and Index Derivation). Il permettait d'extraire, toujours à partir des instructions MTM, des pourcentages de temps de cycle pendant lesquels les sollicitations étaient plutôt localisées au niveau des mains, des bras, du tronc ou durant lesquels l'opérateur

devait exercer des efforts, un contrôle visuel ou des actions impliquant une précision élevée. L'ensemble des travaux présentés ci-dessus ont ensuite été repris et complétés par Zülch et Waldhler [13] et Braun et coll. [14] à travers l'outil EMMA<sup>8</sup>. Il visait à définir l'agencement d'un poste de travail pour minimiser le temps de cycle et maximiser les six critères suivants, les quatre derniers étant directement obtenus à partir de l'analyse MTM :

- proportion des préhensions exécutées à l'intérieur d'une zone d'atteinte prédéfinie,
- proportion des préhensions réalisées dans le champ de vision (pas de mouvement de tête),
- proportion d'utilisation de la main droite et de la main gauche,
- proportion des actions de type atteindre ou déplacer exécutées simultanément par les deux mains,
- proportion des actions nécessitant un degré élevé de précision,
- proportion du temps attribué à des activités motrices et sensorielles.

De telles approches permettent de comparer les sollicitations des mains droite et gauche ou les sollicitations d'un poste de travail à un autre, mais l'absence de valeur limite d'exposition limite leur application dans le champ de la prévention des TMS.

A partir du milieu des années 90, les travaux dans ce domaine prennent une nouvelle orientation avec l'intégration d'évaluateurs ergonomiques au sein de logiciels dédiés à l'analyse de temps prédéterminés.

Ainsi, en 1993, est apparu ErgoMost combinant une analyse de temps prédéterminés de type MOST<sup>2</sup> avec un évaluateur ergonomique appelé ESI<sup>3</sup>. Cet évaluateur prend en considération les principaux facteurs de risques de survenue de TMS, à savoir la force, la posture, la répétitivité, les vibrations et le type de préhension et présente une évaluation des risques chiffrée pour le cou, les membres supérieurs et inférieurs et le dos [15].

En 2000, apparaît le logiciel ErgoSAM combinant une analyse de temps prédéterminés MTM-SAM (développée par l'association MTM suédoise) avec l'évaluateur ergonomique appelé « Modèle du cube » développé par le NIWL<sup>4</sup> [16 - 18]. ErgoSAM a été intégré dans le logiciel

IMD standard Time Data, développé par le directoire MTM international<sup>5</sup>. Le modèle du cube combine les trois facteurs - posture, force et répétitivité des gestes - pour classer la situation de travail étudiée selon trois niveaux : acceptable (vert), à surveiller (jaune) ou inacceptable (rouge).

En 2003, le module d'évaluation ergonomique ErgoMTM a été intégré dans le logiciel TiCon développé par l'association MTM allemande. Ce module permet de combiner une analyse MTM-UAS avec l'évaluateur ergonomique AAWS<sup>6</sup> développé par l'Université technologique de Darmstadt [19]. Ce dernier évaluateur ergonomique qui prend notamment en considération les principales prescriptions normatives relatives à la charge physique de l'opérateur (EN 10051, -2, -3, -4, -5) propose, au final, une cotation ergonomique de la situation de travail étudiée selon trois niveaux de couleur vert (acceptable), jaune (à surveiller) ou rouge (inacceptable).

En France, en 2003, l'évaluateur ergonomique OCRA<sup>7</sup>, proposé par Colombini [20] et Occhipinti [21], et qui est aujourd'hui préconisé par la norme NF EN 1005-5, a été intégré dans le logiciel EQUINOXE commercialisé par la société LACHEVRE (cf. Figure 1) [22]. Ce logiciel permet de combiner une analyse des temps prédéterminés de type MTM-1, -2 ou -UAS avec cet évaluateur dont la mise en œuvre repose sur l'identification et le comptage d'actions techniques (tenir, tourner, pousser, couper...). Ces dernières sont, de ce fait, directement identifiables à partir des instructions utilisées par certains systèmes de temps prédéterminés. L'indice OCRA intègre également des aspects relatifs à la posture, l'effort, la répétitivité des gestes, la durée de la tâche, la présence de facteurs additionnels, la durée de travail au poste considéré et le temps de récupération associé. Selon cet indice le mode opératoire est considéré comme acceptable, acceptable sous condition ou inacceptable.

<sup>2</sup> Maynard Operation Sequencing Technique.

<sup>3</sup> Ergonomic Strain Index.

<sup>4</sup> NIWL : National Institute for Working Life, Stockholm, Suède.

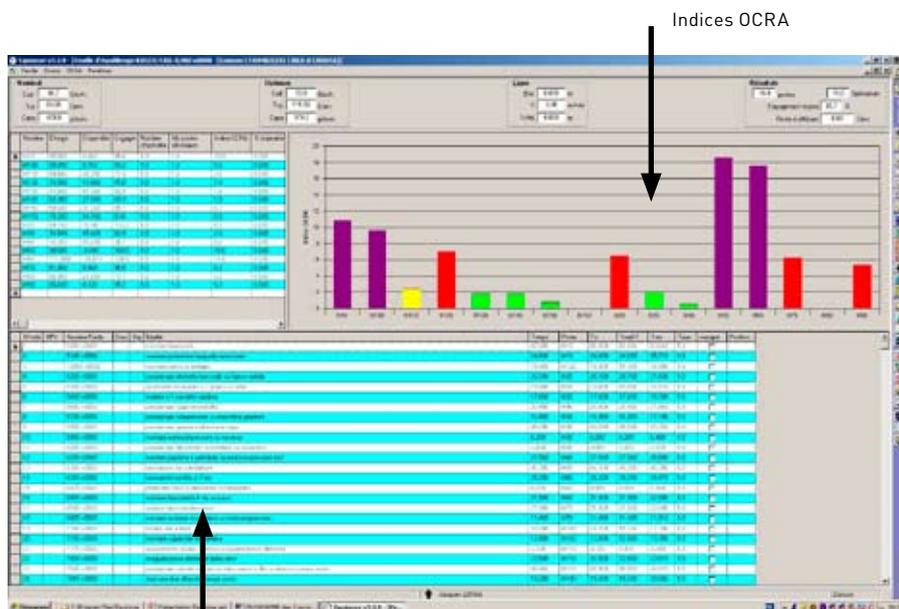
<sup>5</sup> <http://www.mtm-international.org/>

<sup>6</sup> AAWS : Automotive Assembly WorkSheet.

<sup>7</sup> Occupational Repetitive Actions.

FIGURE 1

Interface EQUINOXE [22] (reproduit avec l'autorisation du Cabinet Lachèvre)



Analyse des temps

S'il existe aujourd'hui plusieurs outils logiciels permettant de prendre en considération certains aspects liés à la charge physique des opérateurs simultanément à une analyse de temps prédéterminés, il apparaît malheureusement que ces outils sont peu utilisés, notamment par les PME/PMI. Ce constat est lié au fait que la saisie des paramètres nécessaires à l'évaluation de la charge physique (posture, effort, répétitivité) reste manuelle avec un temps d'analyse et de saisie supplémentaire important qui finit par être rédhibitoire. En effet, au stade de la conception d'un poste de travail, il est très difficile pour un concepteur, d'imaginer, pour chacune des actions constituant le mode opératoire, les postures adoptées et les efforts développés par les futurs opérateurs. Bien qu'il existe des logiciels de CAO des modules dits « mannequins numériques » qui peuvent répondre à cette difficulté, leur coût et leur complexité d'utilisation font qu'ils sont également peu adaptés aux PME/PMI.

Tout en étant conscient du potentiel de variabilité qu'il est possible de rencontrer, à cause de facteurs tels que l'âge, le sexe, l'anthropométrie, l'habileté, la stratégie gestuelle, le prescrit versus le réel, le stress..., il apparaît

néanmoins important d'essayer de proposer aux concepteurs des moyens leur permettant de saisir de façon simple et pratique ces informations. C'est dans cette perspective qu'une étude, visant à coupler une méthode d'analyse de temps prédéterminés MTM-2 (décrivant le mode opératoire des mains droite et gauche) aux évaluateurs ergonomiques proposés dans les normes NF EN 1005-4 [23] et NF EN 1005-5 a été conduite à l'INRS. La démarche, la structure de l'outil informatique développé et les principaux résultats de cette étude sont présentés ci-après.

## VERS UNE FACILITATION DE LA PRISE EN COMPTE DE LA CHARGE PHYSIQUE DANS UN CONTEXTE D'UTILISATION DE SYSTÈMES DE TEMPS PRÉDÉTERMINÉS

Partant des seules données connues au stade de la conception d'une situation de travail, à savoir le

mode opératoire prévu et le descriptif géométrique du poste de travail, l'objectif des travaux décrits ci-après visait à faciliter la saisie des informations nécessaires à la mise en œuvre des normes NF EN 1005-4 et NF EN 1005-5, à savoir les postures des membres supérieurs de l'opérateur et les efforts exercés par ce dernier.

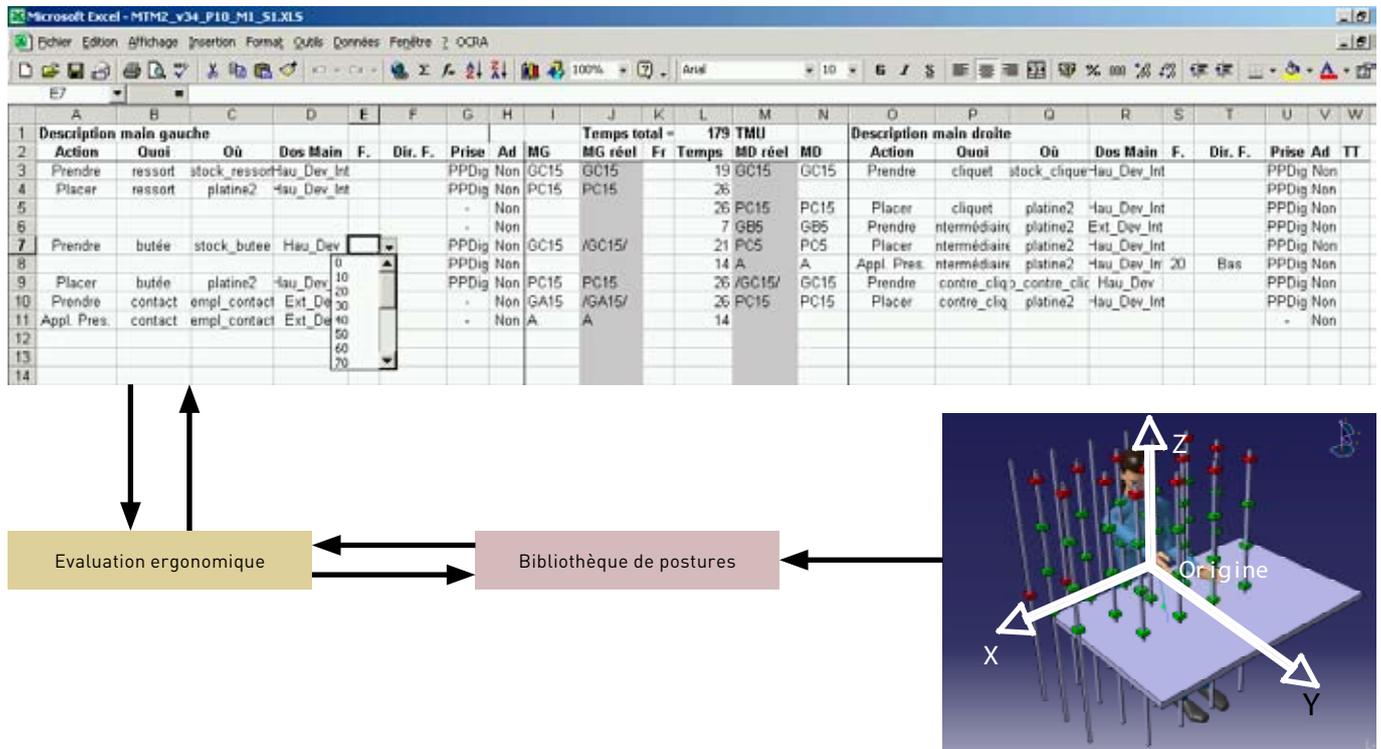
L'idée retenue est la création d'une bibliothèque de postures à l'aide d'un mannequin numérique. Pour la créer, l'espace de travail d'un poste tenu en posture assise, tel que défini par la norme NF EN ISO 1473<sup>8</sup> [24], a été quadrillé par 60 points également répartis (pas d'espacement de 200 mm) et définis par leurs coordonnées X, Y et Z (cf. Figure 2). Pour chacun de ces points, plusieurs postures d'atteintes possibles selon l'orientation de la main (par exemple, perpendiculaire au dos de la main dirigée vers le haut et axe de la main orienté vers l'avant) ont été considérées. Pour chaque combinaison « point d'atteinte x orientation de la main », les angles des différentes articulations du membre supérieur du mannequin numérique ont été enregistrés afin de constituer la bibliothèque de postures. Ainsi, il suffit de sélectionner les couples « point d'atteinte x orientation de la main » de la bibliothèque les plus proches de ceux décrits par le mode opératoire pour estimer les postures des membres supérieurs droit et gauche.

En ce qui concerne l'estimation des efforts, deux solutions pratiques ont été retenues pour leur saisie. La première consiste à estimer l'effort en valeur absolue (par exemple, poids de la pièce...). Cette solution peut être utilisée en phase très amont de la conception, à partir par exemple, d'un plan 3D. Cette valeur devra ensuite être exprimée en pourcentage d'une valeur maximale de référence pour être ensuite intégrée dans l'évaluateur OCRA utilisé par la norme NF EN 1005-5. De telles valeurs sont disponibles dans la littérature scientifique ou dans le référentiel normatif (par exemple, NF EN 1005-3). La seconde solution s'applique lorsque les pièces à assembler existent physiquement (réception d'un échantillon, réalisation d'un prototype, pièces déjà utilisées sur la ligne d'assemblage existante...). Elle consiste à demander à des opérateurs d'exprimer

<sup>8</sup> Experte zur Gestaltung Manueller Montagearbeitsplätze

FIGURE 2

## Structure de la maquette logicielle



leur ressenti sur les efforts à exercer au moyen d'une échelle d'autoévaluation de type Borg qui est graduée de 0 (effort nul) à 10 (effort extrême) [25]. Dans cette approche, la valeur de l'effort est directement exprimée en pour cent de la capacité maximale des opérateurs.

Afin de démontrer la faisabilité de l'approche proposée, une maquette logicielle a été développée. Celle-ci comprend des feuilles de saisie de type tableur, la bibliothèque de postures décrites ci-dessus et un programme exécutable, appelé « Evaluation ergonomique » (cf. Figure 2).

La feuille de saisie principale contient la description des actions prévues pour les mains gauche et droite. Elle est structurée autour de deux colonnes centrales indiquant, pour l'une la fréquence de répétition de l'action et pour l'autre, la durée de l'instruction MTM-2 et de neuf colonnes pour chacune des deux mains. Les trois premières colonnes ainsi que les 2 dernières correspondent à une analyse MTM-2 classique. Les quatre autres ont été ajoutées afin de permettre la réalisation de l'évaluation ergonomique. Pour faciliter la saisie, des listes de choix sont systé-

matiquement proposées à l'utilisateur lors de la sélection d'une cellule. Leur contenu est soit figé par l'application (par exemple, la direction de l'effort, soit saisi par l'utilisateur dans d'autres feuilles du tableur au début de l'analyse (les colonnes « Quoi » et « Où » du Tableau I).

Une fois le mode opératoire complètement décrit, l'utilisateur exécute le programme « Evaluation ergonomique » dont les principales fonctions sont :

- l'identification automatique, à partir des codes MTM-2, des actions techniques nécessaires à l'évaluation ergonomique décrite dans la norme NF EN 1005-5,
- la caractérisation de la répétitivité des actions à partir du temps de cycle et des codes MTM-2,
- la recherche, à partir des informations contenues dans les colonnes « Où » et « Dos main », des postures les plus proches contenues dans la bibliothèque,
- la transformation des efforts saisis en valeurs absolues afin qu'ils soient exprimés en pour cent des valeurs maximales de référence définies par la norme NF EN 1005-3,

■ le calcul et le stockage des évaluations ergonomiques telles que définies par les normes NF EN 1005-4 et NF EN 1005-5.

Un premier niveau de validation de l'approche proposée a été mené sur neuf situations de travail réelles d'assemblage de composants pour l'industrie automobile. L'activité a été évaluée manuellement codée en langage MTM-2, puis évaluée à partir de la maquette logicielle décrite ci-dessus.

A titre d'exemple, les indices OCRA calculés par la maquette logicielle et ceux issus de l'observation sont rapportés dans le Tableau II.

Une analyse par régression linéaire entre ces séries de valeurs montre un coefficient de corrélation  $r^2$  de 0,94 indiquant un comportement cohérent de la maquette logicielle par rapport à l'évaluation de la situation réelle. Les différences observées dans le Tableau II, entre les deux séries de valeurs s'expliquent notamment par le fait que les temps de cycle mesurés lors de l'observation étaient légèrement différents de ceux issus de l'analyse en langage MTM-2.

**TABLEAU I**

**Structure de la feuille de saisie principale**

| Colonne  | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Action   | Verbe décrivant l'Instruction MTM-2 ( par exemple, prendre, placer, appliquer pression...).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Quoi     | Objets utilisés dans le mode opératoire (par exemple, visseuse, vis, rondelle...). Le nom de ces objets est saisi dans une autre feuille du tableur au début de l'analyse et apparaît dans une liste de choix lorsqu'une cellule de cette colonne est sélectionnée.                                                                                                                                                                                                                               |
| Où       | Localisation où les mains du futur opérateur vont se positionner au cours de la tâche (par exemple, bac de rondelles, support visseuse, platine de travail...). Le nom de ces localisations ainsi que leurs coordonnées X, Y et Z sont saisis dans une autre feuille du tableur au début de l'analyse et sont ensuite utilisées pour la recherche des postures dans la bibliothèque. Ces localisations apparaissent dans une liste de choix lorsqu'une cellule de cette colonne est sélectionnée. |
| Dos main | Orientation du dos de la main à la fin de l'action. Ces orientations apparaissent dans une liste de choix lorsqu'une cellule de cette colonne est sélectionnée.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| F.       | Amplitude de l'effort exercé par l'opérateur. Cette valeur peut être saisie soit en valeur relative, soit en valeur absolue qui est ensuite référencée par rapport aux valeurs de référence contenue dans la norme NF EN 1005-3.                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Dir. F.  | Direction de l'effort exercé par l'opérateur.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Prise    | Type de prise (pince, palmaire, crochet...).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Ad.      | Présence de facteurs additionnels tels que l'utilisation d'outils vibrants, le port de gants, le travail au froid...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| MG       | Code MTM-2 correspondant à l'action envisagée.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| MG réel  | En cas d'actions simultanées de la main droite et de la main gauche, le code MTM-2 de la main dont l'action est la plus courte apparaît entre 2 traits obliques (/.../) afin d'indiquer que le temps associé à cette action n'a pas été retenu dans l'analyse.                                                                                                                                                                                                                                    |

**TABLEAU II**

**Comparaison des indices OCRA obtenus à l'aide de la maquette logicielle avec ceux issus de l'observation de la situation réelle**

| Situation de travail | Main gauche |             | Main droite |             |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                      | Maquette    | Observation | Maquette    | Observation |
| SIT 1                | 4,4         | 4,8         | 7,9         | 7,9         |
| SIT 2                | 6,2         | 6,6         | 8,6         | 9,3         |
| SIT 3                | 6,1         | 5,7         | 9,3         | 8,5         |
| SIT 4                | 7,2         | 6,7         | 7,2         | 6,7         |
| SIT 5                | 7,0         | 6,7         | 4,7         | 4,5         |
| SIT 6                | 14          | 14,5        | 4,7         | 4,5         |
| SIT 7                | 6,9         | 6,8         | 6,9         | 6,7         |
| SIT 8                | 5,1         | 4,8         | 6,0         | 5,7         |
| SIT 9                | 2,8         | 2,7         | 7,1         | 6,8         |

Ces premiers résultats sont très encourageants et permettent d'envisager la poursuite de la phase de validation avec :

- l'évaluation de situations de travail où la posture principale de travail n'est pas la posture assise, mais debout ou assis-debout (nécessité de compléter ou non la base de données de postures existantes),

- l'analyse de l'impact du pas de quadrillage retenu (200 mm) sur le résultat de l'évaluation ergonomique,

- la compatibilité de l'approche avec d'autres systèmes de temps pré-

déterminés qui ne prennent en considération que la main dominante ou qui sont trop globaux pour permettre une identification des actions techniques au sens de la norme NF EN 1005-5.

**CONCLUSION**

Cette revue de littérature a permis de dresser un état de l'art des travaux et développements logiciels menés sur

l'association systèmes de temps prédéterminés /évaluateurs ergonomiques et de proposer des pistes pour des évolutions, notamment pour faciliter la saisie des paramètres nécessaires à l'évaluation ergonomique, *via* l'utilisation d'une bibliothèque de postures.

En utilisant ce type d'outils, les concepteurs de lignes d'assemblage pourraient contribuer de façon plus efficace à une conception de situations de travail moins pénibles pour les futurs utilisateurs mais également se positionner en tant qu'acteur au sein de la démarche globale de prévention des TMS. Toutefois, pour être réellement efficace, ce type d'engagement doit être accompagné d'une double condition :

- il faut que les dirigeants d'entreprises offrent plus de marges de manœuvre à leurs concepteurs pour qu'ils puissent agir efficacement lorsque l'évaluation de la future situation de travail n'est pas acceptable (augmentation du nombre de postes de travail, donc d'opérateurs, réduction de la cadence de la future ligne de production) ;

- il faut que les concepteurs soient conscients que cette évaluation ergonomique est menée sur un travail prescrit (et non sur le travail réel) et ne considère que les facteurs de risques biomécaniques de TMS. De ce fait, une telle démarche ne peut constituer qu'une aide

à l'identification de certaines situations à risque en phase de conception d'une ligne d'assemblage et doit être accompagnée d'une évaluation de la situation réelle une fois celle-ci en production.

Enfin, il est important de souligner que cet article ne vise pas à promouvoir l'utilisation de systèmes de temps prédéterminés pour la conception des

lignes d'assemblage, mais à sensibiliser les entreprises qui utilisent ces systèmes aux possibilités qui existent pour compléter leur analyse des temps par une analyse de la charge physique associée au mode opératoire prévu. D'autres outils, notamment développés par le réseau prévention, sont également disponibles pour les entreprises qui n'utilisent pas les systèmes de temps

prédéterminés et qui souhaiteraient effectuer la même démarche (par exemple, l'outil CAPTMS développé par la CRAM Alsace-Moselle<sup>9</sup>).

Reçu le : 30/06/2009

Accepté le : 06/08/2009

<sup>9</sup> <http://www.cram-alsace-moselle.fr/Prevent/formatio/forma19.html>

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Directive 98/37/CE. – Directive 98/37/CE du 22 juin 1998 concernant le rapprochement des législations des états membres relatives aux machines, Journal officiel des Communautés européennes n° L 207 du 23/07/98 – 46 p.
- [2] ROGER T., BOURGEOIS C., JACCOTTEY M., JULOT O., NOEL J., OUVREARD C., VENEZIA L. – *Mise en place d'une politique en ergonomie pour la prise en compte de l'évolution de la population ouvrière et des métiers à P.S.A. Peugeot-Citroën*, Comptes rendus du congrès SELF-ACE, 2001, vol 2. pp. 188-194.
- [3] NF EN 1005-5 – *Sécurité des machines – Performance physique humaine – Partie 5 : Appréciation du risque relatif à la manutention répétitive à fréquence élevée*, Association Française de Normalisation (AFNOR), La Plaine Saint-Denis, France, 2007, 73 p.
- [4] KARGER D.W., BAYHA F. H. – *La mesure rationnelle du travail - MTM et systèmes de temps prédéterminés*, Gauthier-Villars Ed., ISBN 2-04-004469-2, 1975, 424 p.
- [5] CARAGNO G., FISHER H. – *MTM - first time right*, International MTM Directorate Ed. German MTM Association, ISBN 3-9809466-0-6, 2005, 135 p.
- [6] Association MTM Française – *Communication personnelle*. Décembre 2006.
- [7] KENGSKOOL K., GOLDMAN J., LEONARD M. – *An expert system for human operator's workplace design*, Trends in Ergonomics/Human Factors IV, Asfour S. (Ed). Elsevier Science Publishers, Netherland, 1987, pp. 567-573.
- [8] CHOON H. N. , EK T. L. – *Computer-Aided workplace layout and line balancing*, Computer-Aided Ergonomics – A Researcher's Guide, W. Karwowski, A. M. Genaidy and S. S. Asfour (Eds), Taylor & Francis, Londres, 1990, pp. 181-193.
- [9] PHAM D. T., ONDER H. H. – *A knowledge-based system for optimizing workplace layouts using a genetic algorithm*, Ergonomics, 35, 12, 1992, pp.1479-1487.
- [10] HUBAULT F., BOURGEOIS F. – *Disputes sur l'ergonomie de la tâche et de l'activité ou la finalité de l'ergonomie en question*, @ctivités, vol.1, n°1, 2004, pp. 34-53.
- [11] LAURIG W., KÜHN F. M., SCHOO K. C. – *An approach to assessing motor workload in assembly tasks by the use of predetermined-motion-time systems*, Applied Ergonomics, 16, 2, 1985, pp. 119-125.
- [12] KÜHN F. M., LAURIG W. – *Computer-aided workload analysis using MTM*, Computer-Aided Ergonomics – A Researcher's Guide, W. Karwowski, A. M. Genaidy and S. S. Asfour (Eds), Taylor & Francis, Londres, 1990, pp. 226-227.
- [13] ZÜLCH G., WALDHIER T. – *Integrated computer aided planning of manual assembly systems*, Computer Applications in Ergonomics, Occupational Safety and Health. Mattila M. and Karwowski W. (Eds). Elsevier Science Publishers B. V., Netherlands, 1992, pp. 159-166.
- [14] BRAUN W. J., REBOLLAR R., SCHILLER E. F. – *Computer aided planning and design of manual assembly*, International Journal of Production Research, 34(8), 1996, pp. 2317-2333.
- [15] WILK J. R. – *Work Stress Quantification and evaluation using ErgoMOST™*, International Encyclopaedia of Ergonomics and Human Factors. Karwowski W. Ed, Taylor and Francis, 2001, pp. 1915-1919.
- [16] CHRISTMANSSON M., LALCKA C., AMPRAZIS J., FORSMAN M., RASMUSSEN L., KADEFORS R. – *Modified method time measurements for ergonomic planning of production systems in manufacturing industry*, International Journal of Production Research, 38, 17, 2000, pp. 4051-4059.
- [17] LARING J., FORSMAN M., KADEFORS R., ÖRTENGREN R. – *MTM-Based ergonomic workload analysis*, International Journal of Industrial Ergonomics, 30, 2002, pp. 135-148.
- [18] LARING J., CHRISTMANSSON M., KADEFORS R., ÖRTENGREN R. – *ErgoSAM: A preproduction risk identification tool*, Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 15(3), 2005, pp. 309-325.
- [19] WINTERG. , SCHAUB K. H., BRUDER R., LANDAU K. – *The application of an ergonomic screening-tool AAWS to support design engineers in product and process development*, Conférence NES 2008, Août 2008, Reykjavik, Islande.
- [20] COLOMBINI D. – *An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limb*, Ergonomics, 41, 9, 1998, pp. 1261-1289.
- [21] OCCHIPINTI E. – *OCRA : a concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limbs*, Ergonomics, 41, 1998, pp. 1290-1311.
- [22] LONGA J., LACHEVRE J.-P. – *EQUINOXE*. Conférence TMS et MTM organisée par l'Association MTM Française, Octobre 2005, Paris.
- [23] NF EN 1005-4 – *Sécurité des machines – Performance physique humaine – Partie 4 : évaluation des postures et mouvements lors du travail en relation avec les machines*, Association Française de Normalisation (AFNOR), La Plaine Saint-Denis, France, 2005, 73 p.
- [24] NF EN ISO 14738 – *Sécurité des machines – Prescriptions anthropométriques relatives à la conception des postes de travail sur les machines*, Association Française de Normalisation (AFNOR), La Plaine Saint-Denis, France, 2003, 73 p.
- [25] BORG G. – *Psychophysical scaling with application in physical work and the perception of exertion*, Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 16 (Suppl. 1), 1990, pp. 55-58.