

Comment favoriser la transition vers l'industrie 4.0 dans le secteur textile-habillement : étude de cas du déploiement d'un cobot au sein de l'entreprise Petit Bateau

A. Bernar ^{a,b*}, C. Prevot ^b, J. Legardeur ^c, H. Chanal ^d

^a Université de Bordeaux, Collège des écoles doctorales, 351 cours de la Libération, 33405 Talence cedex

^b Petit Bateau, 15 Rue du Lieutenant Pierre Murard, 10000 Troyes

^c ESTIA, Technopole Izarbel 90 Allée Fauste d'Elhuyar, 64210 Bidart

^d Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, CNRS, Institut Pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France

* e-mail : amandabernar@rocketmail.com

1. INTRODUCTION

Depuis les années 1960, les industriels français du textile et de l'habillement déplacent leurs outils de production vers les pays en voie de développement pour réduire les prix de revient [21]. En effet, le coût de production dans ces pays étant beaucoup moins élevé que dans les pays développés, un nouveau schéma d'organisation est apparu. Ce schéma suit une logique centrale/périphérique de maintien des activités nobles à valeur ajoutée en France et de déplacement des activités bas de gamme vers les pays tiers [3][21]. Qu'il s'agisse de la migration d'une partie des activités à l'étranger ou de l'arrêt complet des usines, de nombreuses entreprises et de nombreux emplois ont disparu en raison de la délocalisation textile [3]. En termes d'avance technologique, l'industrie textile n'a pas évolué comme les autres secteurs de l'économie en raison de ce phénomène de délocalisation [3][8].

Plus récemment, les diverses crises du XXI^{ème} siècle, en incluant la crise de la pandémie de COVID-19, ont fragilisé les chaînes de valeur mondiales et ont relancé les débats sur leur résilience et la nécessité de réorienter les activités à des échelles régionales ou nationales [1].

Le coût de la main-d'œuvre a été l'une des principales raisons qui ont conduit à la délocalisation de la production textile. Ce coût de production est le défi qu'il faut relever aujourd'hui pour que ce secteur puisse à nouveau se développer localement et proposer une production de proximité [8]. A ce jour, la problématique de la relocalisation textile en France est d'abord liée à

l'incapacité du réseau textile local à produire des quantités plus importantes [13].

Confrontées à une pression concurrentielle constante, les industriels cherchent à développer des produits et services innovants, ou de nouvelles manières de les fabriquer, ce qui impose une évolution des compétences de leurs équipes [26]. Dans ce cadre, les technologies 4.0 viennent en soutien pour améliorer l'efficacité de la production et des opérations de maintenance, diminuer les coûts de production, améliorer la qualité et la personnalisation des produits, réduire la pénibilité et les Troubles Musculosquelettiques (TMS) et gagner le pari de la compétitivité et de la relocalisation [20][27].

Petit Bateau est une entreprise de fabrication intégrée, c'est-à-dire qui réalise l'ensemble de la chaîne de production en interne (tricotage, teinture, ennoblement et confection). Depuis 2019, l'entreprise a décidé de miser sur les technologies de l'Industrie 4.0 pour devenir elle-même une industrie du futur. L'objectif est d'augmenter la production réalisée localement sans augmenter, en retour, la charge de travail des salariés. Petit Bateau a investi dans des projets pilotes tels que le renouvellement des technologies et l'automatisation de certaines activités de son atelier de confection. C'est dans ce contexte que l'entreprise a mis en place l'une des technologies les plus récentes de l'4.0, un robot collaboratif que l'on nomme généralement « cobot ».

Cet article présente une analyse de cas d'introduction d'un cobot qui pourra être utilisée par les organisations manufacturières pour une transition réussie de la fabrication traditionnelle vers l'Industrie 4.0.

2. INDUSTRIE 4.0 ET COBOTIQUE

Selon Xu et al. (2018) l'un des principaux objectifs de l'industrie 4.0 est la mise en place de coopération entre machines et humains. Les cobots permettent des interactions humain-machine dans le secteur manufacturier [16][26]. Ils représentent une nouvelle génération de robots industriels ne nécessitant pas d'enceinte de protection [2][16]. Équipés de capteurs, les cobots sont capables de s'arrêter immédiatement lorsqu'ils rentrent en contact avec des humains ou un objet [16]. Cela en fait des moyens de production très fiables au niveau sécurité au travail, par rapport aux robots industriels standards [6][16].

Même si les technologies 4.0 sont souvent intégrées pour augmenter l'efficacité, la compétence et la compétitivité face aux concurrents [30], il ne faut pas négliger le facteur humain associé [2]. Ainsi, Longo et al. (2017) affirme que l'Industrie 4.0 est plus facilement mise en place grâce à un processus d'évolution incrémentale dont les principales dimensions sont l'automatisation et l'intelligence : le produit, la machine et l'opérateur sont des paradigmes centraux. Pour Longo et al. (2017), au fur et à mesure que l'industrie 4.0 prend forme, les opérateurs humains doivent effectuer des tâches quotidiennes de plus en plus complexes. Selon Kadir & Broberg (2020), la réaction des humains aux nouvelles technologies et principalement la résistance aux changements sont des facteurs essentiels pour la réussite de l'implémentation de l'Industrie 4.0. Ainsi, les cobots doivent être acceptés par les opérateurs.

Selon Heerink et al. (2009) l'acceptation de la technologie, la non-adaptabilité des utilisateurs et les influences sociales restent des questions délicates. Pour mesurer cette acceptation, Heerink et al. (2009) ont créé un modèle de questionnaire qui prend en compte le sentiment humain lors de l'utilisation des technologies. Les auteurs ont proposé des questions pour analyser : l'anxiété (les réactions anxieuses lors de l'utilisation du système), l'intention d'utilisation (intention déclarée d'utiliser le système sur une plus longue période), l'adaptabilité (capacité perçue du système à s'adapter aux besoins changeants de l'utilisateur), le plaisir (sentiments de joie ou de plaisir associés par l'utilisateur à l'utilisation du système), l'influence sociale (perception de l'utilisateur de l'opinion des personnes qui sont importantes pour lui ont de lui en utilisant le système), la confiance (croyance que le système fonctionne de façon sûre et fiable) et l'usage (utilisation réelle du système sur une plus longue période).

Cette étude vient compléter les conseils de Longo et al. (2017) pour réussir un projet qualifié Industrie 4.0 avec la mise en place d'une gestion de projet pour sécuriser chaque étape et en maîtriser toutes les dimensions : humaine, organisationnelle et technique. Longo et al. (2017) a proposé une approche intégrative afin de permettre aux ressources humaines de devenir le centre de gravité de l'Industrie 4.0 basé sur des exigences ciblées : 1) Fournir aux opérateurs des retours en temps réel et des contenus de réalité augmentée sur l'exécution

des tâches/procédures afin de minimiser les risques d'accidents et de soutenir leur formation ; 2) Fournir aux opérateurs un assistant numérique personnel compétent avec lequel interagir afin d'obtenir des données, des informations ou des connaissances sur les composants, les machines, les tâches, les procédures et les processus.

Ces deux exigences principales utilisées par Longo et al. (2017) ont servi d'inspiration pour créer une façon propre d'intégration adaptée à l'environnement industriel et aux ressources humains de Petit Bateau. L'objectif était de soutenir les opératrices de confection en fournissant la formation appropriée sur l'utilisation du cobot et les informations qui ne sont généralement pas disponibles : la productivité associée, les opérations de maintenance prévues, les avertissements sur les dangers et les risques susceptibles de se produire et, bien sûr, des suggestions sur la manière d'augmenter la productivité. Pour ce faire, un questionnaire inspiré par l'étude d'Heerink et al. (2009) mais adapté à Petit Bateau a été développé. A la suite du questionnaire, une présentation du système a été faite. Les résultats de la méthodologie utilisée sont présentés dans la section suivante.

3. ETUDE DE CAS

Selon Ito et al. (2021), une résistance humaine existe lors de l'implémentation et de l'utilisation d'une nouvelle technologie. Le succès de la transformation technologique dépend directement de la façon dont les entreprises font face à ces problématiques. Ainsi, deux tiers des projets d'intégration de nouvelles technologies n'aboutissent pas à cause de la résistance humaine au changement [14]. Kadir & Broberg (2020) soutiennent que le succès d'implémentation d'une nouvelle technologie dépend du processus mené par l'entreprise depuis l'introduction jusqu'à l'utilisation. Les utilisateurs doivent comprendre comment les nouvelles technologies s'intègrent à leurs tâches et routines de travail et recevoir une assistance sur la manière d'utiliser et de travailler avec. Si les nouvelles technologies ne répondent pas aux besoins des utilisateurs, ceux-ci pourraient finir par s'en détourner. Si la phase d'adaptation n'est pas bien faite, les utilisateurs peuvent présenter une certaine résistance à la nouvelle technologie, en l'utilisant d'une manière non prévue ou en ne l'utilisant pas du tout [15].

Dans cette optique, Petit Bateau a décidé de mettre l'humain au cœur de sa transformation 4.0. Ainsi, le premier cobot de l'entreprise a été acheté comme un outil de démonstration et d'apprentissage. Tout d'abord, le but était de sensibiliser les opératrices de confection et de les familiariser avec la nouvelle technologie pour, une fois l'acceptation confirmée, être envisagé comme un outil de productivité. Pour atteindre cet objectif, certaines étapes ont été suivies.

3.1. Réception du cobot et présentation au personnel

Le cobot a été choisi par Petit Bateau comme un atout pour rester compétitive, améliorer la productivité et possiblement la qualité des produits dans un futur

proche. Pour cela, l'entreprise a acheté un bras robotisé 6 axes Universal Robots – UR5. Ce cobot est capable de supporter une charge utile de 5kg. Les principaux facteurs pour ce choix ont été la programmation intuitive, la forte polyvalence et les possibilités d'extensions et outils [30].

Depuis son arrivée, le cobot a été mis à proximité de tous dans l'atelier de confection. Cela a eu pour but favoriser l'adhésion des opératrices à la technologie sans leur imposer de changement dans leurs habitudes de travail. Les premières configurations et réglages du cobot ont été réalisées par le personnel interne au regard de tous. Une fois la phase de test terminée, le cobot a été présenté au cadre directeur et présidentiel de la société.

Ces étapes d'implémentation ont été réfléchies comme une première mesure qualitative d'acceptation inspirée de l'étude d'Heerink et al. (2009). L'objectif principal était d'une part de créer un lien de présence sociale lors de l'interaction avec le système et d'autre part, vérifier l'intérêt porté par les employés à l'utilisation du cobot selon leur niveau d'interaction avec les équipes chargées de sa mise en œuvre. En outre, nous avons aussi réussi à noter les premières réactions d'anxiété des opératrices de confection, traduisant par une peur fondée sur l'historique de perte d'emploi dans l'industrie textile française. Toutefois, malgré l'appréhension générée par ce premier contact, nous avons pu créer un lien social et démontrer l'utilité ainsi que sa facilité d'utilisation du système.

3.2. Définition du besoin et mise en place d'un poste automatisé

Après la mise en service et la prise en mains du cobot, nous avons mené une analyse sur les opportunités d'automatisation de l'atelier de confection. Nous nous sommes premièrement focalisés sur les postes à faible valeur ajoutée ou répétitifs qui n'ont pas besoin d'expertise de confection. Selon Biétry & Creusier (2015), les facteurs de bien-être au travail sont directement liés au sentiment d'efficacité personnelle, de satisfaction ressentie à l'égard des tâches accomplies et de sentiments d'engagement. Les postes à faible valeur ajoutée ne s'intègrent pas à ses définitions et ont alors été ciblés comme facteurs de mal-être au travail. Nous avons donc choisi le poste de coupe des ceintures des caleçons boxers (Figure 1). Ce poste chronophage et répétitif était susceptible de générer des TMS à plus long terme.

Bien que l'UR5 soit un robot collaboratif, nous avons décidé, dans un premier temps, d'automatiser complètement l'opération de coupe. L'objectif était de tester l'acceptabilité de cette nouvelle technologie, et d'augmenter la confiance des utilisateurs (intégrité personnelle et fiabilité) avant de proposer l'interaction humain-machine. Le poste automatique est constitué du cobot, d'un système mécanique de distribution d'élastique, d'un système de coupe et de capteurs infrarouge pour vérifier la présence d'élastique dans le distributeur. L'opération était réalisée suivant les étapes : 1) Positionnement de la bobine d'élastique dans le système de distribution ; 2) Mise en route du cobot (renseignement des quantités et des tailles à produire) ;

3) Exécution du programme (actionnement d'un vérin au niveau du distributeur, saisie de l'élastique, déplacement du bras dans l'axe pour la mesure de taille, actionnement de la coupe, dépose de l'élastique coupé dans un bac). L'opération s'effectuait sans interruption tant que le capteur détectait la présence d'élastique et jusqu'à ce que la quantité renseignée auparavant soit atteinte.



Figure 1 - Ancien poste de coupe vs poste de coupe automatique

Nous avons aussi comparé la qualité de coupe obtenue ainsi que la fiabilité des mesures de taille de l'élastique entre les postes manuel et automatique. Pour le poste manuel, l'opératrice responsable a coupé 100 ceintures de la taille L (81 cm) et 100 ceintures de la taille XL (87 cm). Les tailles ont été choisies par rapport au besoin journalier de la confection et nous avons chronométré le temps. La même opération a été reproduite fidèlement avec le cobot. A la fin de chaque production, nous avons contrôlé 100% des ceintures.

Lors de la coupe manuelle, nous avons pu comptabiliser un nombre important de défauts et de non-conformité de taille. Quand la ceinture n'est pas correctement coupée et qu'elle doit être corrigée au moyen de ciseaux, nous générons un défaut. La non-conformité de taille, en revanche, signifie que la mesure diffère de plus ou moins 1cm par rapport à la mesure standard. Le chronométrage a été réalisé sur des lots de 75 ceintures afin de cadencer cette production avec le rythme de la confection. Les résultats comparatifs des deux mesures sont présentés dans la Figure 2.

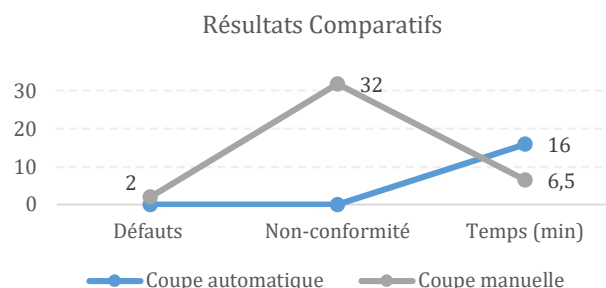


Figure 2 - Résultats coupe manuelle vs coupe automatique

Ces résultats ont démontré que la qualité de la coupe est considérablement améliorée avec le poste automatique. Cependant le temps pour effectuer la même opération avec le poste manuel est 2,4 fois plus rapide. Cela est dû au fait qu'un cobot fonctionne plus lentement

qu'un robot industriel du fait des contraintes de sécurité [29].

Ces résultats nous ont mené à définir la prochaine étape du projet : le poste collaboratif. L'idée était d'unifier les deux opérations qui étaient jusqu'alors réalisées séparément et par deux personnes : l'opération de coupe d'élastique et l'opération de couture de l'élastique (couture transversale pour fermeture en bracelet). Un poste collaboratif a été envisagé car l'opération de couture est complexe et demande plus de temps que l'opération de coupe. De cette façon, le cobot aurait le temps de couper les ceintures en temps masqué pendant que l'opératrice réalise les opérations de couture à ses côtés.

3.3. Analyse de charge mentale et questionnaire d'acceptation

Petit Bateau souhaite mettre l'humain au centre de l'industrie pour son virage 4.0, raison pour laquelle nous avons décidé d'étudier les impacts humains d'un tel changement avant de mettre en place un poste collaboratif. Selon Neumann et al. (2021), il existe encore aujourd'hui une inattention aux humains dans la transformation 4.0 [24]. Les auteurs ont donc proposé un guide systématique, qui peut être utilisé dans tous les secteurs industriels et pour toutes les technologies adoptées, pour considérer le facteur humain depuis la conception du projet jusqu'à son implémentation. Ce guide est appliqué en 5 étapes : 1) Définition de la technologie ; 2) Identification du personnel affecté ; 3) Identification des scénarios possibles ; 4) Analyse des tâches et des impacts associés ; 5) Conclusion de l'analyse.

Dans cette étude de cas, la technologie choisie (le cobot) était définie à l'avance. Par conséquent l'étape 1 consistait basiquement à définir les caractéristiques de cette technologie (un cobot qui exécute un travail collaboratif avec un humain afin d'effectuer les tâches répétitives et d'améliorer la qualité des produits (coupe et couture de la ceinture) et les objectifs futurs du projet (supprimer un poste de travail répétitif, améliorer l'efficacité du poste suivant et le respect des mesures). L'étape 2 était l'identification des personnes qui interagiront avec le cobot en tenant compte de leurs attentes et de la pérennité des performances du dispositif dans l'éventualité où il y aurait désaffection de la part du personnel. Les personnes concernées par ce projet au sein de Petit Bateau sont : 1) les opératrices de confection ; 2) l'ingénieur chef de projet et, 3) le personnel de la maintenance.

L'étape 3 était l'identification des scénarios possibles. Pour chacun d'entre eux nous avons étudié les tâches ajoutées (par exemple, la supervision du cobot par l'opératrice dans le poste collaboratif) et les tâches supprimées (par exemple, le travail répétitif de coupe). Cette étape permet d'évaluer l'évolution et les changements apportés aux activités actuelles lorsque le personnel utilise cette nouvelle technologie. Selon Neumann et al. (2021), en raison de la nature de ces changements, la performance du système dans son ensemble peut être influencée [24]. Dans l'analyse menée

sur le poste collaboratif chez Petit Bateau, les changements sont plutôt simples et acceptables quant à l'introduction de la nouvelle technologie proposée.

L'étape suivante consistait à évaluer l'impact de ces changements pour les opérateurs. Pour chaque changement de tâche identifié à l'étape 3 - qu'il s'agisse de l'élimination ou de l'adjonction de nouvelles tâches - une évaluation des exigences imposées aux personnes en termes de système perceptif, cognitif et moteur a été faite. La mise en œuvre des nouvelles technologies et les changements de tâches inhérents sont souvent la cause de facteurs de stress psychosociaux au travail. Pour vérifier cet aspect, une enquête et une évaluation plus approfondies peuvent être nécessaires [24]. Pour le poste collaboratif, nous avons constaté un maintien de l'effort perceptif, une réduction de l'effort cognitif et une augmentation de l'effort de prise de décisions du côté de l'opératrice de confection. En complément, elles auront besoin d'une formation pour élargir leur savoir-faire qui, maintenant, inclut aussi le contrôle d'un cobot. Le cobot permet la réduction de l'effort physique mais génère une augmentation de l'effort psychosocial. A la fin de l'analyse, même si les effets secondaires sont susceptibles d'augmenter (la fatigue visuelle, la fatigue mentale, le stress et le déconfort), la performance du système sera impactée uniquement dans le cas extrêmes d'absentéisme et d'arrêt maladie causés par l'impact humain. Ce sont donc des facteurs qu'il faudra gérer lors de l'utilisation du cobot à temps complet.

Dans l'étape 5, nous avons évalué les effets possibles des impacts humains (identifiés à l'étape 4) sur les performances du système en termes économiques. En particulier, nous avons repéré un besoin de formation et, dans les cas extrêmes, l'augmentation des coûts dus aux arrêts maladie. En revanche, la suppression d'un poste de travail est très rentable comme nous verrons ensuite.

En conclusion, nous pouvons dire que le poste collaboratif ne génère aucun risque pour les humains qui l'utiliseront. Toutefois, il est nécessaire de mettre en place une analyse continue du bien être des opératrices travaillant avec le cobot parce que la charge mentale sera plus élevée que sur le poste manuel actuel. Etant donné que l'ingénieur et le personnel de maintenance n'interviennent que ponctuellement sur le cobot et sur le poste de travail associé, le cobot n'aura que peu d'incidence sur leur travail. Dans ce cas, les facteurs humains associés n'ont pas besoin d'un suivi à long terme. Toutefois, le personnel technique doit s'assurer que les conditions de sécurité sont respectées lors de ses interventions.

3.3.1. Questionnaire et protocole utilisé

En amont de l'analyse de charge mentale, inspirés par les travaux de Heerink et al. (2009), nous avons développé deux questionnaires (anonymes) afin de comprendre le ressenti des opératrices de confection vis à vis du cobot. L'envie était non seulement d'évaluer les réactions d'anxiété quant à l'utilisation du cobot mais aussi de créer un lien entre les opératrices de confection et le cobot. Le questionnaire a été développé sur un ton

amical, en référençant le cobot comme un nouveau collègue arrivé chez Petit Bateau et comme une solution pour réduire la pénibilité et la répétitivité au travail. Des précautions ont été prises pour qu'il ne soit pas perçu comme une technologie mise en place pour réduire les emplois, ce qui n'est pas le but, mais plutôt comme une envie concrète de conscientiser le personnel sur le potentiel de la cobotique. Par exemple, nous avons demandé aux opératrices de personnaliser le cobot et choisir un prénom pour ce nouveau salarié : le prénom de « Jorge » a remporté le plus de votes (pour le premier cobot de l'entreprise). Selon certains psychiatres [28], l'humain n'évolue pas aussi vite que les machines mais, s'il existe une relation de confiance entre la machine et l'opérateur, l'acceptation est plus vite concrétisée.

Le premier questionnaire a été appliqué sans aucune présentation du poste automatique pour connaître les a priori des employés et mesurer le degré de connaissance des opératrices sur la cobotique. Ensuite, nous avons mené une présentation sur mesure du poste automatique, présenter le cobot et ses systèmes, et générer la confiance nécessaire pour l'interaction humain-cobot dans un poste collaboratif.

La première étape de cet événement concernait la réponse au premier questionnaire. Ensuite, chaque groupe (environ 15 personnes par groupe) se déplaçait jusqu'au poste automatique pour assister à la présentation. La démonstration était suivie d'explications, de démonstration sur la sécurité du cobot en cas de choc avec une personne et la démonstration du travail automatique de coupe des élastiques. A la fin de la présentation, le deuxième questionnaire était distribué.

Les deux questionnaires ont été proposés à 87 des employés du service de confection présents sur une période d'une seule journée. Le premier questionnaire a reçu 100% de réponses et le deuxième a reçu un total de 75 réponses (86,21%) dont 4 n'ont pas été prises en compte car inexploitable.

Quelques questions identiques ont été posées dans les deux questionnaires avec l'objectif d'évaluer les changements de perspective et la compréhension du sujet après la présentation. C'est le cas de la question « Pensez-vous que le cobot pourrait vous blesser physiquement ? ». Avant la présentation seulement 39% des personnes ont répondu que le cobot ne pouvait pas les blesser. Après la présentation, le pourcentage a augmenté à hauteur de 92% mettant ainsi en évidence un gain de confiance vis-à-vis du système. Une autre question qui a eu des résultats très satisfaisants après la présentation est « Seriez-vous prêt à mener des missions où le cobot intervient pour vous aider ? ». Dans le premier questionnaire, nous avons eu à peine 30% de réponses positives. Après la présentation, nous avons seulement deux réponses possibles (oui ou non). 76% des opératrices ont répondu qu'elles étaient prêtes à mener des missions collaboratives avec ce cobot. Ce résultat fortement positif a été le facteur déterminant pour la mise en place du poste collaboratif.

3.4. Le poste collaboratif et les résultats économiques

Après avoir validé le fait que le poste collaboratif n'apporterait aucun risque vis à vis des facteurs humains, nous avons placé une machine à coudre à côté du cobot et modifié sa programmation pour offrir les élastiques coupés directement à l'opératrice (Figure 3).



Figure 3 - Poste collaboratif

Le poste collaboratif a bien été accepté par le personnel et a été utilisé pour effectuer la totalité de la production des caleçons boxers d'un groupe de confection. Sachant que dans une production exclusivement manuelle, la rentabilité d'une machine doit être calculée en tenant compte du temps alloué à une opération (de confection dans notre cas), une nouvelle analyse de temps a été réalisée pour valider économiquement le poste collaboratif. A noter, que chez Petit Bateau, le nombre d'articles nécessaires à l'obtention d'une analyse fiable est de 18 au minimum. Nous avons donc chronométré les opérations de coupe et de couture de 20 élastiques sans interruption (temps de coupe dans le poste 1, temps de transfert de bac au poste 2 et temps de couture dans le poste 2). Le temps de préparation de la coupe n'a pas été pris en compte ainsi que le temps de transfert de bac au poste 3 (le poste suivant dans la ligne de confection des boxers).

Le temps nécessaire pour effectuer la coupe manuelle de 20 ceintures est de 1min et 46s et le temps de transfert plus couture dans le poste 2 est de 4min et 48s. Le temps total de l'opération manuelle de coupe et couture est de 6min et 34s. Au niveau du poste collaboratif la coupe est réalisée en même temps que l'opération de couture et il n'y a pas de transfert de bac entre les deux postes. En revanche, il y a un supplément de quelques secondes au début du cycle pour que le robot réalise son cycle préparatoire permettant d'assurer une coupe droite en production). Le temps global de l'opération avec le poste collaboratif était de 5min et 20s. Cela signifie un gain de 1min et 14s, soit 18% du temps, pour 20 ceintures produites. Ce gain de temps permet d'améliorer la rentabilité de 6% sur chaque article produit. La productivité de ce groupe de confection a également augmenté en 13% grâce à l'utilisation du cobot.

4. CONCLUSION

Cet article présente une application du déploiement d'un cobot avec le maintien des humains au centre des changements d'une entreprise du textile. L'analyse de charge mentale nous montre que les efforts perceptifs, cognitifs, physiques, psychosociaux et de savoir-faire d'un poste collaboratif ne sont pas les mêmes que ceux d'un poste manuel en confection. A partir de ces résultats nous avons pu repérer les enjeux et les difficultés rencontrées par les personnes qui travailleront avec cette nouvelle technologie quotidiennement et cette connaissance nous permettra de nous assurer du bien-être du personnel. Le questionnaire d'acceptation a été un facteur déterminant pour la mise en route du poste collaboratif. Les bons résultats du questionnaire nous ont permis de démontrer que la façon de présenter le cobot depuis son arrivée chez Petit Bateau a influencé l'ouverture d'esprit des employées et a contribué au succès du poste collaboratif.

Nos résultats montrent que l'acceptation de la technologie, l'adaptabilité des utilisateurs et les influences sociales restent des questions fondamentales pour réussir la transition vers l'industrie 4.0. Nous avons réduit le temps de production et par conséquent, augmenté la rentabilité des produits, l'efficacité et la productivité du groupe de confection concerné sans perte d'effectif. Les prochaines étapes du déploiement de ce poste collaboratif sont l'accompagnement du bien-être du personnel et la quantification de la charge de travail.

REFERENCES

- [1] Abdelouahed, B. (2022). La résilience des chaînes de valeur à l'ère du coronavirus The resilience of value chains in the era of coronavirus. 3, 23.
- [2] Adriaensen, A., Costantino, F., Di Gravio, G., & Patriarcar, R. (2022). Teaming with industrial cobots : A socio-technical perspective on safety analysis. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 32(2), 173-198.
- [3] Ammar, G., & Roux, N. (2009). Délocalisation et nouveau modèle économique : Le cas du secteur textile-habillement : La Revue de l'Ires, n° 62(3), 99-134.
- [4] Biétry, F., & Creusier, J. (2015). Le bien-être au travail : Les apports d'une étude par profils. *Relations industrielles*, 70(1), 11-35.
- [5] Butt, J. (2020). A Strategic Roadmap for the Manufacturing Industry to Implement Industry 4.0. *Designs*, 4(2), 11.
- [6] Chowdhury, A., Ahtinen, A., Pieters, R., & Vaananen, K. (2020). User Experience Goals for Designing Industrial Human-Cobot Collaboration: A Case Study of Franka Panda Robot. *Proceedings of the 11th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Shaping Experiences, Shaping Society*, 1-13.
- [7] Crague, G., & Levratto, N. (2022). « Au-delà de la relocalisation de l'industrie : la ville productive », *Métropolitiques*, 10 janvier 2022. URL: <https://metropolitiques.eu/Au-dela-de-larelocalisation-de-lindustrie-la-ville-productive.html>.
- [8] Crouzel, C. (2021). Le casse-tête de la relocalisation de la filière textile en France. *Figaro, Le (Business Section)*, 23934, 22.
- [9] Dais, S. (2014). *Industrie 4.0 - Anstoß, Vision, Vorgehen*, pages 625-634. Springer, 04 2014.
- [10] Drath, R., Horch A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype? [Industry forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2):56-58, June 2014.
- [11] Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Grybauskas, A., Vilkas, M., & Petraitė, M. (2021). Industry 4.0, innovation, and sustainable development: A systematic review and a roadmap to sustainable innovation. 21.
- [12] Heerink, M., Kroese, B., Evers, V., & Wielinga, B. (2009). Measuring acceptance of an assistive social robot : A suggested toolkit. *RO-MAN 2009 - The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 528-533.
- [13] Huriez, T. (2019). Re-made en France : 1 million d'emplois près de chez nous en produisant et consommant local ! Dunod.
- [14] Ito, A., Ylipää, T., Gullander, P., Bokrantz, J., Centerholt, V., & Skoogh, A. (2021). Dealing with resistance to the use of Industry 4.0 technologies in production disturbance management. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(9), 285-303.
- [15] Kadir, B. A., & Broberg, O. (2020). Human well-being and system performance in the transition to industry 4.0. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 76, 102936.
- [16] Kadir, B. A., Broberg, O., & Souza da Conceição, C. (2018). Designing human-robot collaborations in industry 4.0: explorative case studies. 601-610.
- [17] Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0: Final report of the industrie 4.0 working group. Technical report, acatech, 2013.
- [18] Kollros, C. (2021). Comment donner aux PME les moyens de réussir un passage structuré à l'Industrie 4.0 ? Thèse de doctorat en Génie Industriel sous la direction de Mr. Michel Tollenaere. Grenoble, École Doctorale IMEP2, Laboratoire G-Scop, 2021.
- [19] Longo, F., Nicoletti, L., & Padovano, A. (2017). Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 144-159.
- [20] Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., Dewhurst, M. (2017). A Future that works: automation, employment and productivity. McKinsey Global Institute. URL: www.mckinsey.com/mgi
- [21] Messaoudi, D. (2015). L'innovation à l'épreuve des délocalisations : Le cas de l'industrie textile en France : *Innovations*, n° 48(3), 211-229.
- [22] Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K.-I. (2018). Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 2-17.
- [23] Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Rocha-Lona, L., & Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 607-627.
- [24] Neumann, W. P., Winkelhaus, S., Grosse, E. H., & Glock, C. H. (2021). Industry 4.0 and the human factor - A systems framework and analysis methodology for successful development. *International Journal of Production Economics*, 233, 107992.
- [25] Pellerin, F., & Cahier, M.-L. (2019). Organisation et compétences dans l'usine du futur : Vers un design du travail ? Presses des Mines-Transvalor la Fabrique de l'industrie.
- [26] Simonin, J. (2022). Acceptation et intention d'usage des technologies cobotiques dans l'industrie française en 2021. 26.
- [27] Sufian, A. T., Abdullah, B. M., Ateeq, M., Wah, R., & Clements, D. (2021). Six-Gear Roadmap towards the Smart Factory. *Applied Sciences*, 11(8), 3568. <https://doi.org/10.3390/app11083568>
- [28] Tisseron, S., Tordo, F., & Baddoura, R. (2015). Testing Empathy with Robots: A Model in Four Dimensions and Sixteen Items. *International Journal of Social Robotics*, 7(1), 97-102.
- [29] Universal Robots. (2022). Cobot UR5e - Un robot industriel collaboratif polyvalent. URL: <https://www.universalrobots.com/fr/produits/robot-ur5/>
- [30] Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.