

COMPARAISON DE TROIS MODES D'EXECUTION DU TRAVAIL DANS LE CADRE DE LA PREVENTION DES TROUBLES MUSCULO- SQUELETTIQUES SUR UNE LIGNE DE MONTAGE DE GROS COMPOSANTS

Frédérique FRAIGNEAU, David ROUFFET, Jean-Louis FLORES.
Laboratoire d'Ergonomie – Université Claude Bernard Lyon 1
42 boulevard du 11 novembre 1918, Bât Raphaël Dubois, 69622 Villeurbanne Cedex
Tel : 0472446204 e-mail : fraigneau@ergo.univ-lyon1.fr

RESUME

Cette étude a comme objectif d'analyser les contraintes sur une ligne de montage de composants en fonction de trois modes d'exécution du travail envisageables. Trois niveaux ont été considérés à savoir : l'évaluation subjective des salariées par rapport à ces modes d'exécution, les temps d'exécution des produits et le niveau d'astreintes biomécaniques mesuré sur les trois salariées travaillant sur cette ligne.

Les résultats de cette étude ont été présentés en comité de pilotage. Ceci afin d'apporter une aide décisionnelle quant au choix d'organisation de la ligne.

Sommaire

INTRODUCTION	3
1.1 Contexte, origine et objectifs.....	3
1.2 Description de la ligne HELIOTHERME concernée	4
1.3 Description des tâches réalisées par postes.....	5
II. METHODOLOGIE.....	6
2.1 Population	7
2.2 Protocole	7
2.2.1 Observables (Variables dépendantes)	7
1) Evaluation subjective	8
2) Données biomécaniques.....	8
3) Evaluation temps de cycle	8
2.2.2 Méthode d'acquisition de données	8
1) Evaluation subjective	8
2) Enregistrement kronos	9
3) Electromyographie	9
4) Goniomètres.....	9
5) Vidéo.....	9
III. RESULTATS.....	10
3.1 Evaluation subjective.....	10
3.1.1 Cotation de l'effort	11
3.1.2 Cotation de la répétitivité	12
3.1.3 Cotation du niveau de compétences requises et de risque d'erreur.....	12
3.1.4 Cotation de la monotonie	12
3.1.5 Cotation des piétinements	12
3.1.6 Cotation de la contrainte temporelle	12
3.1.7 Cotation de la précision.....	13
3.1.8 Cotation de la rapidité d'exécution	13
3.2 Estimation des temps de montage en fonction du mode	13
3.3 Niveaux d'astreintes biomécaniques relevés	16

3.3.1. Electromyographie	16
1) Niveau d'effort musculaire moyen au cours du travail	16
2) Altération de l'état de relaxation musculaire après travail.....	17
3.3.2 Niveau d'exposition aux gestes à risques.....	18
1) Flexion du poignet.....	18
2) Extension du Poignet	19
3) Comparaison Flexion vs. Extension du Poignet.....	19
4) Mouvements combinés du poignet	20
5) Compression mécanique au niveau de la paume de la main droite.....	20
CONCLUSION	21

INTRODUCTION

1.1 Contexte, origine et objectifs

Fabricant d'équipements de climatisation et de traitement d'air pour les secteurs tertiaires, industriels et résidentiels, le groupe industriel au sein duquel nous avons réalisé cette étude poursuit son développement international. Son CA est de 200 Millions d'euros dont 46% en international. Il possède quatre sites de production au niveau national avec plus de 800 salariés en production. A trois ans, le groupe entend poursuivre sur un rythme de croissance régulière de 8 % à 10 % par an.

C'est pourquoi la Direction développe en concertation avec le R&D et les bureaux méthodes des axes de transformations sur plusieurs points :

- mise en œuvre de nouveaux outils de calcul de temps ;
- processus de fabrication ;
- évolution de la maîtrise de proximité ;
- évolution en matières de compétences.

Depuis 3 ans, nous menons un accompagnement durable sur la prévention des TMS au sein de cette entreprise. Le Directeur des ressources humaines et le Médecin du travail étaient à l'origine de la demande induite par une évolution inquiétante des TMS. Le coût direct des MP et AT sur l'exercice 2001 s'élevait à 2.882.000 Euros. Une recherche de solutions dépassant le cadre des modifications sur la nature des outils et équipements et d'aménagements de poste avait été négociée au préalable. Un travail sur des facteurs plus fondamentaux devait être élaboré : analyse des temps de cycle, organisation du flux, ordonnancement des ordres de fabrication (OF), intégration de l'ergonomie dès la conception du produit et du procédé de fabrication associé, critères à considérer dans le cadre des rotations sur postes...

Après avoir validé notre méthodologie d'action compatible avec la culture d'entreprise et nous être assurés d'un engagement vers une action collective auprès du comité de pilotage¹, nous avons mené une étude sur un site pilote, touché particulièrement par une très nette augmentation des MP inscrite au tableau n°57.

Cette conduite de projet participative s'est déroulée en plusieurs phases : entretiens avec 83 salariés ; analyse de l'existant sur les lignes ; formation du groupe projet² ; élaboration des plans d'actions avec spécifications des avantages et inconvénients de chacune des solutions proposées par les groupes projet ; budgétisation ; mise en œuvre et suivi des solutions technico organisationnelles ; élargissement de la démarche sur d'autres unités. La très forte construction sociale de cette intervention a sans doute été le catalyseur d'une action ayant débouché sur des actions concrètes et pérennes.

Cet article se focalise sur une partie de l'étude plus spécifique. Cette dernière est axée sur un objectif d'aide au choix quant à des axes de transformations envisageables sur trois modalités d'exécution d'une tâche sur une ligne de montage.

¹ Ce **comité de pilotage** réunissait les Directeurs de service (DG, DRH, Directeur production UT, Directeur du département UT, Directeur des méthodes industrielles, Directeur Service généraux maintenance, Directeur des process, investissements), Représentants du Bureau des méthodes centrales, Médecin du travail, secrétaire et membres du CHSCT, Responsable d'équipe HELIOTHERME, l'ingénieur sécurité, Responsables ateliers, Responsables atelier montage UT, responsable atelier tôlerie, responsable Bureau d'étude, Responsable des Méthodes production, Représentant du Bureau d'études UT.

² Le **groupe projet** était constitué par le Médecin du travail (chef de projet interne), Responsable du secteur UTA (4 lignes de production), Responsable BM du secteur, Responsable ou délégué BE du secteur, Secrétaire CHSCT ou délégué, Responsable du bureau des méthodes centrale, Ingénieur sécurité, Responsable de l'atelier tôlerie lorsque concerné, Responsable de l'équipe concernée, 2 salariées par lignes, invités : responsable achats, logistique, cariste, etc.

Trois critères ont été considérés à savoir : l'évaluation subjective des salariées par rapport à ces modes d'exécution du travail, les temps chronométrés d'exécution des produits et le niveau d'astreintes biomécaniques mesuré sur les trois salariées travaillant sur cette ligne.

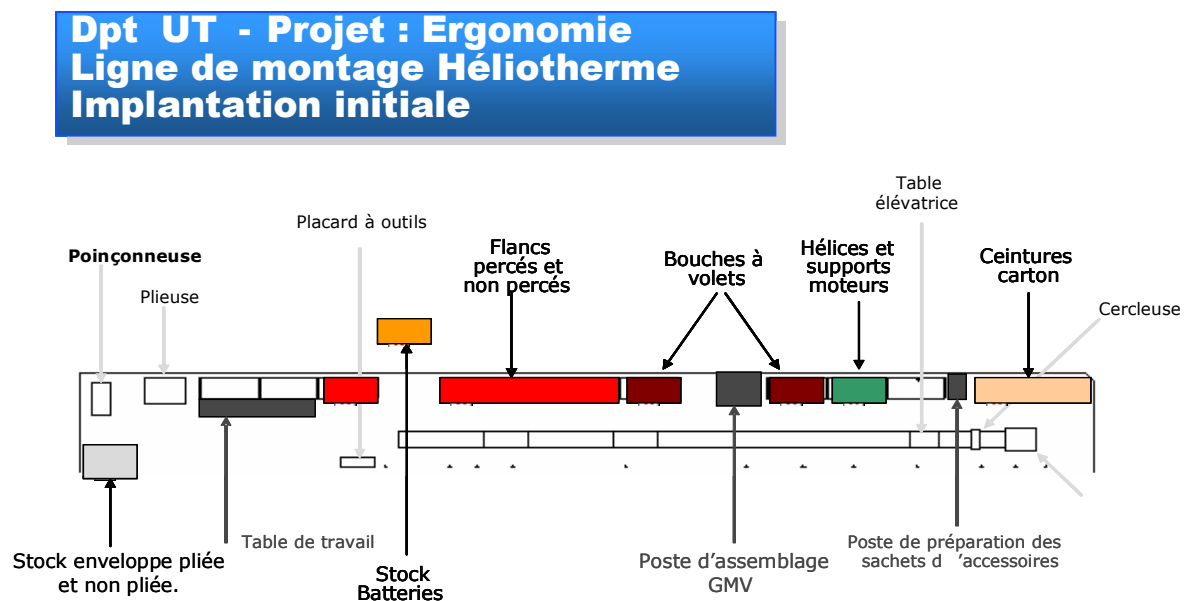
1.2 Description de la ligne concernée

Il s'agit d'une ligne de montage en flux tendu d'ensemble non standard à petits flux. Le mode de calcul des temps a été réalisé sur quatre postes dans une configuration à trois salariées. Néanmoins, le plus souvent, une seule y travaille et s'organise sans cadre prescrit au niveau du montage des appareils. Le mode d'exécution du travail par rafales de 10 produits en poste à poste est le plus répandu quel que soit la salariée et son niveau d'expertise.

Historiquement, selon le médecin du travail, cette ligne est génératrice de pathologies péri articulaires.

L'ensemble des salariées de la ligne exprime des douleurs localisées au niveau des deux épaules, des poignets et du bas du dos. Selon elles, ces douleurs sont inhérentes aux appuis en force qu'elles doivent générer lors de perçage de tôles décalées notamment lors des vissages des flancs et des bouches à volets.

Figure n°1 : schéma d'implantation de la ligne de montage Hélioherme et flux de production associé



Poste n° 1 :	Poste n° 2 :	Poste n° 3 :	Poste n° 4 :
Montage batterie avec enveloppes	Montage flancs	Montage moteurs	Emballage
<u>Début cycle</u> : Prise de la planche	<u>Début cycle</u> : Prise flanc sur étagère	<u>Début cycle</u> : Prise du moteur pour extraction emballage	<u>Début cycle</u> : Prise de la ceinture de protection hélice
<u>Fin de cycle</u> : dernier positionnement du vis sur la planche	<u>Fin de cycle</u> : vissage flanc arrière	<u>Fin de cycle</u> : Fixation bouches à volets	<u>Fin de cycle</u> : Fin emballage

1.3 Description des tâches réalisées par postes

La décomposition des opérations sur les 4 postes de la ligne est la suivante.

Poste n°1 montage batterie avec enveloppes

- ✳ Acheminer une palette d'enveloppes
- ✳ Acheminer une palette de batterie
- ✳ Déposer 2 planches de protection sur la ligne
- ✳ Défaire l'emballage des enveloppes
- ✳ Déposer 1ere enveloppe en début de ligne
- ✳ Déposer seconde enveloppe après la 1^{ère}
- ✳ Déposer troisième enveloppe après la seconde
- ✳ Déposer quatrième enveloppe après la troisième
- ✳ Déposer cinquième enveloppe après la quatrième
- ✳ Défaire l'emballage des batteries
- ✳ Prendre une batterie au palan et la déposer sur l'enveloppe
- ✳ Transférer la série

Poste 2 : montage flancs

- ✳ Coucher la batterie sur son enveloppe
- ✳ Positionner les clufix côté colombier
- ✳ Sertir les clufix côté colombier
- ✳ Positionner les clufix côté colombier
- ✳ Sertir les clufix côté colombier
- ✳ Faire le tour de la ligne
- ✳ Sertir les clufix côté route
- ✳ Emboîter la batterie dans l'enveloppe
- ✳ Déposer les 8 vis H de fixation (+ rondelles) et les 2 anneaux de levage
- ✳ Viser à la main les éléments de fixation côté colombier
- ✳ Faire le tour de la ligne
- ✳ Viser à la main les éléments de fixation côté route
- ✳ Prendre une étiquette de contrôle et la remplir
- ✳ Coller l'étiquette de contrôle sur la batterie
- ✳ Transférer l'ensemble à proximité du stock de bouche à volets

Poste 3 : montage moteurs

- ✳ Positionner une bouche à volets
- ✳ Déposer les deux flancs
- ✳ Positionner le flanc côté colombier
- ✳ Fixer le flanc et la bouche à volet (5 vis tôle)
- ✳ Fixer le flanc (2 vis tôle)
- ✳ Faire le tour de la ligne
- ✳ Décoller le film plastique du flanc
- ✳ Coller l'autocollant CIAT sur le flanc
- ✳ Positionnement du flanc
- ✳ Fixer le flanc et la bouche à volets (5 vis tôle)
- ✳ Fixer le flanc (2 vis tôle)
- ✳ Refaire le tour de la ligne
- ✳ Retourner l'appareil
- ✳ Fixer le flanc (2 vis tôle)
- ✳ Faire le tour de la ligne
- ✳ Fixer le flanc (2 vis tôle)

Poste 4 : emballage

II. METHODOLOGIE

Trois salariées ont réalisé des montages d'appareils sur un même produit 2400 & 2350 selon trois modalités d'exécution :

- montage en rafales de 8 en postes par postes (Mode 1 : M1) (Fig.2) ;
- montage unitaire poste par poste (Mode 2 : M2) (Fig. 3);
- sous montage sur un poste (Mode 3 : M3) (Fig.4).

Les mesures ont toutes été prises en début de poste jusqu'à la pause.

La définition des 3 modes d'exécution du travail étudiés est relatée sur les figures 2 à 4.

Figure n°2 : Mode 1 (M1) : montage en série (rafales) de 8 en postes par postes

Poste n° 1 :	Poste n° 2 :	Poste n° 3 :	Poste n° 4 :
Montage batterie avec enveloppes	Montage flancs	Montage moteurs	Emballage
<u>Début cycle</u> : Prise de la planche	<u>Début cycle</u> : Prise flanc sur étagère	<u>Début cycle</u> : Prise du moteur pour extraction emballage	<u>Début cycle</u> : Prise de la ceinture de protection hélice
<u>Fin de cycle</u> : dernier positionnement du vis sur la planche	<u>Fin de cycle</u> : vissage flanc arrière	<u>Fin de cycle</u> : Fixation bouches à volets	<u>Fin de cycle</u> : Fin emballage

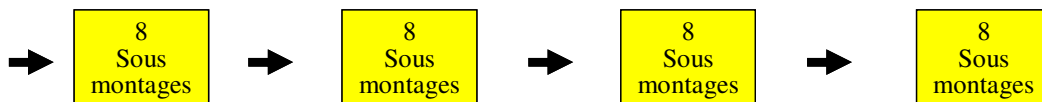


Figure n° 3 : Mode de rotation 2 (M2) : montage unitaire poste par poste

Poste n° 1 :	Poste n° 2 :	Poste n° 3 :	Poste n° 4 :
Montage batterie avec enveloppes	Montage flancs	Montage moteurs	Emballage
<u>Début cycle</u> : Prise de la planche	<u>Début cycle</u> : Prise flanc sur étagère	<u>Début cycle</u> : Prise du moteur pour extraction emballage	<u>Début cycle</u> : Prise de la ceinture de protection hélice
<u>Fin de cycle</u> : dernier positionnement du vis sur la planche	<u>Fin de cycle</u> : vissage flanc arrière	<u>Fin de cycle</u> : Fixation bouches à volets	<u>Fin de cycle</u> : Fin emballage

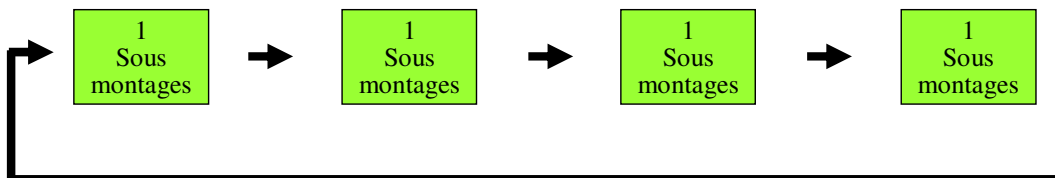
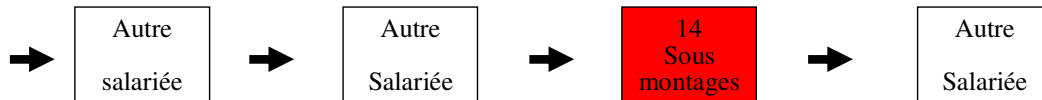


Figure n° 4 : Mode 3 (M3) : sous montage sur un poste : poste avec la fréquence de sous opérations la plus importante

Poste n° 1 :	Poste n° 2 :	Poste n° 3 :	Poste n° 4 :
Montage batterie avec enveloppes	Montage flancs	Montage moteurs	Emballage
Début cycle : Prise de la planche	Début cycle : Prise flanc sur étagère	Début cycle : Prise du moteur pour extraction emballage	Début cycle : Prise de la ceinture de protection hélice
Fin de cycle : dernier positionnement du vis sur la planche	Fin de cycle : vissage flanc arrière	Fin de cycle : Fixation bouches à volets	Fin de cycle : Fin emballage



2.1 Population

Les caractéristiques de la population sont les suivantes.

Tableau n° 1 : Caractéristiques des salariées

Sujets	S1	S2	S3
Niveau d'expertise	Experte	Experte	Experte
Age (ans)	38	30	23
Expérience (ans)	4	3.6	1,5
Taille (cm)	159	162	161

Tableau n° 2 : moment d'enregistrement des astreintes biomécaniques

Equipe	Mercredi 21	Jeudi 22	Lundi 26	Mardi 27	Mercredi 28	Mardi 3
Matin	S1 Mode rotation 1	S3 Mode rotation 1		S1 Mode rotation 3		S2 Mode rotation 2
Après midi	S2 Mode rotation 1	S2 Mode rotation 3	S1 Mode rotation 2	S3 Mode rotation 2	S3 Mode rotation 3	

2.2 Protocole

2.2.1 Observables (Variables dépendantes)

Les données relevées sont les suivantes.

1) Evaluation subjective

1) A préalable aux enregistrements, chaque salariée cote les douleurs ressenties, leur localisation et leurs représentations sur les opérations qui pourraient en être à l'origine sur une échelle en 10 points au moyen d'une échelle proposée par Latko & coll (1997) bornée de 0 (nul) à 10 (maximum).

2) Après réalisation du travail, la salariée évalue subjectivement un niveau d'astreintes rencontré pour chacune des trois modalités de rotation.

Les critères étudiés sont les suivants :

- Niveau de pénibilité physique (effort, postures) ;
- Répétitivité ;
- Degré d'apprentissage ;
- Compétences requises ;
- Piétinement au poste ;
- Contraintes temporelles ;
- Précision requise ;
- Risque d'erreur possible ;
- Degré de monotonie ;
- Rapidité d'exécution³.

2) Données biomécaniques

Les données biomécaniques relevées ont permis de définir le niveau d'astreinte physique auquel les salariées sont exposées lors de leur travail selon différents types de mode de rotation.

3) Evaluation temps de cycle

- Durée d'exécution de 8 appareils sur les trois modes pour l'ensemble des postes : enregistrements des temps mesurés et des temps fréquentiels ;
- Durée totale d'exécution de huit sous montages sur le poste 3 pour tous les modes : idem.

2.2.2 Méthode d'acquisition de données

1) Evaluation subjective

La perception concernant les astreintes liées au mode d'exécution du travail est abordée en fonction de plusieurs variables : effort, répétitivité, apprentissage, compétences, risque d'erreur, monotonie, difficultés, déplacement sur poste, contraintes temporelles, contraintes de précision et possibilité de réalisation des objectifs de production (rapidité d'exécution). Une échelle d'évaluation bornée de 0 (nulle) à 10 (extrêmement forte) est proposée aux salariées.

³ Indicateurs N. Vezina.

2) Enregistrement kronos

Des enregistrements informatiques kronos sur poste nous ont permis d'analyser le % de durée des temps de cycle alloués à chacun des postes et à chacune des opérations associées.

3) Electromyographie

Une chaîne d'acquisition électromyographique a été utilisée afin de déterminer l'intensité des efforts musculaires accomplis par les salariées au cours de leur travail. L'activité électromyographique (EMG) de 4 muscles des épaules a été analysée grâce à l'utilisation du système FlexComp Infiniti (« Though Technology »). Les muscles enregistrés ont été les suivants : muscle Deltoïde Droit ; muscle Deltoïde Gauche ; muscle Trapèze Droit et muscle Trapèze Gauche. Les enregistrements ont été effectués au cours des situations de travail sans occasionner aucune gêne pour les salariées grâce à un système de stockage des données sur une carte mémoire contenue dans un boîtier fixé sur la ceinture des salariées. Les signaux EMG ainsi enregistrés ont ensuite été transférés sur ordinateur afin d'être analysés au moyen du logiciel de traitement « Biograph Infiniti ». Les signaux bruts ont été échantillonnés à une fréquence de 2048Hz avant traitement pour obtenir des valeurs RMS (Root Mean Square). Le niveau de sollicitation des différents muscles a été déterminé à partir de la valeur RMS exprimée en pourcentage de celle obtenue au cours d'une contraction maximale volontaire (FMV) isométrique réalisée contre une résistance manuelle avant le début du travail.

4) Goniomètres

Une analyse fine des mouvements accomplis par les salariées au niveau des articulations distales du membre supérieur a été réalisée grâce à l'utilisation de goniomètres. L'utilisation d'une technologie télémétrique a permis aux salariées de travailler avec ces capteurs sans provoquer aucune gêne dans leur travail. Les données obtenues au moyen de ces capteurs étaient transmises depuis le boîtier fixé à la ceinture jusqu'à un ordinateur portable pour visualisation en direct des signaux. La fréquence d'échantillonnage des signaux recueillis au moyen de ces capteurs était de 25Hz.

Les goniomètres étaient reliés à un boîtier fixé à la ceinture des salariées, soit :

- 1 Goniomètre 2 axes Biometrics « SG110 » positionné au niveau de l'articulation du poignet pour mesurer les mouvements de flexion/extension ainsi que de déviation ulnaire/cubitale.
- 1 Goniomètre 1 axe Measurand Inc. « S 700 » positionné au niveau du coude pour mesurer l'angle de flexion.
- 1 capteur de pression positionné au niveau de la paume de la main droite.

5) Vidéo

Nous avons utilisé deux caméras numériques associées au Logiciel CAPTIV L-3000. Ce logiciel nous a permis de synchroniser a posteriori les données cinématiques (goniomètres) et cinétiques (capteurs de pression) avec les enregistrements vidéo et les données EMG. Ceci nous a permis de faire le lien entre le niveau d'astreinte biomécanique enregistré et les activités associées.

III. RESULTATS

3.1 Evaluation subjective

Le tableau n°3 relate les cotations obtenues.

Tableau n°3 : cotation subjective des niveaux d'astreintes par les salariées en fonction des trois modes d'exécution du travail (N= 3)

Critères	M1	M1	M1	M2	M2	M2	M3	M3	M3
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Effort	8	5	2	4	3	2	10	6	7
Répétitivité	2	2	2	0	5	0	4	6	5
Apprentissage	4	3	2	4	3	2	4	3	2
Compétences	4	2	4	4	2	2	4	2	6
Risque Erreur	6	6	7	6	8	0	6	4	7
Monotonie	3	0	4	0	10	5	6	4	7
Difficultés	8	4	3	8	4	3	10	4	3
Piétinement	6	3	4	2	8	5	10	3	6
Temporelles	4	7	5	0	9	2	8	9	6
Précision	4	3	4	4	5	2	5	4	6
Rapidité Exécution	8	9	6	9	2	2	8	10	7

M= mode

S = salariées

Dans un premier temps, on observe que **le niveau d'astreinte évalué n'est pas identique en fonction du mode**. Néanmoins, le mode d'exécution du travail n'aurait pas d'incidence en terme d'apprentissage pour les salariées 2 et 3. On note également que **la différence entre les modes 1 et 3 s'avère moins marquée par rapport au mode 2**.

Considérons maintenant le niveau de cotation différentiel entre chaque mode.

Tableau n°4 : somme des écarts de cotation entre le M1 et M2 (N= 3)

CRITERES	M1-M2	M1-M2	M1-M2	Σ M1-M2	Remarques
	S1	S2	S3		
Effort	4	2	0	6	M1 avec + d'effort que M2
Répétitivité	2	-3	2	1	
Compétences	0	0	2	2	
Risque Erreur	0	-2	7	5	M1 avec risque erreur + important
Monotonie	3	-10	-1	-8	M2 + monotone que M1
Piétinement	4	-5	-1	-2	
Temporelles	4	-2	3	5	M1 avec pression collègue + importante
Précision	0	-2	2	0	
Rapidité Exécution	-1	7	4	10	M1 + rapide que M2

Tableau n°5 : somme des écarts de cotation entre le M2 et M3 (N= 3)

CRITERES	M2-M3	M2-M3	M2-M3	Σ M2-M3	Remarques
	S1	S2	S3		
Effort	-6	-3	-5	-14	M3 + effort
Répétitivité	-4	-1	-5	-10	M3 + répétitif
Compétences	0	0	-4	-4	
Risque erreur	0	4	-7	-3	
Monotonie	-6	6	-2	-2	
Piétinement	-8	5	-1	-4	M3 : + piétinement
Temporelles	-8	0	-4	-12	M3 + pression
Précision	-1	1	-4	-4	
Rapidité exécution	1	-8	-5	-12	M3 + rapide d'exécution

Tableau n°6 : somme des écarts de cotation entre le M1 et M3 (N= 3)

CRITERES	M1-M3	M1-M3	M1-M3	Σ M1-M3	Remarques
	S1	S2	S3		
Effort	-2	-1	-5	-8	M3 + effort
Répétitivité	-2	-4	-3	-9	M3 + répétitif
Compétences	0	0	-2	-2	
Risque erreur	0	2	0	2	
Monotonie	-3	-4	-3	-10	M3 + monotone que M1
Piétinement	-4	0	-2	-6	M3 : + piétinement au poste
Temporelles	-4	-2	-1	-7	M3 + contraintes temporelles
Précision	-1	-1	-2	-4	M3 : + de précision
Rapidité exécution	0	-1	-1	-2	

Tableau n°7 : somme des écarts de cotation entre le M1 M2 et M3 (N= 3)

CRITERES	Σ M1-M2	Σ M2-M3	Σ M1-M3
Effort	6	-14	-8
Répétitivité	1	-10	-9
Compétences	2	-4	-2
Risque erreur	5	-3	2
Monotonie	-8	-2	-10
Piétinement	-2	-4	-6
Temporelles	5	-12	-7
Précision	0	-4	-4
Rapidité exécution	10	-12	-2

3.1.1 Cotation de l'effort

Si on analyse plus finement les cotations, et si on considère la somme des écarts intra sujets, on note que **les salariées considèrent que le niveau d'effort est plus important sur le M3 et sur le M1**. Le niveau d'effort estimé sur le M2 est lié à l'absence de blocage de l'appareil par un autre en aval avec nécessité de tenue de l'appareil sur la ligne.

Pour S3 et S1, le niveau d'effort est plus important sur le mode 3. « On appuie davantage en M3 « rafales » car en montage en série, il faut être plus précis. En montage à l'unité, on est moins stressé donc on force moins. Sur le M3, on est plus speed donc on force davantage ». « Au bout d'un moment, on a mal au bras lors du vissage des bouches à volets et on force davantage ».

Selon S2, « le M2 est fatiguant mais comme les efforts sont étalés dans le temps, on le ressent moins. Sinon, plus on monte d'appareils, plus c'est répétitif, plus on force ». Pour S1, le M3 serait plus fatiguant pour les muscles.

3.1.2 Cotation de la répétitivité

Le niveau de cotation exprimé indique que le M3 est le plus répétitif.

3.1.3 Cotation du niveau de compétences requises et de risque d'erreur

Pour S1, le risque d'erreur est identique sur l'ensemble des modes.

Pour S2, il n'existerait pas non plus de différence entre les modes 1 et 3. Toutefois, le risque serait légèrement plus important sur M1 dans la mesure où « on irait plus vite donc on aurait moins le temps de faire de l'autocontrôle ». Le M3 générerait « moins d'erreur dans la mesure où du fait des allers retours devant un nombre plus important d'appareils, on peut visualiser les erreurs ».

Selon S3, le risque d'erreur serait « plus important sur le M2 car on emballe les montages au fur et à mesure et on ne peut pas s'apercevoir de nos erreurs ».

Toutefois, le point de vue des salariées est ici hétérogène et ne nous permet pas ici de dégager des tendances. Il en va de même en ce qui concerne le niveau de compétences requises. Seule une salariée note que sur le M3, l'habileté motrice d'ajustement serait plus conséquente du fait de l'exécution plus rapide du mouvement.

3.1.4 Cotation de la monotonie

Pour les trois sujets, le M3 est incontestablement plus monotone que le M1. Le M2 semblerait plus monotone que le M1. Pour S2 et S3, le M2 s'avère être le moins monotone contrairement à ce que note S1 mais le plus « ennuyeux ». « Le M2 est extrêmement monotone même si les opérations sont plus variées et le nombre de déplacements pour les approvisionnements nettement plus importants ».

Ainsi, l'ensemble des salariées cote le M1 comme étant le moins monotone.

3.1.5 Cotation des piétinements

S1 cote un niveau de piétinement sur M3 plus important du fait de la longueur de la série ; S2 du fait d'un nombre d'approvisionnement unitaire plus important.

3.1.6 Cotation de la contrainte temporelle

Les trois salariées s'accordent à dire que **le M3 est le plus astreignant du fait de la pression temporelle liée à la dépendance des postes amont aval.**

Néanmoins, selon S1, « on est plus bousculé sur le M2 ». Ceci serait lié aux déplacements supplémentaires liés aux approvisionnements et au contournement de l'autre côté de la ligne.

3.1.7 Cotation de la précision

Selon **S1 et S3, les contraintes de précision « sont plus fortes sur le M3 car plus il y a d'appareils, plus il faut ajuster ».** «Il faut ajuster davantage pour visser parce que l'on va plus vite ».

Pour S2, sur le M2, il faut être plus précis pour ajuster car l'appareil glisse (n'est pas retenu par celui en aval).

Ainsi, même si l'écart est peu explicite sur cette variable, on note deux astreintes de précision en fonction du mode à savoir :

- Sur M2, l'absence de blocage de l'appareil impliquerait une tenue et un ajustement plus précis lors du vissage ;
- Sur M3, un « freinage » (ajustement) du geste plus important sur les séries plus longues là où le mouvement est le plus rapide.

3.1.8 Cotation de la rapidité d'exécution

On note sans conteste un **niveau d'exécution moins rapide sur le M2. Par contre, le niveau de rapidité d'exécution est coté de façon quasiment identique entre le M1 et le M3.**

3.2 Estimation des temps de montage en fonction du mode

Pour chacun des modes d'exécution du travail, nous avons enregistré les temps de production en situation stabilisée. Les tableaux ci-dessous relatent les principaux résultats.

Tableau n°8 : répartition des temps de montage en secondes sur les 4 postes pour huit montages d'appareils en fonction du mode

S1	poste 1	poste 2	poste 3	poste 4
M1	1545	2613	2760	2178
M2	1330	3211	2788	2573
S2	poste 1	poste 2	poste 3	poste 4
M1	1858	1523	2359	1562
M2	2246	2564	3033	1836
S3	poste 1	poste 2	poste 3	poste 4
M1	1099	2051	3287	1983
M2	1269	3133	2726	1789

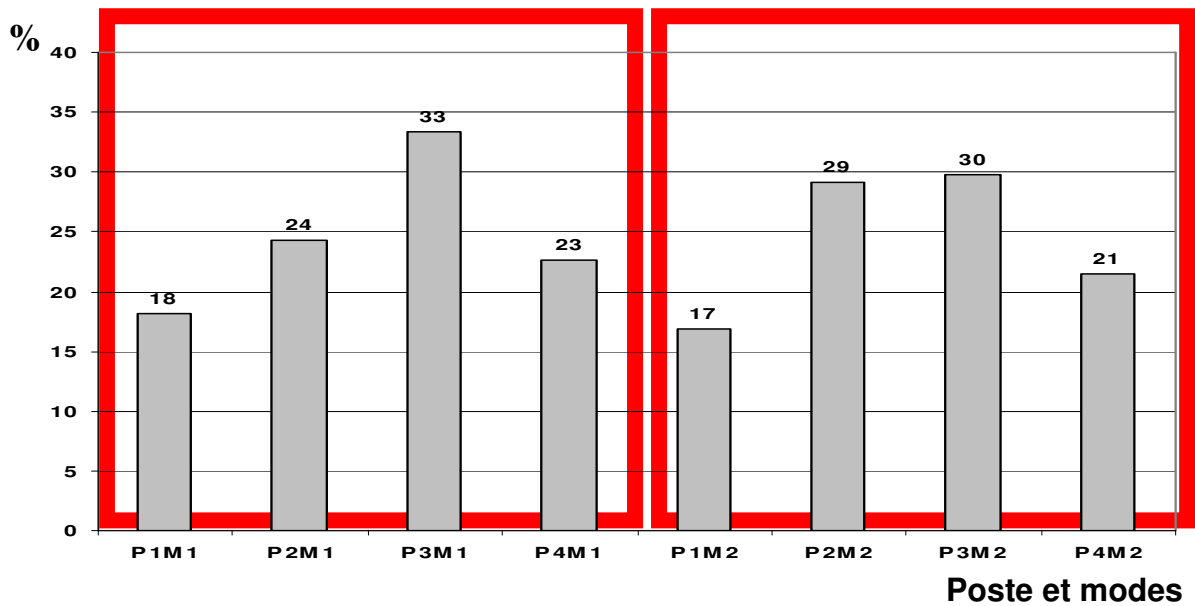
Poste 1 : montage batterie avec enveloppes : P1

Poste 2 : montage flancs : P2

Poste 3 : montage moteurs : P3

Poste 4 : emballage : P4

Figure n°5 : graphe des moyennes de % de durée d'exécution de huit appareils sur les 4 postes suivant le M1 et M2 (temps observés)



Le mode 3 n'a pas été observé dans la mesure où la salariée demeure à 100 % de son temps de production sur le poste.

Si on observe le % de durée alloué à chaque montage par poste, on note un déséquilibre des temps de production entre les quatre postes quel que soit la salariée. **Le poste 3 s'avère être le poste le plus saturé quelque soit le sujet et quelque soit le mode.** La répartition de cette durée est équivalente sur le M1 et sur le M2 si on exclue les temps supplémentaires liés aux dysfonctionnements pour non conformités (voir tableaux n°9, 10, 11). On enregistre par contre une augmentation du pourcentage de durée sur le poste 2 en M2 dans la mesure où les temps de déplacements de l'autre côté de la ligne et les temps d'approvisionnement à l'unité sont plus importants.

Tableau n°8 : répartition sur le poste 3 des temps en secondes de huit sous montages en fonction du mode

S	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5	SM6	SM7	SM8	TF	Σ 8 SM	Moy	Σ M hors TF
S1M1	372	270	230	277	242	397	271	211	485	2755	283,75	2270
S1M2	237	281	334	271	266	293	223	431	394	2730	292	2336
S1M3	250	241	230	234	292	207	239	277	572	2542	246,25	1970
S2M1	271	258	237	265	207	225	249	291	274	2277	250,37	2003
S2M2	570	355	318	310	320	336	270	365	183	3027	355	2844
S2M3	245	236	265	226	257	213	192	245	408	2287	234,87	1879
S3M1	387	323	403	370	335	413	305	446	281	3263	372,7	2982
S3M2	358	307	327	283	310	174	365	327	259	2710	306,37	2451
S3M3	201	202	198	245	196	229	218	406	250	2145	236,87	1895

SM = sous montage
TF = temps fréquentiel
M = montage

Si on observe les temps de montage observés (hors temps fréquentiels), on note pour S1 et S2 que les **temps d'exécution du travail sont plus rapides en M3 puis en M1 puis en M2**. Pour S3 en M1, les dysfonctionnements liés à des défauts de conformité expliquent le temps de sous montage plus important. C'est pourquoi, nous avons analysé les données en faisant abstraction des valeurs aberrantes. Nous dirons plutôt des valeurs liées aux aléas de production et non stabilisées.

Ainsi, les valeurs des SM 1, 3, 4, 6 et 8 pour le sujet 3 ne sont pas considérées dans la mesure où des défauts de qualité de tôle ont nécessité un recours au serre joint couplé à des appuis en force. Les valeurs aberrantes SM1 S2 également pour les mêmes raisons, ni la valeur SM8 S1 liée au démontage puis revissage du flanc.

Tableau n°9 : moyenne et écart type des temps de huit sous montages sur le poste 3 en mode 1, après extraction des valeurs aberrantes liées à des défauts qualité

Mode 1	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5	SM6	SM7	SM8		
S1	372	270	230	277	242	397	271	211		
S2	271	258	237	265	207	225	249	291		
S3		323			335		305		Moy	Ecartype
Moyenne	321,50	283,67	233,50	271,00	261,33	311,00	271,00	251,00	275,50	29,40
Ecartype	71,42	34,59	4,95	8,49	66,15	121,62	28,21	56,57		

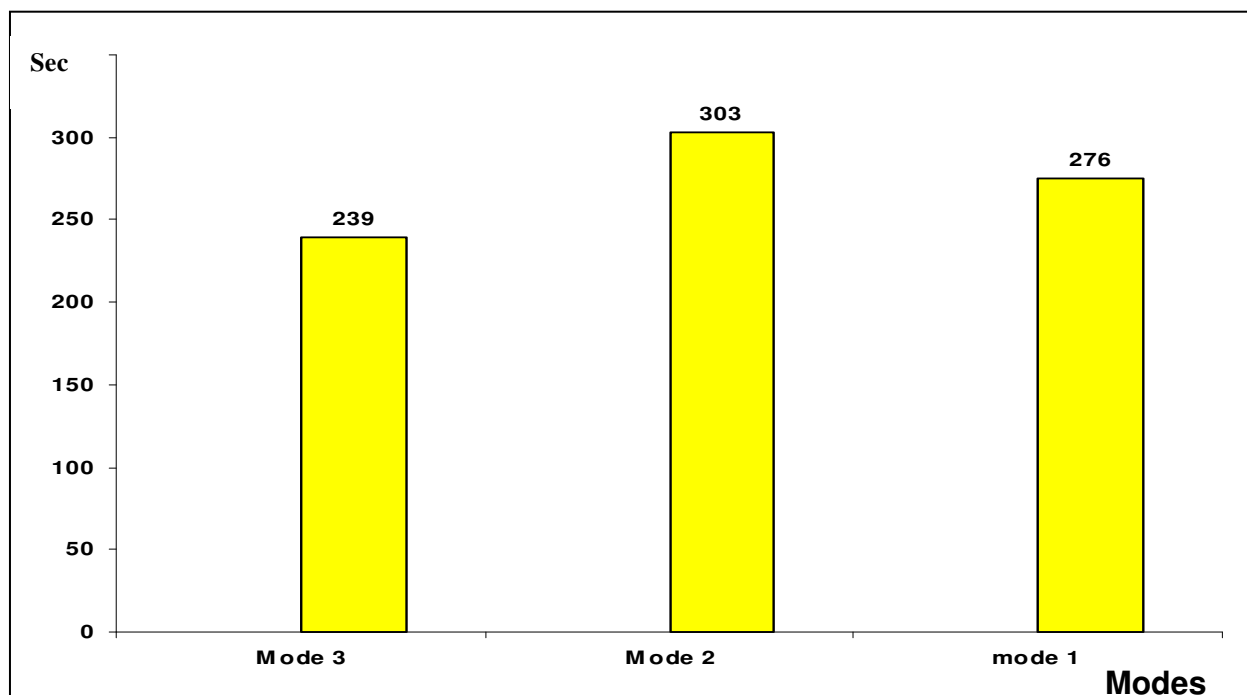
Tableau n°10 : moyenne et écart type des temps de huit sous montages sur le poste 3 en mode 2, après extraction des valeurs aberrantes liées à des défauts qualité

Mode 2	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5	SM6	SM7	SM8		
S1	237	281	334	271	266	293	223			
S2		355	318	310	320	336	270	365		
S3	358	307	327	283	310	174	365	327	Moy	Ecartype
Moyenne	298	314	326	288	299	268	286	346	303	24,88
Ecartype	85,6	37,5	8,02	20	28,7	83,9	72,3	26,9		

Tableau n°11 : moyenne et écart type des temps de huit sous montages sur le poste 3 en mode 3, après extraction des valeurs aberrantes liées à des défauts qualité

Mode 3	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5	SM6	SM7	SM8		
S1	250	241	230	234	292	207	239	277		
S2	245	236	265	226	257	213	192	245		
S3	201	202	198	245	196	229	218	406	Moy	Ecartype
Moyenne	232	226	231	235	248	216	216	309	239	30,118812
Ecartype	27	21,2	33,5	9,54	48,6	11,4	23,5	85,2		

Figure n° 6 : Durée moyenne d'exécution de 8 sous montages observés en fonction du mode sur le poste 3 (secondes) (N =3)



En faisant abstraction des valeurs aberrantes, on note que **les modes 1 et 3 sont plus rapides d'exécution avec des valeurs très proches en temps de sous montage : 37 secondes / huit montages**, soit 4.62 secondes / montage. **La salariée produit (en configuration de réalisation du travail seule sur la ligne) 18 à 19 appareils de type 2400 sur une période de 7h50**. Ainsi, le gain de productivité en temps observé en passant du mode 1 au mode 3 serait de l'ordre de 87.87 secondes soit 1.27 minutes.

3.3 Niveaux d'astreintes biomécaniques relevés

3.3.1. Electromyographie

1) Niveau d'effort musculaire moyen au cours du travail

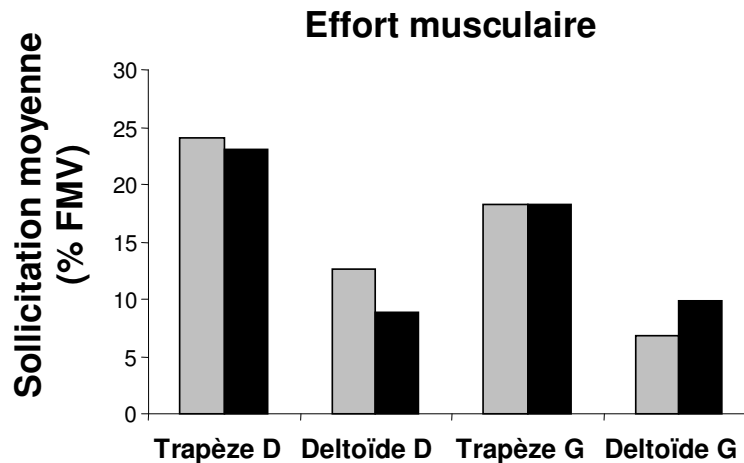
Le parasitage des signaux par des machines fonctionnant à proximité de la ligne de montage ne nous a pas permis d'obtenir de données concernant le mode 1.

EMG moyen

Les données recueillies révèlent une sollicitation plus importante des muscles trapèzes qui sont des muscles posturaux. Il n'y a pas de différence significative en terme d'effort relatif pour ces deux muscles entre les modes 2 et 3. Cependant on note un effort moyen plus important au niveau du muscle trapèze Droit par rapport au muscle controlatéral. Ceci est lié au fait qu'il s'agit de muscles posturaux qui fixent l'épaule pour permettre des actions efficaces au niveau distal. Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que les salariées utilisent davantage leur main droite.

En mode 3, l'effort moyen accompli par les deux muscles deltoïdes est de même intensité alors qu'en mode 2 on voit apparaître une sollicitation plus importante du deltoïde Droit par rapport au muscle controlatéral.

Figure n° 7 :



2) Altération de l'état de relaxation musculaire après travail

L'activité EMG de repos des 4 muscles a été enregistrée avant et après une période de travail de 4 heures pour déterminer l'influence du mode de travail sur la dégradation du niveau de la relaxation musculaire pouvant être à l'origine de douleurs du même type.

Mode 1 :

L'état de relaxation des 4 muscles semble altéré de la même façon suite au travail selon ce mode de rotation. Il n'y a pas de latéralisation de l'altération de l'état de relaxation. On peut noter cependant que l'état de relaxation des muscles trapèzes est davantage affecté du fait qu'il s'agit de muscles posturaux et que les salariées doivent fixer mécaniquement leurs épaules fréquemment au cours de leur travail.

Mode 2 :

L'état de relaxation des muscles trapèzes n'est pas significativement altéré alors que l'activité EMG de repos des muscles deltoïdes est significativement augmentée après le travail.

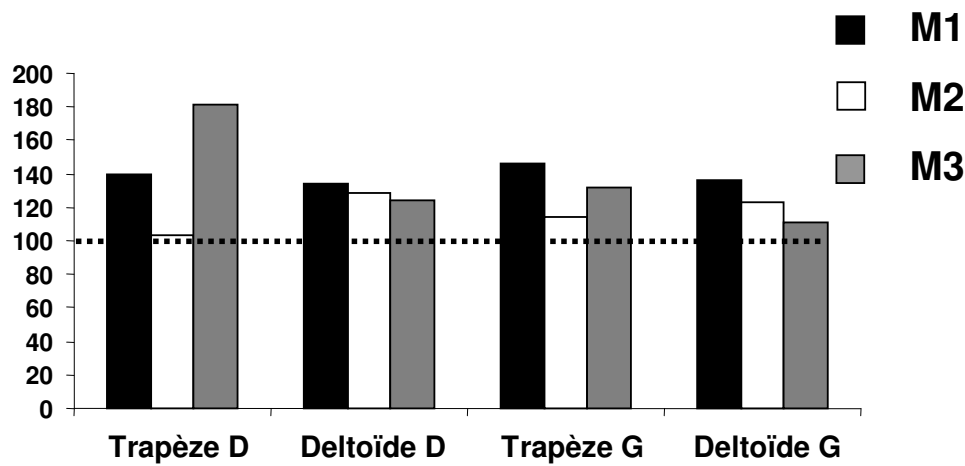
Ceci pourrait être expliqué par des mouvements de plus grande amplitude au niveau des épaules lors de ce mode de travail (plus de déplacement et de manipulations d'outils).

Mode 3 :

L'état de relaxation des différents muscles enregistrés n'est pas altéré de la même façon. On peut observer une plus grande dégradation de l'état de relaxation pour les muscles posturaux mais aussi du côté droit par rapport au côté gauche. Ceci peut être expliqué par le fait que les salariées effectuent des tâches exigeant le maintien de l'épaule en position fixe (vissage, etc...) et qu'elles travaillent davantage avec leur bras droit (droitières).

Ces données révèlent bien les différences en terme d'astreintes biomécaniques induites par la mise en place des trois modes de rotation. On s'aperçoit que le mode 3 ne permet pas une répartition uniforme des astreintes sur les différents muscles des épaules. Les modes de rotation 1 et 2 permettent de mieux répartir les efforts musculaires. Il convient cependant de noter que le mode 2 induit une dégradation moindre de l'état de relaxation des muscles trapèzes souvent à l'origine de douleurs au niveau de la région nuque / épaules.

Figure n° 8 :

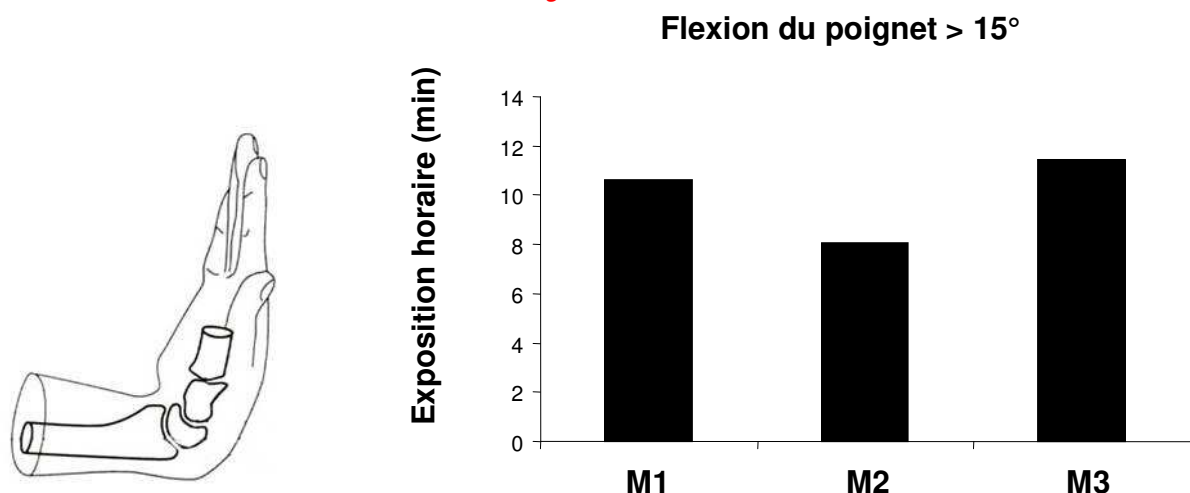


3.3.2 Niveau d'exposition aux gestes à risques

1) Flexion du poignet

Les mouvements de flexion du poignet au-delà de 15° par rapport à la position neutre ont été considérés comme à risques du fait des compressions qu'ils peuvent occasionner au niveau du canal carpien.

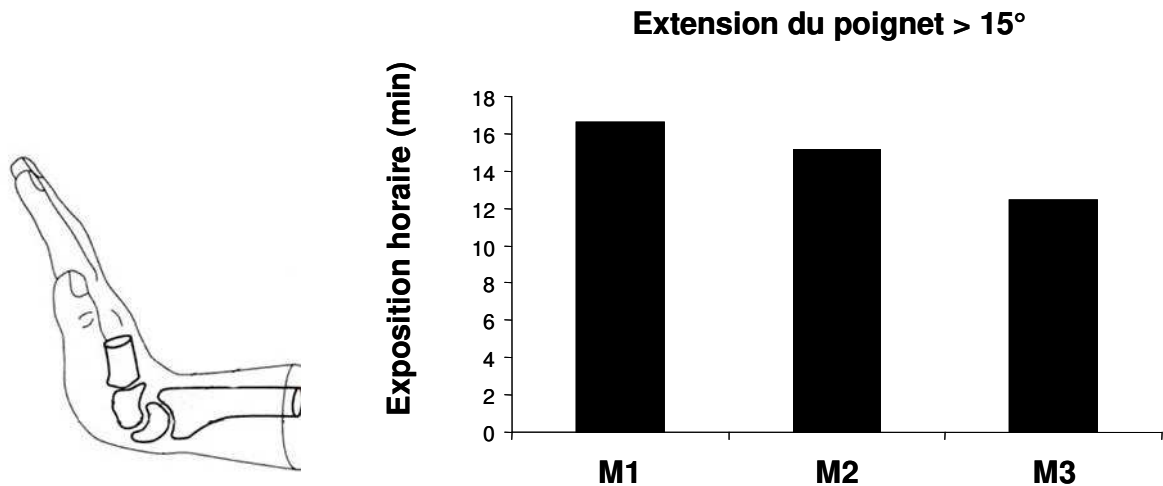
Figure n° 9



Les salariées sont davantage exposées à des positions de flexion du poignet à risque lors du travail en mode 1 et 3.
 Cette différence est due à une fréquence des mouvements plus importante et non à un temps de maintien de ces positions plus élevé.

2) Extension du Poignet

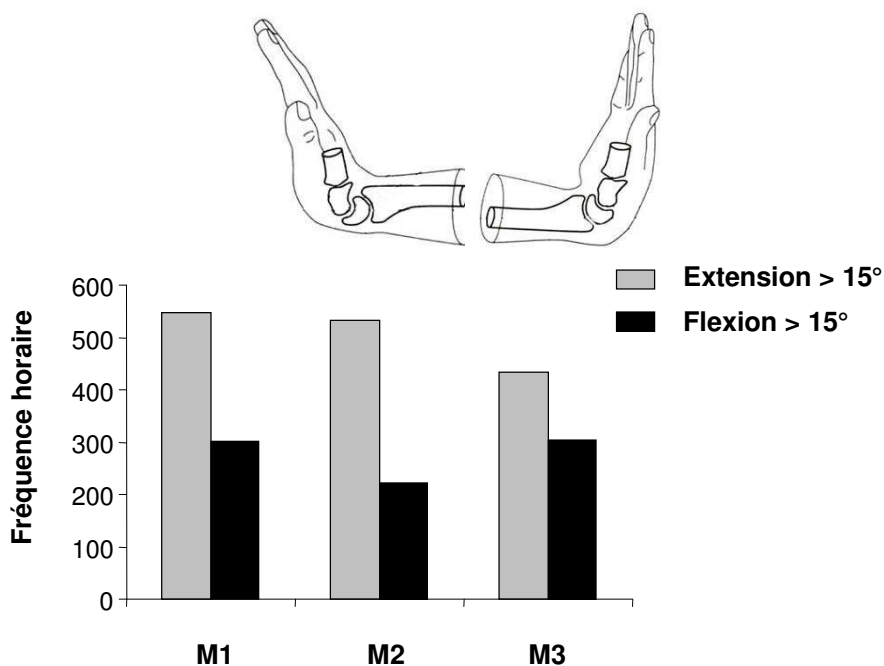
Figure n° 10



Les salariées sont davantage exposées à des positions d'extension du poignet à risque lors du travail en mode 1 et 2.
 Cette différence est due à une fréquence des mouvements plus importante et non à un temps de maintien de ces positions plus élevé.

3) Comparaison Flexion vs. Extension du Poignet

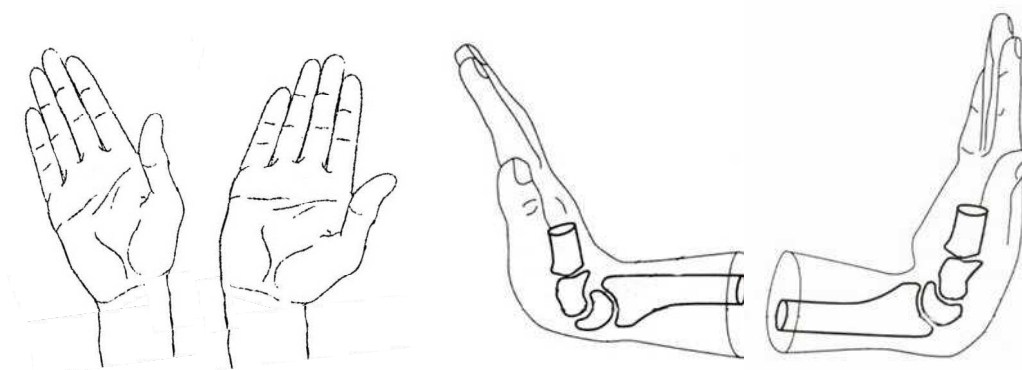
Figure n° 11



Quelque soit le mode de rotation considéré, on s'aperçoit que les salariées sont plus exposées à des mouvements d'extension à risques au niveau du poignet qu'à ceux de flexion.

4) Mouvements combinés du poignet

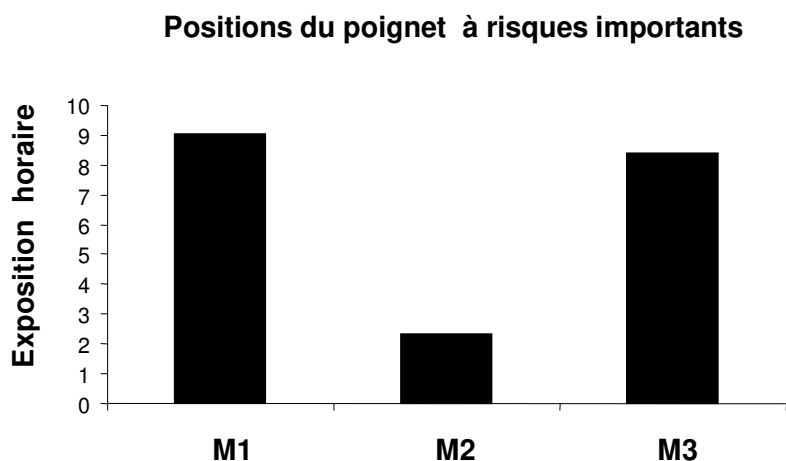
Figure n° 12



L'association de mouvements de flexion extension avec ceux de déviation ulnaire ou radiale provoque des compressions maximales au niveau du canal carpien donc peuvent être considérées comme les plus dangereuses.

L'analyse des données obtenues révèle que les salariées sont plus exposées à ces mouvements au cours du travail en mode 1 et 3. La différence est significativement importante entre ces deux modes et le mode 2.

Figure n° 13

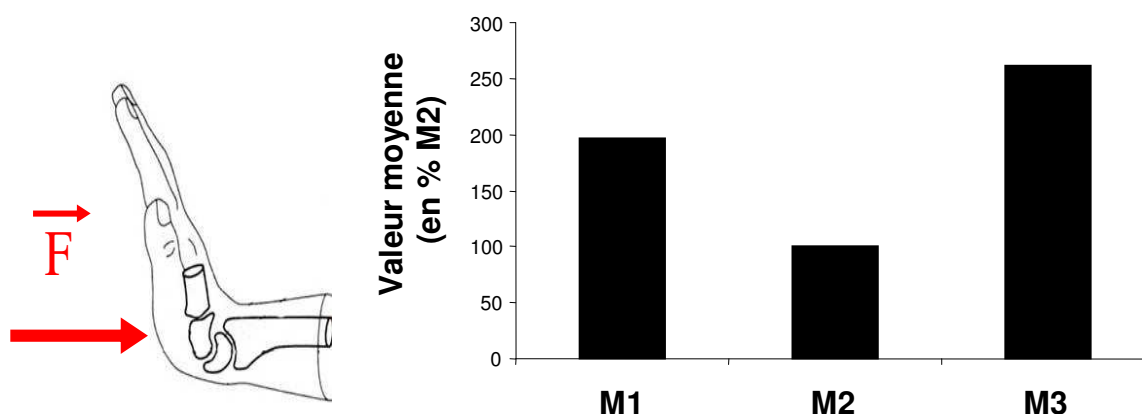


5) Compression mécanique au niveau de la paume de la main droite

Les compressions mécaniques directes exercées au niveau de la paume de la main entraînent des compressions du canal carpien.

La valeur moyenne des compressions mécaniques enregistrées au niveau de la paume de la main est significativement plus élevée en mode 3 et minimale en mode 2.

Figure n° 14



CONCLUSION

Trois critères d'évaluation ont été utilisés pour aider aux choix de décision sur les modalités d'exécution du travail à mettre en œuvre, à savoir :

1) La perception des trois salariées concernant les contraintes liées au mode d'exécution du travail a été abordée en fonction de plusieurs variables : effort, répétitivité, apprentissage, compétences, risque d'erreur, monotonie, difficultés, déplacement sur poste, contraintes temporelles, contraintes de précision et possibilité de réalisation des objectifs de production (rapidité d'exécution). Une échelle d'évaluation bornée de 0 (nulle) à 10 (extrêmement forte) est proposée aux salariées.

2) Le niveau d'astreintes biomécanique ;

3) Le critère de rapidité d'exécution du travail.

Au niveau de **l'évaluation subjective**, on peut conclure à une préférence moindre des salariées pour le M2 dans la mesure où il est plus monotone, les déplacements plus nombreux et dans celle où la rapidité d'exécution est moindre.

Pourtant, on note un niveau d'effort et une répétitivité exprimé comme étant plus important sur le M3. Ceci tendrait à signifier que les critères pré cités déterminent le choix de préférence entre le M2 et M3. « Nous privilégions toujours la rapidité d'exécution au détriment du niveau de force. La rapidité d'exécution est plus importante sur le M3 mais on force plus. Le M1 est un bon compromis entre le niveau de force à exercer et la rapidité d'exécution ».

Ainsi, le M3 :

« - serait plus fatiguant pour les muscles car au bout d'un moment, on a mal au bras lors du vissage des bouches à volets et on force davantage (série longue impliquerait un niveau d'astreintes biomécaniques plus important) ;

- impliquerait une contrainte temporelle plus forte car le salarié en amont donne la cadence et il attend que l'on ait terminé pour continuer » (dépendance des postes amont aval).

La préférence globale des salariées est orientée sur le M1 du fait qu'il soit un compromis entre les contraintes biomécaniques et les possibilités d'atteinte des objectifs de production. Mais il s'explique aussi par l'absence de pression temporelle liée à la dépendance du rythme d'exécution du travail des postes amont aval. Notamment dans ce contexte de production particulier où nous avons vu qu'il existe un déséquilibre des temps de production sur les quatre postes concernés.

Au niveau du **critère de productivité**, il est clair que les temps de production sont nettement plus longs sur le mode 2. Par contre, si on considère uniquement les situations stabilisées sur les temps de montage observés, on s'aperçoit que les **modes 1 et 3 sont les plus rapides d'exécution avec des valeurs très proches** en temps de sous montage (37 secondes différentielles sur huit sous montages), soit 4.62 secondes / montage. **La salariée produit (en configuration de réalisation du travail seule sur la ligne) 18 à 19 appareils de type 2400 sur une période de 7h50. Ainsi, le gain de productivité en temps observés en passant du mode 1 au mode 3 serait de l'ordre de 87.87 secondes soit 1.27 minutes.**

Au niveau des **astreintes biomécaniques**, les salariées sont plus exposées lors du travail en mode 3 (effort moyen, dégradation de l'état de relaxation, compression mécanique de la paume de la main). Le niveau d'astreintes biomécaniques est minimisé au cours du travail en mode 2 tandis que l'adoption du mode de rotation n° 1 induit une exposition aux contraintes biomécaniques intermédiaire même si elle tend à être importante car plus proche de celle rencontrée en mode 3.

En conclusion, le mode 2 comporte des contraintes biomécaniques réduites mais il apparaît le plus contraignant pour les salariées du fait de la monotonie, des piétinements au poste et de la faible rapidité d'exécution possible. Les mesures de temps réalisées à ce niveau le confirment.

Le mode 1 provoque un niveau d'astreinte biomécanique plus important que le mode 2. Mais il est sans conteste le mode privilégié par les salariées. Les temps de production sont quasi identiques au mode 3.

Le mode 3 (travail en série sur un même poste) est rejeté par les salariées compte tenu de la monotonie, de la répétitivité, du niveau d'effort et de précision requis. Les contraintes biomécaniques sont les plus importantes sur ce mode. Le gain de productivité est quasi identique au mode 1.

Ainsi, en considérant ces trois critères, on constate que les salariées avaient opté pour un mode de compromis associant des critères de rapidité d'exécution et de moindre astreinte.

Le mode 1 s'avère par conséquent être le mode à privilégier si l'on prend en compte l'ensemble des critères considérés dans cette étude.