

**HAUEUR Ashley**

*Master Ingénierie de la Santé*

*Ergonomie Santé Développement (ESD)*



**Mémoire de fin d'étude - 2<sup>e</sup> année de Master**

# **De l'approche technico-centrée à l'approche anthropocentrée**

*Concilier performance industrielle et soutenabilité de l'activité réelle*



**Date de la soutenance** : 17 septembre 2025

**Membres du jury** :

- Mr. VAXEVANOGLOU Xénophon - *Président du jury*
- Mr. DUBOIS Tommy - *Tuteur pédagogique*
- Mme. PELAYO Sylvia

**Tutrice professionnelle** :

- Mme. CHUFFART Caroline

**Faculté d'ingénierie et Management de la Santé -ILIS**

**42 rue Ambroise Paré**

**59 20 LOOS**

*« L'expérience, ce n'est pas ce qui arrive à quelqu'un, c'est ce que quelqu'un fait avec ce qui lui arrive. »*

**Aldous Huxley**

## I. Remerciements

Je souhaite adresser mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie tout particulièrement Madame Caroline CHUFFART, ma tutrice, pour sa bienveillance, son accompagnement, ses conseils éclairés et sa disponibilité tout au long de mon parcours. Je tiens également à remercier l'ensemble de l'équipe de Stellantis Valenciennes pour son accueil et pour m'avoir permis d'évoluer dans un cadre professionnel stimulant. Un merci spécial à ROYE Olivier, DAVID Dominique et BECUWE Mélanie, dont la bonne humeur, l'entraide et les fameux petits pains ont contribué à créer un environnement de travail des plus agréables.

Ma gratitude va aussi à mes enseignants, intervenants et à toute l'équipe pédagogique de l'ILIS, pour la qualité de leur accompagnement tout au long de ma formation. Je pense en particulier à Monsieur Tommy DUBOIS, ainsi qu'à Madame Sylvia PELAYO, Monsieur Xénophon VAXEVANOGLU et Madame Stéphanie WATTRELOT, pour leur écoute et leur soutien.

Merci à mes proches et amis, pour leur présence dans les moments de doute comme dans les moments de joie. Une mention particulière à mes camarades de promotion, et notamment à Julien et Maëline, pour leur amitié, leur aide précieuse et les nombreux souvenirs partagés.

Enfin, je veux adresser un merci tout particulier à ma maman. Rien de tout cela n'aurait été possible sans toi. Tu as été ma force silencieuse, toujours là, dans l'ombre, à m'encourager, à m'écouter, à me rassurer quand le doute prenait le dessus. Tu m'as appris à croire en moi, à tenir bon, même quand c'était difficile. Ton amour, ta patience et ta présence constante m'ont portée jusqu'ici. Ce mémoire est aussi le fruit de ton indéfectible soutien. Merci, maman, pour tout.

À mon frère, merci d'avoir été un exemple de persévérance et de m'avoir transmis, à ta manière, cette force tranquille qui m'a souvent guidée. Tu m'as montré l'importance de ne jamais baisser les bras.

A vous tous, **merci**.

# Sommaire

|              |                                                                                  |           |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I.</b>    | <b>Remerciements.....</b>                                                        | <b>2</b>  |
| <b>II.</b>   | <b>Liste des abréviations.....</b>                                               | <b>5</b>  |
| <b>III.</b>  | <b>Liste des figures et liste des tableaux.....</b>                              | <b>6</b>  |
| <b>IV.</b>   | <b>Introduction.....</b>                                                         | <b>8</b>  |
| <b>V.</b>    | <b>Contexte et cadre de l'étude.....</b>                                         | <b>9</b>  |
| A.           | Présentation de l'entreprise .....                                               | 9         |
| 1.           | Le groupe Stellantis .....                                                       | 9         |
| 2.           | Stellantis - Site de Valenciennes .....                                          | 11        |
| B.           | Contexte de la demande initiale .....                                            | 18        |
| C.           | Méthodologie - Rappel général et cadre d'ergonomie de projet .....               | 19        |
| <b>VI.</b>   | <b>Revue de littérature et fondements théoriques .....</b>                       | <b>21</b> |
| A.           | Approche technico-centrée en conception industrielle .....                       | 21        |
| B.           | Approche centrée activité réelle .....                                           | 22        |
| C.           | Anthropocentrisme et ergonomie .....                                             | 24        |
| <b>VII.</b>  | <b>Présentation du projet RG Step 4 e-DM .....</b>                               | <b>25</b> |
| A.           | Contexte du projet .....                                                         | 25        |
| B.           | Processus global et organisation de la ligne .....                               | 27        |
| C.           | Les postes manuels (OP 910, OP 990, OP 7100) .....                               | 29        |
| 1.           | OP 910 - Ligne Kit : description prescrite du poste .....                        | 29        |
| 2.           | OP 990 -Ligne principale : description prescrite du poste.....                   | 30        |
| 3.           | OP 7100 - Ligne de mariage : description prescrite du poste .....                | 33        |
| <b>VIII.</b> | <b>Analyse de l'existant : RG Step 2 et RG Step 3 .....</b>                      | <b>34</b> |
| A.           | Collecte et analyse des traces .....                                             | 35        |
| B.           | Cartographie des postes manuels.....                                             | 38        |
| C.           | Retours d'expérience d'opérateurs, méthodes et observations terrain .....        | 40        |
| D.           | Synthèse des points bloquants .....                                              | 43        |
| E.           | Comparaison avec le projet RG Step 4 : similitudes, ruptures, continuités.....   | 45        |
| F.           | Reformulation de la demande et construction de la problématique ergonomique..... | 47        |
| <b>IX.</b>   | <b>Méthodologie terrain .....</b>                                                | <b>49</b> |
| A.           | Hypothèses de travail .....                                                      | 49        |
| B.           | Conception des scénarios et simulations .....                                    | 49        |
| C.           | Outils mobilisés.....                                                            | 51        |
| 1.           | RULA : évaluation de la charge physique.....                                     | 52        |
| 2.           | Mesures des déplacements et manutentions .....                                   | 53        |

|              |                                                                                  |            |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.           | NASA-TLX : évaluation de la charge cognitive .....                               | 53         |
| 4.           | Modalité de recueil des retours « à chaud » .....                                | 55         |
| D.           | Modalités d'analyse, échantillonnage et limites méthodologiques .....            | 55         |
| 1.           | Modalités d'analyse .....                                                        | 55         |
| 2.           | Echantillonnage .....                                                            | 56         |
| 3.           | Limites méthodologiques .....                                                    | 57         |
| <b>X.</b>    | <b>Résultats .....</b>                                                           | <b>59</b>  |
| A.           | Résultats factuels - mesures et observations directes.....                       | 59         |
| B.           | Risques biomécaniques (analyse RULA) .....                                       | 61         |
| C.           | Charge mentale et analyse NASA-TLX.....                                          | 66         |
| D.           | Retours opérateurs - Synthèse et verbatims .....                                 | 69         |
| E.           | Croisement des données et validation des hypothèses.....                         | 72         |
| <b>XI.</b>   | <b>Diagnostics et discussion.....</b>                                            | <b>73</b>  |
| A.           | Diagnostic local par poste : points critiques .....                              | 73         |
| 1.           | OP 910 - Chargement palette / kitting .....                                      | 73         |
| 2.           | OP 990 - Ligne principale / préparation et mise en place des carters .....       | 74         |
| 3.           | OP 7100 -Ligne de mariage / habillage et déchargement.....                       | 74         |
| B.           | Diagnostic global : cohérence entre activité future et conception actuelle ..... | 77         |
| C.           | Discussion sur l'intégration de l'ergonomie dans le projet .....                 | 78         |
| D.           | Limites de l'intervention et réflexions méthodologiques.....                     | 80         |
| <b>XII.</b>  | <b>Recommandations ergonomiques .....</b>                                        | <b>82</b>  |
| A.           | Propositions de solutions .....                                                  | 82         |
| B.           | Modalités d'implication des opérateurs .....                                     | 85         |
| <b>XIII.</b> | <b>Conclusion générale.....</b>                                                  | <b>86</b>  |
| A.           | Réponse à la problématique .....                                                 | 86         |
| B.           | Conclusion .....                                                                 | 88         |
| <b>XIV.</b>  | <b>Annexes.....</b>                                                              | <b>89</b>  |
| <b>XV.</b>   | <b>Références bibliographiques (normes APA).....</b>                             | <b>105</b> |
| <b>XVI.</b>  | <b>Résumés.....</b>                                                              | <b>106</b> |

## **II. Liste des abréviations**

**AGV** : Automated Guided Vehicle

**AP** : Arbre primaire

**AS** : Arbre secondaire

**AT** : Accident de Travail

**BV** : Boîte de vitesses

**CP** : Couronne de pont

**CSP** : Catégorie Socio-Professionnelle

**eDM** : Ensemble Dispositif Mécanique

**EWA** : Ergonomic Workplace Analysis

**FCA** : Fiat Chrysler Automobiles

**H1, H2, H3** : Hypothèses 1, 2 et 3

**ISCDT** : Ingénieure Sécurité et Conditions De Travail

**KTA** : Key Technical Assistan

**MD / PD / TD / P / E / F** : Mental Demand / Physical Demand / Temporal Demand / Performance / Effort / Frustration

**MP** : Maladie Professionnelle

**NASA-TLX** : NASA Task Load Index (évaluation de la charge perçue)

**OP** : Opérateur / Poste (ex. OP 910)

**PSA** : Peugeot Société Anonyme

**RULA** : Rapid Upper Limb Assessment

**RF** : Responsable Fabrication

**RG** : Responsable de Groupe

**RU** : Responsable d'Unité

**S-Réf** : Scénario de référence (processus nominal)

**S-Panne** : Scénario en mode dégradé (aléa/panne simulé)

**SMAN** : Société Mécanique Automobile du Nord

**TMS** : Troubles Musculo-Squelettique

**UC** : Unité de conditionnement

**UM** : Unité de manutention

**UMV** : Usine Mécanique de Valenciennes

### III. Liste des figures et liste des tableaux

|                                                                                                                 |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Figure 1 : Stellantis, un groupe global .....                                                                   | 11                                 |
| Figure 2 : Localisation géographique de Stellantis Valenciennes .....                                           | 11                                 |
| Figure 3 : Historique du site en quelques dates clés .....                                                      | 12                                 |
| Figure 4 : Photo aérienne des bâtiments de production - Stellantis Valenciennes ...                             | 13                                 |
| Figure 5 : Les produits de Valenciennes.....                                                                    | 16                                 |
| Figure 6 : Démarche de conduite de projet par l'ergonomie de l'activité (Van Belleghem & Barcellini, 2011)..... | 20                                 |
| Figure 7 : Plan de l'usine Stellantis Valenciennes - Localisation de Step 2, Step 3 et Step 4 .....             | 26                                 |
| Figure 8 : Synoptique de Step 4 .....                                                                           | 27                                 |
| Figure 9 : Palette de Kit - Step 4.....                                                                         | 28                                 |
| Figure 10 : Photo du poste OP910 - Step 4.....                                                                  | 29                                 |
| Figure 11 : Schéma du poste OP 910 - Kit - Step 4 .....                                                         | 30                                 |
| Figure 12 : Schéma du poste OP 990 -Ligne principale -Step 4 .....                                              | 32                                 |
| Figure 13 : OP 990 - Step 4.....                                                                                | 32                                 |
| Figure 14 : Photo du poste OP7100 - Step 4.....                                                                 | 33                                 |
| Figure 15 : Schéma du poste OP 7100 - Ligne de mariage - Step 4 .....                                           | 34                                 |
| Figure 16 : Age moyen par Catégorie Socio-Professionnelle (CSP) et par sexe en 2024 .....                       | <b>Erreur ! Signet non défini.</b> |
| Figure 17 : Ancienneté par Catégorie Socio-Professionnelle (CSP) et par sexe en 2024 .....                      | 36                                 |
| Figure 18 : Répartitions des accidents par cause (2023).....                                                    | 37                                 |
| Figure 19 : Type de MP selon les secteurs.....                                                                  | 37                                 |
| Figure 20 : Triangulation des outils et hypothèses.....                                                         | 55                                 |

---

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Synthèse de la cartographie EWA des postes manuels (Step 2 et Step 3) ..... | 40 |
| Tableau 2 : Synthèse des points bloquants de l'existant (Step 2 et Step 3).....         | 44 |
| Tableau 3 : Comparatif : organisation et contraintes Step 2, Step 3 et Step 4.....      | 47 |
| Tableau 4 : Scénarios de simulation et hypothèses associées .....                       | 51 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 5 : Résultats factuels Step 4 .....                                | 61 |
| Tableau 6 : Résultats RULA simulations - Step 4 OP 910 .....               | 63 |
| Tableau 7 : Résultats RULA simulations - Step 4 OP 990 .....               | 64 |
| Tableau 8 : Résultats RULA simulations - Step 4 OP 7100 .....              | 65 |
| Tableau 9 : Résultats moyens RULA par poste et par scénario (Step 4) ..... | 66 |
| Tableau 10 : Résultats détaillés par tâches clés NASA-TLX - OP 910 .....   | 67 |
| Tableau 11 : Résultats détaillés par tâches clés NASA-TLX - OP 990.....    | 68 |
| Tableau 12 : Résultats détaillés par tâches clés NASA-TLX - OP 7100 .....  | 68 |
| Tableau 13 : Scores NASA-TLX moyens par poste et scénario.....             | 69 |
| Tableau 14 : Synthèse retours opérateurs .....                             | 72 |
| Tableau 15 : Croisement des données et validation des hypothèses .....     | 73 |
| Tableau 16 : Synthèse des risques et marges de manœuvre par poste .....    | 77 |

#### IV. Introduction

Au cœur de l'industrie 4.0, où l'automatisation et la robotisation redéfinissent sans cesse les lignes de production, un constat demeure : la performance d'un système repose avant tout sur l'humain qui l'anime. Les premiers travaux de l'ergonomie, nés dans l'entre-deux-guerres, avaient déjà souligné ce principe ; aujourd'hui, il résonne plus fort que jamais face à la complexité croissante des process industriels.

Dans le secteur automobile en particulier, les impératifs de productivité et de qualité cohabitent avec des organisations de travail où les opérateurs sont soumis à des cadences soutenues, des gestes répétitifs et des postures parfois contraignantes. Ces contraintes posent un enjeu majeur : comment concevoir des systèmes de production performants, tout en préservant la santé, la sécurité et l'engagement des équipes ?

C'est dans ce contexte qu'a été menée l'étude présentée dans ce mémoire, au sein de l'usine Stellantis de Valenciennes. Plus précisément, elle s'est intéressée à la nouvelle ligne d'assemblage RG Step 4 e-DM, projet où se rencontrent ambitions technico-centrées et réalités de l'activité opératoire. Face à des cadences ambitieuses et des exigences qualité, l'intégration de l'ergonomie s'est révélée un enjeu central, mais aussi un défi organisationnel.

L'enjeu de ce mémoire est double : anticiper et réduire les risques pour garantir la santé et la sécurité des opérateurs, tout en contribuant à la robustesse du produit final. Plus largement, il s'agit d'interroger la manière dont [un projet de conception peut évoluer d'une démarche technico-centrée à une approche centrée sur l'activité réelle et anthropocentrée, afin de concilier performance industrielle et santé au travail.](#)

## **V. Contexte et cadre de l'étude**

### **A. Présentation de l'entreprise**

#### **1. Le groupe Stellantis**

Stellantis est né de la fusion de deux géants de l'industrie automobile : le groupe PSA (Peugeot Société Anonyme) et FCA (Fiat Chrysler Automobiles). Cette fusion, annoncée en octobre 2019 et officiellement finalisée le 16 janvier 2021, marque un tournant décisif dans l'histoire de l'industrie automobile. Pour mieux comprendre la portée de cette union, il est essentiel de revenir sur l'histoire et l'évolution de ces deux unités.

Le groupe PSA trouve ses origines en France, avec la création de Peugeot en 1810. A l'origine, Peugeot était une entreprise familiale spécialisée dans la production de moulins à café et de bicyclettes. En 1889, Armand Peugeot se lance dans l'industrie automobile en produisant le premier véhicule de la marque, un tricycle à vapeur. Cette initiative marque le début de l'aventure automobile de Peugeot. Au fil des décennies, Peugeot a su innover et se diversifier, devenant l'un des principaux constructeurs automobiles européens. En 1976, Peugeot SA acquiert Citroën, une autre marque emblématique française fondée en 1919 par André Citroën. Cette acquisition donne naissance au groupe PSA, un acteur majeur du marché automobile européen. Dans les années 2000, PSA continue de se développer en lançant de nouveaux modèles et en investissant dans des technologies innovantes, notamment les véhicules électriques et hybrides. En 2017, PSA renforce sa position internationale en rachetant Opel et Vauxhall, filiales européennes de General Motors, consolidant ainsi sa présence sur le marché européen.

La fusion entre PSA et FCA est motivée par une vision commune de transformation de l'industrie automobile. Les deux groupes partagent l'objectif de créer un leader mondial de la mobilité durable et innovante. En combinant leurs forces, PSA et FCA visent à exploiter les synergies et à maximiser les économies d'échelle, tout en offrant une gamme diversifiée de produits répondant aux besoins variés des consommateurs mondiaux. Les négociations entre PSA et FCA débutent en 2019 et

aboutissent à un accord de fusion en octobre de la même année. Cette fusion est structurée comme une fusion d'égal à égal, avec un partage équitable des actions entre les actionnaires des deux groupes.

Le 16 janvier 2021, la fusion est officiellement finalisée, et Stellantis commence à opérer comme une entité unique. Avec un portefeuille de 14 marques emblématiques et une présence mondiale, Stellantis se positionne comme un leader de l'industrie automobile, prêt à relever les défis de la transition énergétique et de la transformation numérique. Stellantis se positionne comme un acteur clé dans le développement de solutions de mobilité durable et innovante. La vision du groupe est d'être à la pointe de la transformation de l'industrie automobile, en se concentrant sur les véhicules électriques, les technologies de conduite autonome et les services de mobilité connectée. Sa mission est de fournir une liberté de mouvement sûre, écologique et abordable à tous, tout en respectant les plus hauts standards de qualité et de performance.

Le groupe Stellantis est structuré autour de 14 marques emblématiques, chacune ayant une identité forte et une histoire unique : Abarth, Alfa Romeo, Chrysler, Citroën, Dodge, DS Automobiles, Fiat, Jeep, Lancia, Maserati, Opel, Peugeot, RAM et Vauxhall. Cette diversité de marques permet à Stellantis de couvrir tous les segments de marché, des véhicules utilitaires aux voitures de luxe, en passant par les citadines compactes et les SUV.

Le siège social du groupe est situé à Amsterdam, aux Pays-Bas, mais Stellantis dispose de centres de recherche et de développement, d'usines de production et de réseaux de distribution dans le monde entier. Cette présence globale est renforcée par une stratégie d'alliances et de partenariats technologiques avec d'autres acteurs majeurs de l'industrie.



Figure 1 : Stellantis, un groupe global

## 2. Stellantis - Site de Valenciennes

Inauguré en 1980, sous le nom de SMAN (Société Mécanique Automobile du Nord) et par la suite UMV (Usine Mécanique de Valenciennes), le site de Stellantis Valenciennes est un centre de production de premier plan, spécialisé dans la fabrication de trois types de boîtes de vitesses : MB6, RG/eDM et EAT6. Chaque type de boîte de vitesses est conçu pour répondre à des besoins spécifiques en matière de performance, d'efficacité et de fiabilité, garantissant ainsi que les véhicules du groupe Stellantis offrent une expérience de conduite optimale.

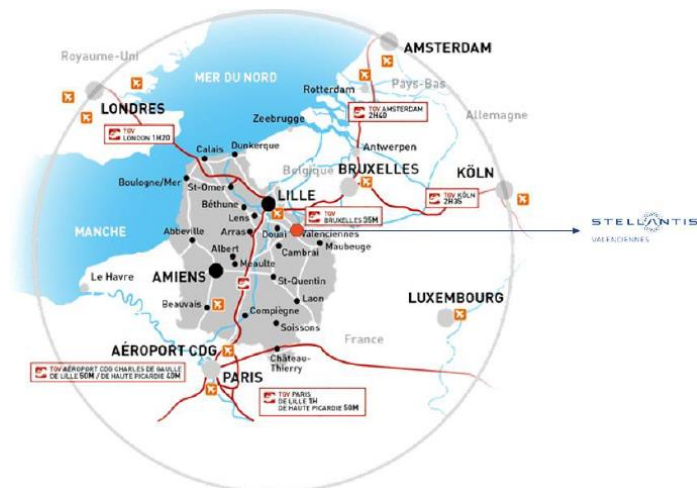


Figure 2 : Localisation géographique de Stellantis Valenciennes

a) Historique -Evolution du site de Valenciennes

Depuis sa création, l'usine a connu plusieurs phases d'expansion et de modernisation, reflétant l'évolution des technologies et des exigences du marché.

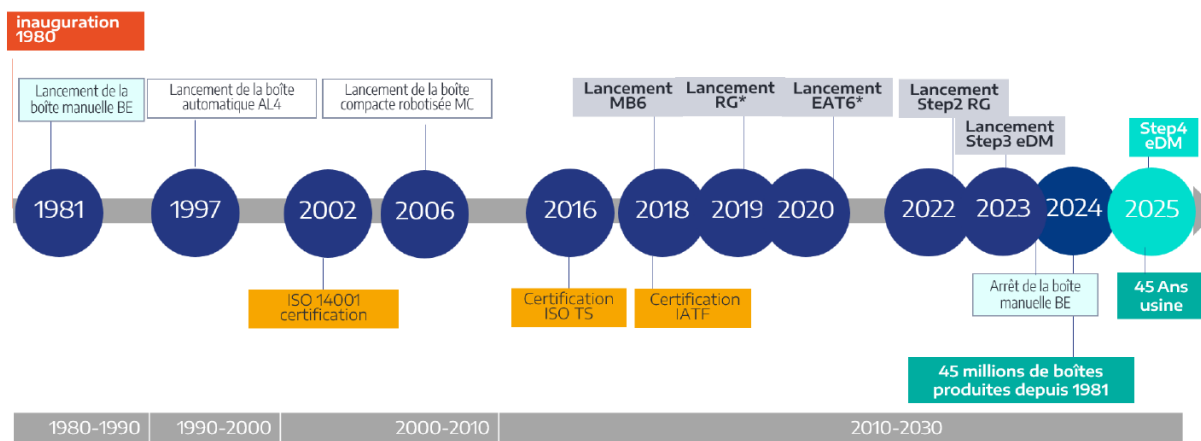


Figure 3 : Historique du site en quelques dates clés

Le site de Stellantis Valenciennes a récemment connu une réorganisation majeure, marquée par l'arrêt de la production de la boîte de vitesses manuelle BE, une boîte autrefois essentielle pour de nombreux modèles du groupe. Cette décision a conduit à la fermeture du bâtiment dédié à sa fabrication, symbolisant un tournant vers une production plus rationalisée.

Aujourd'hui, les activités de production sont centralisées dans un seul bâtiment, où sont regroupées les lignes de fabrication de la boîte automatique EAT6, ainsi que l'assemblage et l'usinage des boîtes MB6 et RG/eDM. Par ailleurs, le site a lancé une nouvelle ligne de production de la boîte eDM de quatrième génération (Step 4), dédiée aux plus gros véhicules électriques, renforçant ainsi l'engagement de Stellantis dans la transition vers une mobilité plus durable.



Figure 4 : Photo aérienne des bâtiments de production - Stellantis Valenciennes

En somme, le site de Stellantis Valenciennes s'étend sur une superficie impressionnante de 900 000 m<sup>2</sup>, dont 200 000 m<sup>2</sup> sont occupés par des bâtiments dédiés à la production. Le site abrite un ensemble de 827 machines, réparties sur 5 lignes d'assemblage. Parmi ses infrastructures, on compte également deux fours classiques, un four basse pression, et sept grenailleuses.

#### *b) Organisation interne de l'entreprise*

L'organisation interne de l'entreprise se divise en plusieurs services et départements, chacun ayant des responsabilités spécifiques mais interconnectées pour assurer le bon fonctionnement du site de production de Valenciennes. À la tête, le Directeur définit la stratégie globale et coordonne les grands axes de développement. Autour de lui, dix responsables pilotent les domaines clés : communication et assistance, suivi environnemental, fabrication, méthodes et process, qualité, gestion, achats, logistique, pilotage des projets et Relations Sociales et Humaines (RSH). La dimension humaine et le bien-être au travail sont portés par le Responsable RSH, au sein duquel s'inscrit le service prévention. C'est précisément au cœur de ce service prévention, sollicité pour anticiper et réduire les risques professionnels, que j'ai été accueillie en tant qu'apprentie ergonome.

- **Structure de la direction et du service Prévention**

Le service Prévention est un élément clé dans la gestion de la santé, de la sécurité, et des conditions de travail au sein de l'entreprise. Ce service est placé sous la responsabilité du service Ressources Sociales et Humaines (RSH), qui est directement rattaché à la direction du site. Cette configuration hiérarchique permet une coordination étroite entre la gestion des ressources humaines et les initiatives en matière de prévention des risques professionnels.

Le service prévention (Annexe 1) se compose de :

- 1 ingénieure Sécurité et Conditions de Travail (ISCDT) : Chargée de la stratégie globale en matière de sécurité et de conditions de travail, elle supervise les actions de prévention et assure la conformité avec les réglementations en vigueur.
- 2 techniciens préventeurs : Responsables de la mise en oeuvre des plans de prévention sur le terrain, ils travaillent en étroite collaboration avec les opérateurs et les responsables de production pour identifier et atténuer les risques.
- 1 apprentie prévention en contrat de professionnalisation : En formation, elle assiste l'équipe dans diverses tâches liées à la prévention, acquérant ainsi une expérience pratique précieuse.

Cette équipe travaille de concert avec les autres départements de l'entreprise pour garantir un environnement de travail sécurisé et conforme aux standards réglementaires.

- **Structure de la production et de la fabrication :**

Le processus de production au sein de l'entreprise est orchestré par une chaîne hiérarchique bien définie (Annexe 2) assurant l'efficacité et la qualité des opérations

- Responsable de Fabrication (RF) : Il occupe une position clé, supervisant l'ensemble des opérations de production sur le site. Il est le lien direct entre la direction et les équipes sur le terrain, garantissant que les objectifs de production sont atteints tout en respectant les standards de qualité.
- Responsables de Groupe (RG) : Au nombre de sept, ils sont chacun attribué à un secteur spécifique de production. Ils assurent la coordination des activités dans leur secteur et gèrent les équipes selon les besoins de la production. A noter que parmi eux, un RG est spécialement affecté à la gestion des équipes de nuit, et un autre au service VSD (vendredi, samedi, dimanche).
- Responsables d'Unité (RU) : Présents sur chaque secteur et répartis selon les tournées (D01 : matin ou D02 : après-midi), les RU supervisent les opérations quotidiennes de leur unité. Ils sont directement impliqués dans la gestion des équipes d'opérateurs, assurant le respect des procédures et le bon déroulement des activités de production.
- Moniteurs : Intermédiaires directs entre les RU et les opérateurs, les moniteurs jouent un rôle clé dans l'encadrement quotidien des équipes. Ils sont responsables de la formation des opérateurs aux procédures spécifiques, du suivi de la qualité du travail effectué, et de la résolution des problématiques techniques mineures. Leur présence sur le terrain garantit une supervision constante et une assistance immédiate aux opérateurs en cas de besoin.
- Opérateurs : À la base de la chaîne hiérarchique, les opérateurs exécutent les tâches de production conformément aux directives reçues. Leur travail est essentiel à la réalisation des objectifs de l'entreprise.

#### c) Production

Sur le site de Valenciennes, la production hebdomadaire avoisine désormais les 18 200 boîtes de vitesses, réparties entre trois grands types répondant chacun à des besoins techniques et commerciaux précis.

18 200 unités/semaine (05/2025)



Figure 5 : Les produits de Valenciennes

La MB6, boîte manuelle à six rapports, constitue l'essentiel du volume : près de 12 000 unités sortent chaque semaine de l'atelier. Composée de 183 éléments soigneusement usinés et déclinée en treize références, elle se distingue par sa robustesse et sa précision. Pensée pour offrir une conduite à la fois fluide et économe, elle délivre un couple de 250 Nm, garantissant réactivité et confort, que ce soit sur de petits trajets urbains ou sur autoroute.

À côté de cette mécanique classique, la ligne RG/eDM (réducteur de vitesse destiné aux véhicules électriques) produit environ 5 200 exemplaires par semaine. Avec ses 85 composants et ses trois variantes (dont une version renforcée, la RGm, capable de supporter jusqu'à 350 Nm), elle joue un rôle clé dans la gestion énergétique des modèles électrifiés du groupe. Sa conception compacte et optimisée contribue à améliorer l'autonomie tout en maintenant des performances dynamiques satisfaisantes.

Enfin, l'EAT6, boîte automatique à six rapports, demeure un pilier moins volumineux mais stratégique, avec près de 1 300 unités fabriquées chaque semaine. Forte de 350 pièces et proposée en quatre références, elle se distingue par la douceur de ses passages de rapports et son aptitude à concilier performance et maîtrise de la consommation.

Les boîtes de vitesses ainsi produites sur le site de Stellantis Valenciennes sont destinées à équiper une large gamme de véhicules issus des différentes marques du

groupe. Chaque type de boîte, qu'il s'agisse de la MB6, de la RG/eDM ou de l'EAT6, est spécifiquement conçu pour répondre aux exigences techniques et de performance des modèles qu'elles équipent (Annexe 3)

#### *d) Processus de fabrication*

La fabrication des boîtes de vitesses sur le site de Stellantis Valenciennes suit un processus rigoureux en plusieurs étapes (Annexe 4) chacune étant essentielle pour garantir la qualité et la performance des produits finis.

### **1. Réception des bruts**

Le processus commence par la réception des bruts, c'est-à-dire des pièces métalliques non usinées qui serviront de base pour la fabrication des composants de la boîte de vitesses. Ces bruts sont généralement en acier ou en alliages spéciaux, choisis pour leurs propriétés mécaniques adaptées à l'utilisation dans des systèmes de transmission.

### **2. Usinage en blanc**

Les bruts sont ensuite soumis à l'usinage en blanc, une étape où les pièces sont façonnées pour obtenir des dimensions proches de celles finales. Cette phase d'usinage consiste en des opérations de tournage, de fraisage, et de perçage, permettant de créer la forme générale des composants, tout en respectant des tolérances dimensionnelles strictes.

### **3. Traitement thermique**

Une fois l'usinage en blanc terminé, les pièces (à l'exception des carters et boîtiers) subissent un traitement thermique. Cette étape vise à améliorer les propriétés mécaniques des matériaux, notamment leur dureté et leur résistance à l'usure.

### **4. Usinage en noir**

Après le traitement thermique, les pièces passent par l'usinage en noir, qui inclut les dernières opérations de rectification et de rodage. Cette étape permet d'atteindre les dimensions finales avec une précision extrême, ainsi que d'améliorer la qualité des surfaces fonctionnelles des composants, garantissant ainsi leur bon fonctionnement au sein de la boîte de vitesses.

## **5. Assemblage**

Les composants usinés sont ensuite assemblés pour former la boîte de vitesses. Durant cette phase, des composants complémentaires, tels que des roulements, des joints et d'autres éléments spécifiques, achetés à l'extérieur, sont intégrés.

## **6. Expédition**

Enfin, les boîtes de vitesses complètes sont soumises à un dernier contrôle qualité avant d'être emballées et expédiées aux différentes usines de montage de véhicules.

### **B. Contexte de la demande initiale**

La demande initiale a été formulée par l'équipe projet en charge de l'industrialisation de la Step 4. Elle portait spécifiquement sur la réalisation de cotations ergonomiques prévisionnelles des postes manuels à partir des pré-gammes et du prescrit fournis par l'ingénierie. L'objectif était de produire une estimation des contraintes posturales et biomécaniques attendues sur trois postes ciblés (OP 910, OP 990 et OP 7100), afin de valider la conformité ergonomique des solutions envisagées et d'alimenter les décisions d'implantation.

Cette commande s'inscrivait dans une logique de validation technique : il s'agissait avant tout de disposer de valeurs chiffrées (via l'outil EWA) permettant de documenter les arbitrages du projet. Les livrables attendus prenaient la forme de fiches de poste, de tableaux de cotations et d'un rapport de synthèse à remettre à l'équipe projet, dans le respect du calendrier d'industrialisation.

Un cas particulier concernait le poste OP 910, pour lequel trois variantes d'aménagement étaient envisagées. L'équipe projet souhaitait obtenir un éclairage sur la solution la moins contraignante du point de vue ergonomique, afin de soutenir son choix final. Cependant, l'aménagement choisi a été déterminé bien avant toute intervention ergonomique.

Par construction, cette demande restait cependant centrée sur le prescrit (pré-gammes, séquences de travail définies sur plan), sans prise en compte initiale des fréquentiels, des aléas de production ou des retours terrain. L'intervention était donc cadrée comme une évaluation prédictive, où l'ergonomie était sollicitée principalement comme un outil d'aide à la validation, plutôt que comme une démarche intégrée dès la phase de conception.

### **C. Méthodologie - Rappel général et cadre d'ergonomie de projet**

L'ergonomie, dans sa tradition francophone, combine une visée scientifique et une visée interventionnelle : elle vise à comprendre l'activité humaine en situation de travail et à transformer l'environnement de travail pour préserver la santé des personnes tout en soutenant la performance des systèmes. Les notions clés qui structurent toute intervention ergonomique (reformulation de la demande, analyse du travail, hypothèses de rang 1 et 2, diagnostic local et global, prescription et suivi) servent ici de repères pour construire une démarche de projet concrète et opérationnelle.

L'analyse de l'existant occupe une place centrale dans cette démarche. Elle consiste à rassembler et à croiser les documents prescrits (plans, pré-gammes, historiques), les données opérationnelles (temps, arrêts, qualité) et les traces du travail réel (observations, vidéos, entretiens). L'objectif est d'identifier les écarts entre le prescrit et la pratique, de repérer les fréquentiels et les aléas, et de construire des hypothèses initiales (rang 1) sur les postes et séquences prioritaires à étudier plus finement.

Dans un cadre projetif, ces éléments alimentent une boucle itérative :

- **Reformuler la demande** avec le commanditaire

- A partir de l'analyse de l'existant, formaliser des hypothèses
  - De **rang 1** : définissent les grandes orientations d'investigation (identification des postes-clés, repérage des principales contraintes techniques, repérage des flux critiques...)
  - De **rang 2** : plus fines et plus ciblées
  - Construire des **scénarios** plausibles (variations de cadence, pannes, configurations)
  - **Confronter** ces scénarios aux acteurs via restitutions et ateliers
  - Formaliser le **diagnostic** :
    - **Local** qui porte sur l'analyse détaillée des postes de travail étudiés, et vise à formuler des recommandations spécifiques
    - Et **global** qui replace ces constats dans le cadre plus large de la problématique initiale et de l'organisation de l'entreprise, en évaluant la cohérence entre les objectifs stratégiques et la réalité opérationnelle

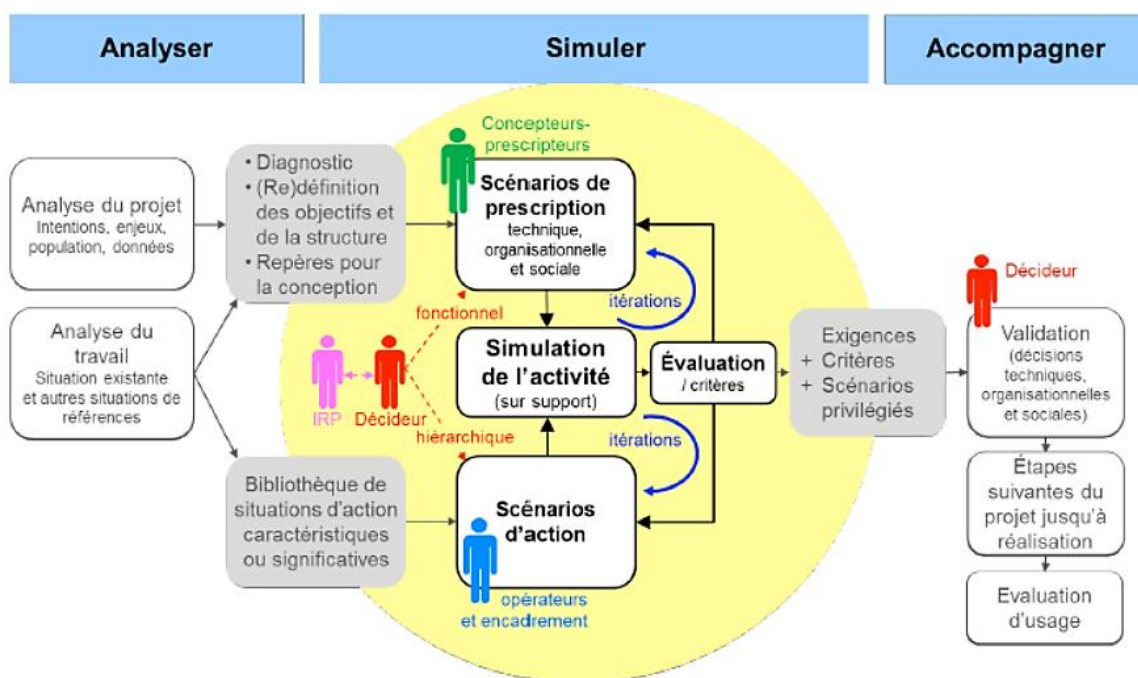


Figure 6 : Démarche de conduite de projet par l'ergonomie de l'activité (Van Belleghem & Barcellini, 2011)

Les solutions retenues sont finalement testées à petite échelle, évaluées (postures, charge cognitive, indicateurs de flux) et ajustées avant déploiement, avec

un dispositif de suivi pour mesurer effets et usages. Cette approche participative permet de dépasser une conception purement technico-centrée en ancrant les décisions dans la réalité du travail.

## **VI. Revue de littérature et fondements théoriques**

Pour comprendre les enjeux de la transition d'une logique purement technico-centrée vers une démarche anthropocentrée, il convient d'ancrer notre réflexion dans trois grands courants de l'ergonomie et de la conception industrielle. Nous passerons d'abord en revue l'approche technico-centrée, avant d'explorer l'alternative centrée sur l'activité réelle et, enfin, de préciser la notion d'anthropocentrisme au sein de l'ergonomie.

### **A. Approche technico-centrée en conception industrielle**

L'approche technico-centrée s'enracine dans les principes du taylorisme et du fordisme, dont l'ambition première était d'optimiser chaque facette de la production industrielle. Frederick W. Taylor (1911) prônait une décomposition minutieuse des gestes en postures élémentaires pour identifier « la meilleure manière » d'exécuter chaque tâche, tandis qu'Henry Ford (1926) poussa la standardisation à son apogée avec la chaîne d'assemblage mobile, réduisant drastiquement les temps de cycle. Ces méthodes, fondées sur la rationalisation des processus et la différenciation stricte des rôles (conception versus exécution), ont posé les bases de la production de masse moderne.

Sur un plan théorique, l'approche technico-centrée valorise la hiérarchisation des décisions de conception autour de la machine et des flux. Les études de flux de valeur (Value Stream Mapping) et les analyses coûts-bénéfices sont mobilisées en amont pour dimensionner les équipements, fixer les cadences et calibrer les stocks tampons (Rother & Shook, 1999). En complément, les normes ISO 6385 (principes ergonomiques) ou ISO 9241 (ergonomie des interactions homme-machine) sont souvent appliquées en fin de conception, sans remise en cause du process initial.

Cependant, plusieurs retours empiriques ont mis en évidence les limites de cette vision. D'une part, la focalisation sur la productivité conduit à négliger les marges de tolérance corporelles : postures statiques prolongées, gestes répétitifs et manipulations de charges, autant de facteurs reconnus pour engendrer troubles musculo-squelettiques (Burdorf et al., 2005; Marras & Kumar, 2004). D'autre part, la dimension cognitive reste souvent ignorée : les opérateurs doivent surveiller et synchroniser de multiples automatismes, sans disposer de supports adaptés pour gérer l'information ou réguler leur niveau de vigilance (Norman, 1988).

Sur le plan social, l'opérateur perd fréquemment le sentiment d'autonomie et de compétence, deux dimensions clés de la motivation au travail selon le modèle de Hackman et Oldham (1980). L'absence de participation des utilisateurs à la phase de conception limite les opportunités d'innovation « bottom-up » (émanant du terrain et des opérateurs) et renforce un sentiment de dépossession.

Face à ces constats, certaines démarches récentes de « manufacturing excellence » intègrent des audits QVT (Qualité de Vie au Travail) et des modules de Lean Safety, mais ces apports restent souvent déconnectés du cycle de conception initial. L'opérateur demeure perçu comme un paramètre à fiabiliser, plutôt que comme un acteur susceptible d'enrichir la conception par son expertise tacite et ses stratégies d'adaptation.

C'est dans ce contexte que se révèle le besoin d'alternatives centrées sur l'activité réelle, visant à rééquilibrer la relation entre technologie et humain, et à considérer la variabilité opératoire non comme un obstacle mais comme une source d'innovation.

## **B. Approche centrée activité réelle**

L'approche centrée sur l'activité réelle s'est imposée dès la fin des années 1970 comme une réponse aux limites de la conception technico-centrée. Jacques Leplat (1978, 1997) montra que l'écart entre l'activité prescrite (telle que dessinée sur plan ou décrite dans les procédures) et l'activité effective (celle réellement mise en œuvre par l'opérateur) rendait indispensable une étude in situ des gestes, des enchaînements

et des stratégies d'adaptation. Cette dualité entre « ce qui devrait être » et « ce qui est réellement » constitue le socle de l'Analyse Ergonomique du Travail (AET), dont l'une des premières ambitions est de documenter la variabilité opératoire, c'est-à-dire l'ensemble des ajustements que chaque personne installe pour faire face aux imprévus et aux exigences de cadence (Rasmussen, 1997).

Par la suite, Alain Wisner (1987) a enrichi cette perspective en soulignant le rôle des médiations techniques et symboliques. Pour Wisner, l'opérateur ne se contente pas de suivre un mode d'emploi ; il transforme, adapte et complète l'environnement de travail grâce à des outils matériels (aménagements locaux, bricolages) et immatériels (repères visuels, routines partagées). Ainsi, ce qui apparaît comme une simple « erreur » peut être le témoignage d'une stratégie d'ajustement pertinente, révélant des besoins non anticipés par la conception initiale.

Plus holistique encore, la Théorie de l'activité d'Engeström (1987) considère le travail comme un système où interagissent le sujet (l'opérateur), les outils, la communauté de travail, les règles et les objets de l'activité. Cette approche systémique permet de repérer non seulement les contraintes biomécaniques ou cognitives, mais aussi les ruptures de communication et les conflits de règles qui se jouent au quotidien sur la ligne de production.

Sur le plan méthodologique, la démarche centrée activité réelle conjugue observations prolongées, vidéo-analyse et entretiens semi-directifs. Les observations permettent d'identifier les phases de travail et de repérer les moments critiques. Par exemple, les manipulations difficiles ou les arrêts non programmés. La vidéo-analyse facilite la relecture détaillée des postures et des trajectoires de gestes (Cavazza, 2010), tandis que les entretiens avec les opérateurs révèlent les heuristiques et « ruses » qu'ils déploient pour maintenir la cadence (Falzon, 2002).

L'un des apports majeurs de cette approche est de faire émerger des solutions co-construites. En organisant des ateliers de co-analyse avec les opérateurs, la maintenance et l'ingénierie (Daniellou, 2005), l'ergonome favorise l'appropriation des aménagements et stimule l'innovation « bottom-up » (c'est-à-dire issue du terrain et des utilisateurs eux-mêmes). Les prototypes d'aménagement sont rapidement testés et ajustés, garantissant ainsi leur viabilité avant un déploiement à grande échelle.

Pour autant, cette démarche exige un investissement conséquent. Les itérations d'observation et de co-conception doivent être rigoureusement planifiées pour ne pas allonger indûment les délais de projet, et l'organisation doit être prête à remettre en question ses schémas initiaux (Leplat & Hoc, 2006).

Néanmoins, en recentrant la conception sur l'activité réelle, on parvient à des systèmes de travail plus robustes, capables de tolérer la variabilité humaine et de s'adapter aux imprévus, tout en améliorant la santé, le confort et la motivation des opérateurs.

### C. Anthropocentrisme et ergonomie

L'anthropocentrisme, dans le champ de l'ergonomie, revendique la primauté de l'humain comme référence normative première, plaçant son bien-être et ses capacités au cœur de tout processus de conception. Cette orientation s'est affirmée progressivement, notamment sous l'impulsion de la définition de l'International Ergonomics Association : *« la discipline scientifique qui vise à comprendre les interactions fondamentales entre les humains et les autres éléments d'un système, et la profession qui applique ces connaissances pour optimiser le bien-être des individus et la performance globale des systèmes »*. Dès lors, l'ergonome ne se limite pas à ajuster l'homme à la machine ; il interroge en amont les objets, les interfaces et les organisations pour que chacun soit construit en fonction des caractéristiques et des aspirations des utilisateurs.

Sur le plan théorique, l'anthropocentrisme puise largement dans les travaux de Donald Norman (1988), qui a démontré les conséquences dramatiques d'interfaces conçues sans tenir compte des modèles mentaux des opérateurs. Norman appelait de ses vœux un « design centré utilisateur » capable de réduire la charge cognitive et d'éviter les erreurs d'interprétation. Cette idée est reprise par Éric Morin (2006) dans son concept de « design participatif », où l'utilisateur devient co-concepteur de l'outil ou du système.

Au-delà des seuls aspects cognitifs, l'anthropocentrisme en ergonomie englobe également la dimension affective et sociale ; il ne s'agit pas seulement de « faire moins mal », mais de favoriser l'épanouissement et l'engagement au travail (Leplat & Hoc,

2006). L'entreprise, en adoptant cette posture, reconnaît que la motivation, la confiance et le sentiment de compétence des opérateurs sont des leviers majeurs de performance durable. Les travaux de Wisner (2007) ont ainsi insisté sur la nécessité de co-élaborer les environnements de travail à travers des processus participatifs, veillant à ce que les solutions retenues respectent à la fois les normes techniques et les représentations des utilisateurs.

Enfin, l'anthropocentrisme renforce la dimension éthique de l'intervention ergonomique. En considérant l'utilisateur non comme un simple « paramètre à fiabiliser » mais comme un acteur à part entière, il devient possible de concilier exigences économiques et exigences humaines, et de promouvoir une mobilité, une production ou des systèmes réellement durables et responsables. Cette approche s'inscrit pleinement dans la mission de l'ergonome : créer des systèmes où l'humain ne subit pas la technologie, mais s'en sert comme d'un prolongement de ses compétences et de sa créativité.

## **VII. Présentation du projet RG Step 4 e-DM**

### **A. Contexte du projet**

La naissance du projet RG Step4 e-DM s'inscrit dans une période de transformation profonde pour Stellantis, confronté aux défis de la transition énergétique et à l'évolution rapide des attentes des marchés automobiles. À l'échelle du groupe, l'ambition affichée est claire : atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2038 et électrifier progressivement l'ensemble des gammes. Cette stratégie se traduit par le lancement de modèles 100 % électriques (comme la Fiat 500 e, la DS 3 Crossback E-Tense ou le futur Opel Astra Electric).

Dans ce contexte global, le site de Valenciennes, historiquement spécialisé dans la production de boîtes de vitesses pour motorisations thermiques, s'est vu confier l'extension de ses capacités pour répondre à cette nouvelle donne. Il a déjà relevé deux défis majeurs avec la mise en œuvre des lignes RG Step 2 et RG Step 3 (pour les pièces RG1 et RGM).

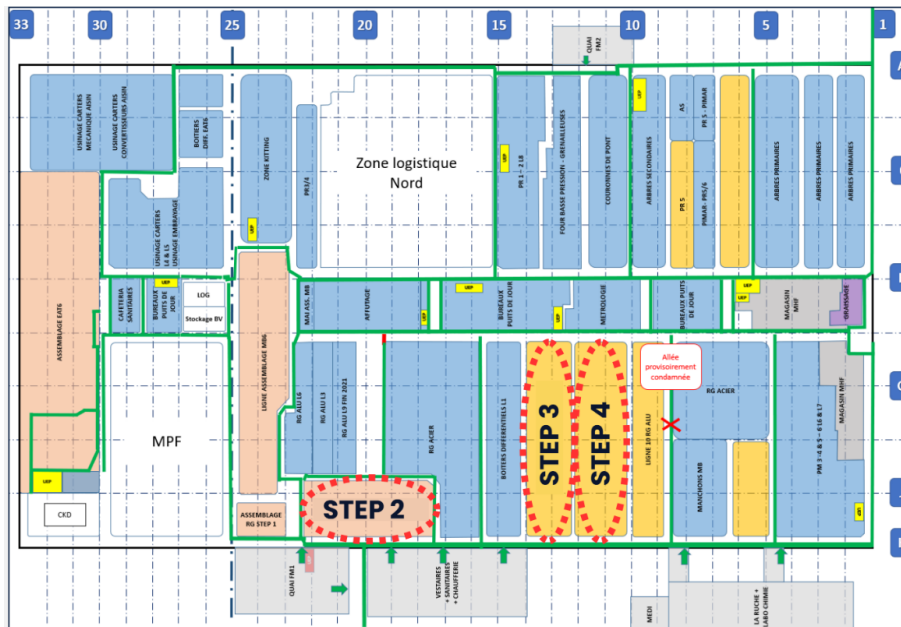


Figure 7 : Plan de l'usine Stellantis Valenciennes - Localisation de Step 2, Step 3 et Step 4

Face à l'essor des véhicules électriques, Valenciennes poursuit donc cette dynamique en se lançant dans la production du réducteur e-DM pour les gros véhicules électriques du groupe. La ligne RG Step 4 e-DM est conçue pour assembler un module de réduction de vitesse robuste (RGM), capable de délivrer un couple élevé (jusqu'à 350 Nm) tout en répondant aux exigences de compacité et de légèreté indispensables aux architectures électrifiées.

Le contexte industriel de ce projet combine plusieurs dimensions :

- **Montée en compétences techniques**, avec l'introduction de nouvelles machines et procédés d'assemblage automatisés,
- **Adaptation des flux logistiques**, pour gérer en simultané les composants traditionnels des boîtes thermiques et les sous-ensembles spécifiques du réducteur électrique,
- **Renforcement de la performance globale**, afin d'atteindre une cadence de l'ordre de 5 200 unités par semaine, tout en assurant la fiabilité et la traçabilité du process.

Ce contexte, à la fois technique et organisationnel, constitue le cadre dans lequel s'inscrit l'analyse ergonomique de ce mémoire, visant à accompagner la

transition vers une production dédiée aux réducteurs RGM tout en tenant compte de la réalité du travail des opérateurs.

## B. Processus global et organisation de la ligne

La ligne Step 4 est dédiée à l'assemblage des boîtiers électriques de type RGM. Elle se compose de 27 postes de travail, dont 24 automatisés et 3 manuels, organisés en 4 grandes sections qui assurent la progression du produit depuis la préparation des composants jusqu'à sa finalisation.

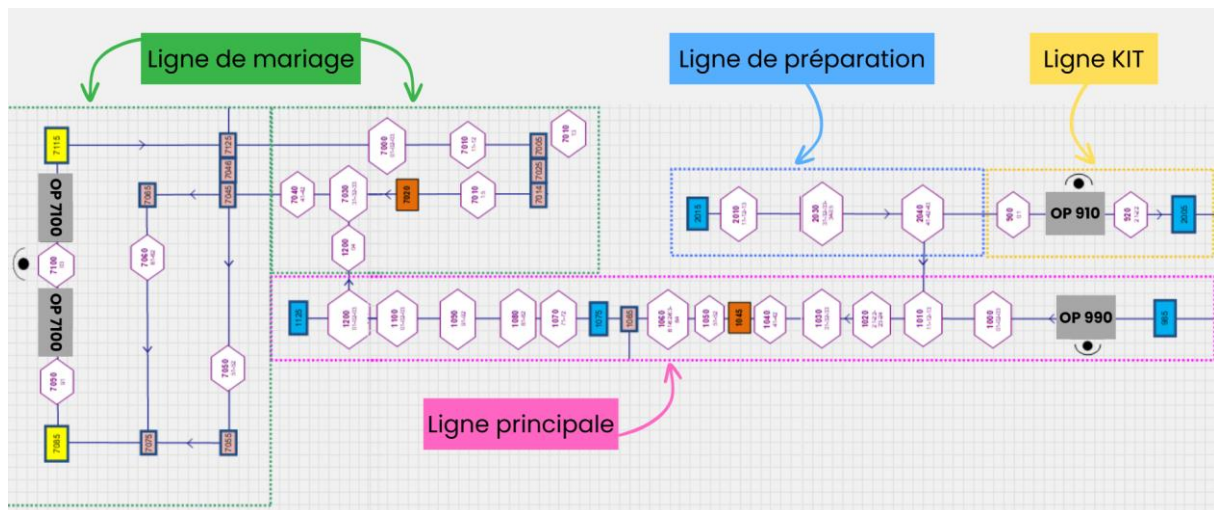


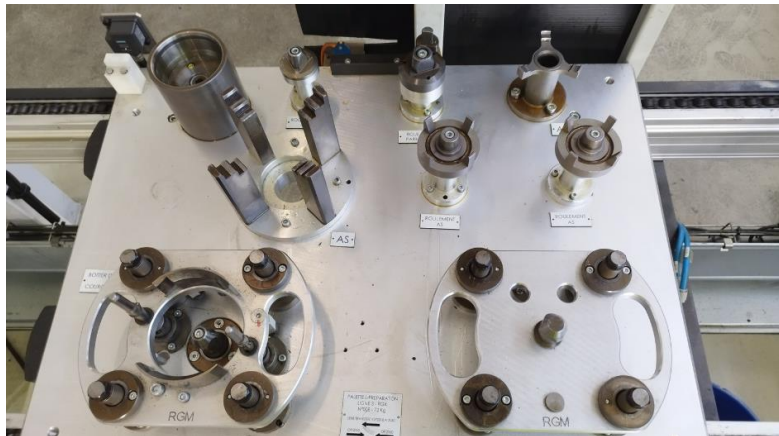
Figure 8 : Synoptique de Step 4

### Ligne de préparation :

Cette étape est entièrement automatisée. Elle a pour fonction de préparer les sous-ensembles mécaniques nécessaires au montage final, notamment par l'emmanchement et le vissage des pièces internes. A l'issue de cette phase, les modules préassemblés sont transférés automatiquement vers la ligne principale.

### Ligne de kitting :

Le processus démarre par un poste manuel où l'opérateur charge les différentes pièces constituant le kit (RGM, AS, roues de park, joints, etc.) sur une palette dédiée. Cette palette est ensuite contrôlée automatiquement afin de vérifier la conformité du kit.



*Figure 9 : Palette de Kit - Step 4*

### Ligne principale :

Au cœur de Step 4, cette section combine une succession de postes automatisés et un poste manuel. Les automates réalisent l'emmanchement, l'insertion, le vissage et les contrôles intermédiaires, tandis que l'opérateur intervient sur la mise en place des carters et la préparation du carter réducteur. Cette étape permet de constituer l'ensemble du boîtier électrique avant son transfert en fin de ligne.

### Ligne de mariage :

Dernière étape du processus, la ligne de mariage regroupe les opérations de finition et de contrôle. L'opérateur assure l'habillage final du boîtier (mise en place de bouchons et joints) ainsi que le déchargement des modules assemblés. Les contrôles de conformité sont assurés par des systèmes automatisés.

## C. Les postes manuels (OP 910, OP 990, OP 7100)

### 1. OP 910 - Ligne Kit : description prescrite du poste



*Figure 10 : Photo du poste OP910 - Step 4*

#### **Repères temporels :**

Le pré-programme indique un « cycle time » de 1,06 minute et un « allocated time » de 0,82 minute. Ici, le *cycle time* correspond au temps global alloué par produit (takt) pour faire avancer la palette d'un poste à l'autre. L'« allocated time » désigne la part de ce cycle réservée aux actions manuelles de l'opérateur (le temps « visible »), le reste du temps étant occupé par des opérations automatiques ou masquées (transferts, indexages, etc.).

#### **Organisation physique du poste :**

Derrière l'opérateur se trouvent trois élévateurs électriques, chacun constitué de deux rangées de paniers (5 paniers de chaque côté). Deux de ces élévateurs sont affectés au stockage des couronnes de pont d'un côté et des arbres secondaires de l'autre. Le troisième élévateur comporte, d'un côté, les arbres primaires et, de l'autre, les boîtiers différentiels. Sur le bord du convoyeur, alignés sur des supports, se trouvent trois bacs distincts contenant les petites pièces à faible volume : cylindres, cônes et roues de park

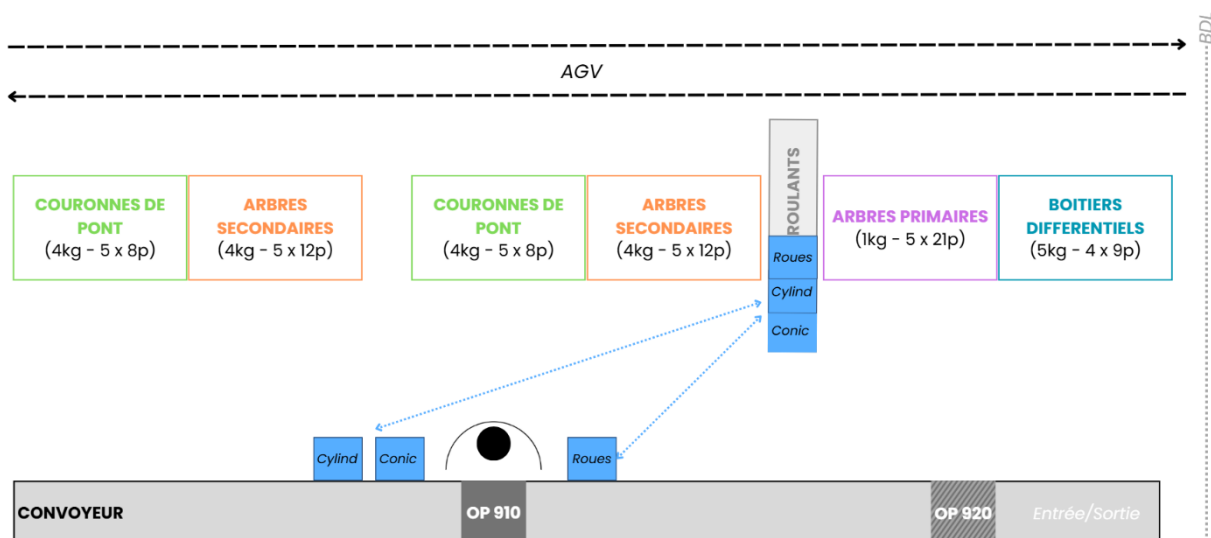


Figure 11 : Schéma du poste OP 910 - Kit - Step 4

### Déroulé prescrit du cycle :

La palette arrive en position de travail. L'opérateur prélève d'abord, selon la séquence prévue, les pièces volumineuses dans les élévateurs (boîtiers différentiels, couronnes, arbres). Il dépose ces éléments aux emplacements prédéfinis de la palette. Ensuite, il se sert dans les bacs le long du convoyeur pour ajouter les petites pièces (roulements, cônes, roues de park, cylindres). Entre chaque prélèvement, l'opérateur réalise de courts déplacements jusqu'aux casiers ou paniers concernés, puis revient positionner les pièces sur la palette. L'OP 920 sur le schéma ci-dessous correspond au poste de contrôle robotisé.

### Opérations annexes / Fréquentiels :

Le poste inclut également des opérations périodiques de gestion des paniers et des élévateurs (vidage/chargement de paniers, remplacement de bacs, geste de maintenance lié à l'AGV). Une fois le kit complet, la palette est remise en ligne et soumise à un contrôle de conformité automatisé avant d'être transférée.

## 2. [OP 990 -Ligne principale : description prescrite du poste](#)

### Repères temporels et rôle :

Le prescrit affiche un cycle time de 1,10 minute et un allocated time de 1,06 minute. Rappel : l'*allocated time* correspond à la part du cycle consacrée aux actions

manuelles visibles de l'opérateur ; le reste du temps est occupé par des opérations automatisées (vissage automatique, contrôles, transferts) ou masquées par les machines.

### **Organisation matérielle autour du poste :**

Les carters (réducteur et connexion) sont approvisionnés derrière l'opérateur dans des conditionnements retournables disposés en thermomoulages (plusieurs niveaux par conditionnement). Les petites pièces (verrou de park, manchon, goulotte, visserie, pastilles, etc.) sont accessibles sur un meuble de type kanban situé sur la droite de l'opérateur. La palette arrive sur une butée ; des lectures automatiques (datamatrix) et des opérations masquées de transfert synchronisent l'enchaînement avec les automates.

### **Découpage en sous-postes (990.1 / 990.2) :**

Le poste OP 990 est organisé en deux séquences successives :

- **OP 990.1** : mise en place des carters et des éléments structurants. À l'arrivée de la palette, l'opérateur prélève le carter de connexion puis le carter réducteur dans leurs conditionnements et les positionne sur la palette selon la gamme. Il installe ensuite des éléments préliminaires : verrou de park, manchon, support biellette anti-couple, aimant et goulotte d'amenée d'huile. Certaines opérations de maintien/épinglage des vis sont réalisées manuellement (pose à deux mains selon la séquence), tandis que le vissage final de certaines fixations est pris en charge par des outils automatiques.
- **OP 990.2** : mise en place de l'actionneur et opérations d'huilage / bridage. L'opérateur récupère l'actionneur, le présente sur le dispositif d'huilage si nécessaire, puis le positionne dans l'outil de mise en place. Les automates effectuent ensuite l'emmanchement et les vissages de serrage (vissage des vis d'actionneur, vissage goulotte), tandis que l'opérateur veille au positionnement et réalise les opérations préparatoires (pré-positionnement des vis, épinglage, reprise d'éléments huilés).

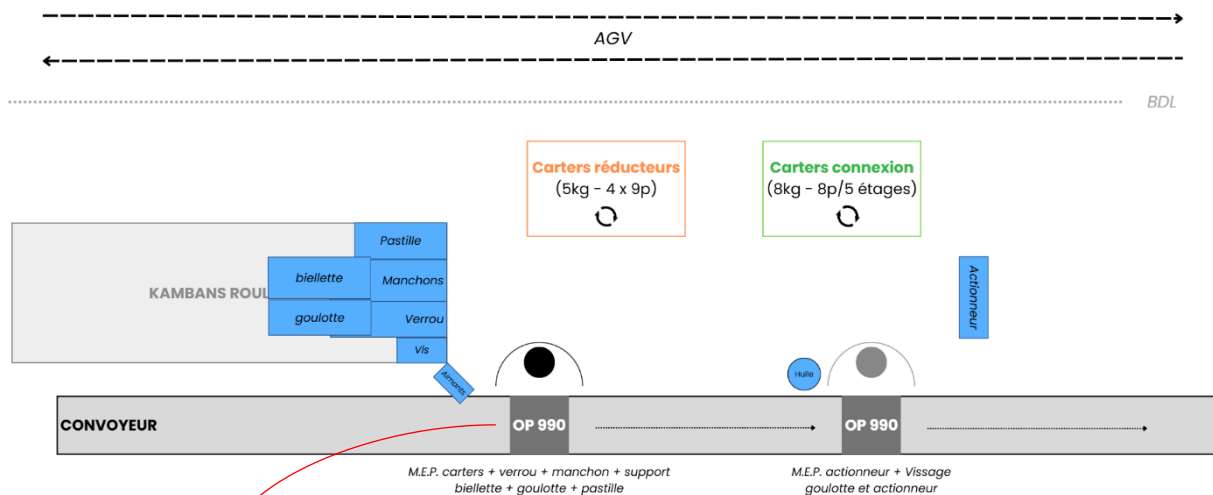


Figure 12 : Schéma du poste OP 990 -Ligne principale -Step 4



Figure 13 : OP 990 - Step 4

### Opérations automatisées et contrôles :

Plusieurs étapes sont assurées automatiquement : lectures datamatrix, zippage de kits/colis, descente et remontée d'outillage, vissages automatiques, bridage et contrôles d'étanchéité. Les résultats des contrôles sont enregistrés automatiquement (écriture des résultats sur le cycle) avant le désindexage de la palette.

### Fréquentiels et opérations périphériques :

Le poste intègre aussi des tâches récurrentes hors cycle strict (fréquentiels) : rotation des embases carter gestion des boîtes POE (petits éléments d'assemblage), et interventions mineures sur l'approvisionnement. Ces opérations sont prévues ponctuellement et figurent dans la gamme comme interruptions normales du flux.

### 3. OP 7100 - Ligne de mariage : description prescrite du poste

Le poste 7100 correspond à l'étape dite de « mariage », où les ensembles différentiels moteurs (eDM) reçoivent leurs éléments d'habillage avant d'être transférés dans une unité de conditionnement (UC). Cette phase est divisée en deux séquences principales : l'habillage de l'eDM (7100.1) puis son déchargement et son transfert (7100.2).



*Figure 14 : Photo du poste OP7100 - Step 4*

#### **Repères temporels :**

- allocated time = 0,50 min
- cycle time = 1,14 min.

Dans un premier temps, à l'OP 7100.1, la palette contenant l'eDM est transférée et indexée automatiquement. L'opérateur intervient ensuite pour compléter l'habillage de la pièce. Cela comprend la mise en place de différents bouchons, obturateurs et

La seconde étape, à l'**OP 7100.2**, consiste au déchargement de l'eDM et à son intégration dans l'UC. L'opérateur saisit l'eDM à l'aide d'un manipulateur puis le positionne dans l'unité de manutention. Cette opération est suivie d'actions complémentaires, comme le verrouillage des pièces dans l'UC ou la pose d'une étiquette GALIA.

Le schéma illustre le processus de production de la BDL, divisé en deux phases principales : l'habillage et le déchargement EDM.

**Phase 1 : Habillage EDM**

- Le processus commence avec un **Robot** qui place des **cartons** sur un **CONVOYEUR**.
- Les cartons passent par une station **OP 710** (Habillage EDM).
- À cette station, les cartons sont équipés de **Bouchons sortie d'eau**, de **Bouchons entrée d'eau**, de **Obtrateurs** et de **Joints**.
- Le processus se poursuit avec des **Obtrateurs Schnorkel** et des **Obt. bouchon remplissage**.
- Les cartons passent ensuite par une station **Contrôle auto**.

**Phase 2 : Déchargement EDM**

- Après le contrôle, les cartons arrivent à une seconde station **OP 710** (Déchargement EDM).
- Ils sont alors conditionnés dans des **Unités de Conditionnement (UC)**.
- Le processus se termine par une **Circulation préenseur** qui dirige les cartons vers les unités de conditionnement.

## VIII. Analyse de l'existant : RG Step 2 et RG Step 3

Cette étape permet de comprendre comment les lignes de production actuelles fonctionnent, quelles sont leurs caractéristiques techniques, organisationnelles et humaines, et comment elles influencent l'activité réelle des opérateurs.

L'analyse de l'existant vise donc à dresser un état des lieux : elle ne se limite pas à la description technique des moyens en place, mais cherche également à mettre en évidence les conditions de travail, les contraintes, les régulations mises en œuvre par les opérateurs, et les éventuels écarts entre ce qui est prescrit et ce qui est réellement réalisé.

Dans le cadre du projet Step 4, cette analyse s'appuie sur le retour d'expérience des lignes précédentes (Step 2 et Step 3), afin d'identifier à la fois les réussites et les points de vigilance qui pourront nourrir la conception de la nouvelle ligne.

#### **A. Collecte et analyse des traces**

L'analyse des traces constitue une étape centrale de toute intervention ergonomique : il s'agit de rassembler et d'examiner les traces matérielles et documentaires (rapports, registres d'incidents, indicateurs RH, comptes-rendus CSE, etc.) qui rendent compte des conditions de travail et des événements passés. Ces éléments permettent d'établir un état des lieux objectif et d'orienter les observations de terrain et l'élaboration d'hypothèses de travail.

#### **Effectifs et profil démographique**

Le site compte environ 1 257 salariés en 2025 (CDD, CDI, intérimaires, apprentis). L'effectif a fortement diminué depuis la décennie précédente ( $\approx 2\,605$  en 2011  $\rightarrow$  1 257 en 2025), tendance qui peut peser sur la charge de travail et la polyvalence des postes. L'âge moyen des salariés se situe autour de 47-49 ans selon les catégories, avec une ancienneté moyenne élevée ( $\approx 19$ -24 ans selon les catégories socio-professionnelles). Ces caractéristiques indiquent une population expérimentée mais plus vulnérable aux contraintes physiques cumulées et aux pathologies chroniques liées au temps de travail.

|                      | FEMMES | HOMMES |
|----------------------|--------|--------|
| OUVRIERS             | 46,95  | 48,38  |
| ETAM                 | 48,17  | 49,86  |
| INGÉNIEURS ET CADRES | 47,22  | 50,00  |
| TOTAL                | 47,09  | 48,63  |

Figure 16 : Age moyen par Catégorie Socio-Professionnelle (CSP) et par sexe en 2024

|                      | FEMMES | HOMMES |
|----------------------|--------|--------|
| OUVRIERS             | 17,80  | 23,24  |
| ETAM                 | 24,08  | 25,41  |
| INGÉNIEURS ET CADRES | 20,11  | 24,26  |
| TOTAL                | 18,61  | 23,54  |

Figure 17 : Ancienneté par Catégorie Socio-Professionnelle (CSP) et par sexe en 2024

## Taux d'absentéisme

Le taux d'absentéisme rémunéré a fluctué récemment, avec une hausse observable (par ex. 5,38 % en 2022). Une augmentation relative de l'absentéisme, couplée à une réduction des effectifs, peut amplifier les tensions opérationnelles (remplacements, surcharges ponctuelles) et diminuer la marge de manœuvre pour absorber les aléas.

## Accidentologie et maladies professionnelles (AT / MP)

Les bilans annuels montrent des épisodes récurrents de pathologies musculo-squelettiques et d'accidents localisés sur les Steps 2 et 3 : épicondylites, douleurs à l'épaule, canal carpien, et divers accidents liés à des manipulations ou à des interactions avec des équipements (palan, préhenseur). Les chiffres annuels (ex. 11 MP en 2024 tous secteurs confondus, dont plusieurs cas sur Step 2 ; des AT variés en 2023-2025) confirment la présence d'expositions significatives aux risques biomécaniques. Les ALT (alertes) identifiées en 2023-2025 (difficultés d'utilisation du palan, hauteur inadaptée de mobilier, flexions dorsales répétées, douleurs d'épaule) ciblent régulièrement les mêmes types de contraintes : manutention, hauteur inadaptée, et encombrement.

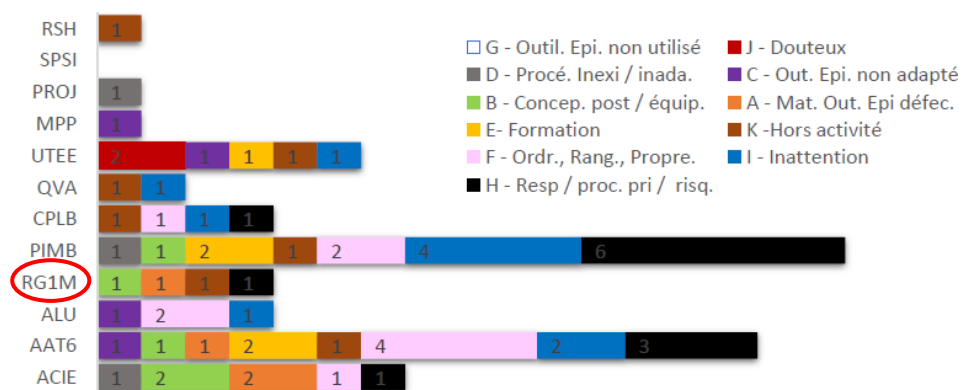


Figure 18 : Répartitions des accidents par cause (2023)

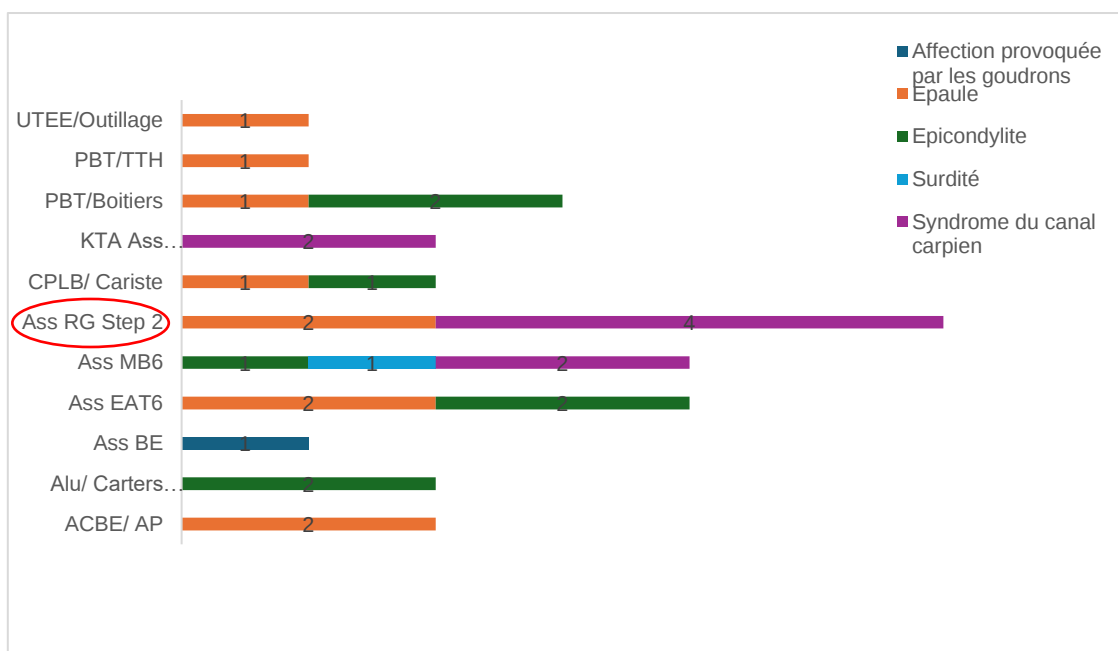


Figure 19 : Type de MP selon les secteurs

## Organisation du travail et production

L'organisation actuelle repose sur deux tournées ( $\approx 7$  h/jour). Les volumes de production observés (Step 2 :  $\approx 1\,700$  unités; Step 3 :  $\approx 2\,700$ - $2\,900$  unités en période estivale) traduisent des cadences élevées et un recours fréquent à la polyvalence opérateur. Step 3 mobilise davantage d'opérateurs (6 vs 3 sur Step 2) pour des tâches comparables : cette répartition modifie les charges individuelles et la gestion des fréquents.

## **Indices de friction opérateur / équipement**

Les ALT et les retours d'accidents montrent des dysfonctionnements réguliers d'automates (robots de contrôle, préhenseurs) et des problèmes logistiques (gestion des thermoformages, encombrement des postes) qui génèrent des opérations de rattrapage manuelles et allongent la charge de travail réelle au-delà du prescrit.

## **Implications pour l'analyse ergonomique**

Les traces disponibles mettent en évidence plusieurs signaux convergents : une population d'opérateurs relativement âgée et expérimentée, une fréquence non négligeable de pathologies musculo-squelettiques et d'accidents liés à la manutention et aux aléas techniques, ainsi qu'une organisation productive tendue. Ces éléments renforcent la pertinence des hypothèses formulées (charge physique cumulative, déplacements et station debout, effets des pannes/aléas) et imposent de prendre en compte, dans la conception de la Step 4, la dimension cumulative des fréquents et les scénarios « mode dégradé ».

### **B. Cartographie des postes manuels**

Afin d'objectiver les contraintes physiques associées aux postes manuels, une analyse a été réalisée à l'aide de l'outil EWA (Ergonomic Workstation Assessment), utilisé au sein du groupe Stellantis. Cet outil permet d'évaluer de manière quantitative l'activité en la décomposant tâche par tâche, et en mesurant différents critères tels que le temps d'exécution, les charges manipulées, les distances parcourues et les positions de travail. Chaque poste est ensuite classé selon un code couleur (vert, orange, rouge), qui reflète le niveau d'exigence énergétique et de pénibilité associé. Il est à noter que les fréquents (opérations annexes, activités ponctuelles ou imprévues) ne sont pas intégrés dans cette cotation. L'évaluation présentée ici se concentre donc sur les tâches régulières et prescrites, ce qui implique que le niveau réel de contrainte peut être supérieur à celui mis en évidence par l'outil.

Le tableau ci-dessous reprend les principaux résultats des cotations (dépense énergétique, port de charge et mobilité) ainsi que la couleur attribuée au poste

A noter que dans l'outil EWA, la dépense énergétique correspond à une estimation de l'effort physique fourni par l'opérateur pour réaliser son cycle de travail.

Elle est calculée à partir de plusieurs paramètres : charges manipulées, distances parcourues, positions adoptées et temps consacré à chaque tâche. Le résultat est exprimé sous forme d'un indice (en moyenne entre 2 et 4 pour les postes observés), auquel est associée une couleur :

- **Vert** : niveau d'effort faible à modéré, considéré comme acceptable.
- **Orange** : niveau d'effort élevé, nécessitant une vigilance.
- **Rouge** : niveau critique, traduisant une surcharge importante pour l'opérateur.

| Secteur       | Poste(s)                                    | Nb opérateurs | Dépense énergétique (EWA) | Port de charge (Kg/h) | Mobilité (km/équipe) | Cotation globale |                |
|---------------|---------------------------------------------|---------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|----------------|
| <b>Step 2</b> | OP 910<br>Chargement palette au kit         | 1             | 2,90                      | 2988                  | 5,19                 | Orange           | Port de charge |
| <b>Step 3</b> | OP 910<br>Chargement boîtiers différentiels | 1             | 3,39                      | 1692                  | ~2                   | Orange           |                |
|               | OP 920<br>Chargement AP/AS/couronne de pont | 1             | 3,21                      | 2308                  | 6,24                 | Orange           |                |
| <b>Step 2</b> | OP 990<br>Préparation carter réducteur      | 1             | 3,31                      | 2937                  | ~5                   | Orange           | Port de charge |
| <b>Step 3</b> | OP 990<br>Préparation carter réducteur      | 1             | 2,98                      | 1438                  | 2,35                 | Orange           |                |
|               | OP 1000<br>Préparation carter réducteur     | 1             | 3,34                      | 1749                  | 2,35                 | Orange           |                |
| <b>Step 2</b> | OP 7100<br>Habillage + déchargement eDM     | 1             | 2,32                      | -                     | ~6                   | Orange           |                |
| <b>Step 3</b> | OP 7100 -<br>Habillage eDM                  | 1             | 2,21                      | -                     | -                    | Vert             |                |

|  |                            |   |      |   |    |                                               |
|--|----------------------------|---|------|---|----|-----------------------------------------------|
|  | OP 7120 -<br>Chargement UM | 1 | 2,74 | - | ~5 | Orange (prise<br>préhenseur<br>contraignante) |
|--|----------------------------|---|------|---|----|-----------------------------------------------|

Tableau 1 : Synthèse de la cartographie EWA des postes manuels (Step 2 et Step 3)

Ce tableau met en évidence plusieurs tendances fortes. Les postes de chargement au kit (OP 910/920) présentent des ports de charge particulièrement élevés, associés à des distances de mobilité importantes. Ils figurent parmi les postes les plus contraignants de la ligne. La préparation des carters réducteurs (OP 990/1000) confirme également un niveau globalement élevé de dépense énergétique, avec des contraintes liées à la manipulation répétée de pièces lourdes et encombrantes.

À l'inverse, les activités liées à l'habillage eDM (OP 7100 - **Annexe 14**) apparaissent nettement moins exigeantes sur le plan physique, ce qui se traduit par une cotation verte. Toutefois, le chargement UM (OP 7120) se distingue par une dépense énergétique plus élevée et une posture contraignante lors de la manipulation au préhenseur, qui le place en zone orange.

Enfin, il est important de rappeler que ces résultats ne tiennent pas compte des fréquentiels (tâches annexes, imprévus, déplacements complémentaires). De ce fait, la réalité de l'activité est probablement plus contraignante encore que ne le laisse apparaître cette cartographie.

Ces éléments d'observation convergent vers un constat pragmatique : les ajustements opératoires mis en place par les équipes (préparation de deux palettes, mise en commun des tâches, astuces locales) témoignent d'une adaptativité nécessaire pour tenir la cadence, mais révèlent aussi des points d'usure potentiels (erreurs de référence, hausse des fréquentiels, recours à des stratégies non prescrites).

### C. Retours d'expérience d'opérateurs, méthodes et observations terrain

Les observations menées sur site, complétées par les entretiens informels et les retours des opérateurs, apportent un éclairage concret sur la manière dont se

déroule le travail aux postes manuels des Steps 2 et 3. Ces éléments ne visent pas à porter un jugement définitif ; ils restituent la réalité vécue au quotidien et permettent de comprendre pourquoi certaines contraintes relevées par les cotations EWA se traduisent en difficultés opérationnelles.

Sur le poste de kitting (OP 910 / OP 920), la pratique courante consiste à préparer les palettes en lot de deux pour gagner du temps : les opérateurs posent souvent les petites pièces sur plusieurs palettes simultanément et remplissent les emplacements successifs afin d'éviter des allers-retours. Cette stratégie d'efficacité est cohérente avec :

- Le ressenti d'une cadence soutenue : en Step 3, les opérateurs disposent d'environ 30 secondes par cycle pour certaines tâches contre près d'une minute en Step 2
- Des volumes de production nettement plus élevés (ordre de grandeur : ~430 pièces en Step 2 versus ~900 pièces en Step 3 selon les périodes observées).

Derrière ces pratiques se niche une série de contraintes matérielles et organisationnelles : les trois élévateurs électriques (Annexe 14) situés derrière le poste contiennent des paniers de pièces volumineuses (couronnes, arbres primaires/secondaires, boîtiers différentiels) répartis en colonnes de cinq paniers. Le tirage et la manipulation de ces colonnes génèrent des efforts mesurables (estimations : 8 -11 kg selon le type de panier chargé), souvent réalisés d'une seule main. Une aide mécanique existante (barre d'assistance pour tracter les colonnes) n'est que très rarement employée parce que sa mise en place est perçue comme trop chronophage ; ce qui illustre le compromis pragmatique entre sécurité/ergonomie et exigence de cadence.

Plusieurs observations opérationnelles sont récurrentes et influencent directement la qualité du flux. Le déballage des petites pièces à partir de cartons crée progressivement de l'encombrement sur les meubles roulants/kanbans ; l'absence d'un étiquetage explicite des paniers ou des thermoformages complique l'intégration des nouveaux opérateurs et accroît le risque d'erreur (ex. confusion entre couronnes de diamètre 15 cm et 19 cm). Lorsque les paniers s'épuisent, l'opérateur doit parfois marcher une dizaine de pas pour les déposer ou en récupérer de pleins, ce qui,

multiplié sur une journée, augmente la dépense énergétique cumulée. Enfin, l'arrêt fréquent du robot de contrôle sur la ligne alourdit la charge cognitive et physique : en l'absence de contrôle automatique, les équipes doivent effectuer elles-mêmes des vérifications visuelles et des corrections, ce qui retarde le flux et peut conduire à des arrêts de ligne pour rectification lorsqu'une erreur (p. ex. mauvaise taille de couronne) remonte en aval.

Sur la préparation des carters (OP 990 / OP 1000), la manipulation répétée de carters de 5 à 8 kg (parfois saisis à hauteur d'épaule) est citée par les opérateurs comme une contrainte notable. Les conditionnements (thermoformages) facilitent le stockage mais deviennent vite encombrants lorsqu'il faut les retourner, vider les étages et repositionner les contenants. Cette succession d'opérations « hors cycle » relève des fréquentiels qui, rappelons-le, ne sont pas comptabilisés dans la cotation EWA mais pèsent sur le rythme effectif du poste. Les aides à la manutention présentes ne sont pas toujours intuitives dans leur prise en main : les opérateurs rapportent des gestes de « forçage » qui traduisent une mésinsertion de l'outil dans le processus, plutôt qu'un fonctionnement fluide et naturel

La ligne de mariage (OP 7100) illustre un autre invariant : la dissociation entre une activité d'habillage majoritairement répétitive et relativement rapide, et une opération de déchargement/chargement sur UM qui mobilise force, précision et maintien postural. Le recours au préhenseur pour saisir l'eDM allège la manutention, mais impose à l'opérateur de maintenir la pièce lors de la levée et de viser précisément la position dans le thermoformage (geste qui demande un maintien du bras à hauteur d'épaule et une concentration soutenue. C'est ce point précis qui explique qu'OP 7100 apparaisse parfois comme moins « énergivore » dans la cotation, alors que la contrainte localisée (posture, précision) reste prégnante et sujette à fatigue.

Un autre thème largement évoqué lors des entretiens concerne la gestion des pannes. Les robot-contrôles hors service entraînent des adaptations de fait : les opérateurs se substituent partiellement aux fonctions de contrôle et de maintenance (recherche de solutions temporaires, nettoyage, essais), parfois au péril d'une sous-qualité de la mesure ou d'un arrêt ultérieur. Cette polyvalence informelle montre l'engagement collectif mais expose aussi à des risques (augmented workload, erreurs de jugement sur des réparations techniques). Par ailleurs, lorsque Step 3 est en arrêt pour panne,

la charge reportée sur Step 2 augmente sensiblement, entraînant des périodes de suractivité et des reprises de cadence qui amplifient la fatigue.

#### **D. Synthèse des points bloquants**

L'analyse de l'existant sur les lignes RG Step 2 et Step 3 met en évidence un ensemble d'éléments favorables au travail des opérateurs, mais aussi un certain nombre de contraintes qui, à terme, peuvent générer des difficultés en termes de santé, de performance et de qualité. Ces constats sont issus des cotations EWA, des observations terrain et des retours d'expérience des opérateurs.

L'analyse de l'existant, croisant observations terrain, retours d'expérience d'opérateurs et premières cotations, met en évidence plusieurs contraintes récurrentes sur les postes manuels. Celles-ci se traduisent principalement par :

- **Des sollicitations physiques élevées**, notamment liées aux manutentions répétées de charges (carters, paniers, thermoformages) et à des postures contraignantes (bras en élévation, traction à une main, maintien de pièces lourdes en hauteur).
- **Une organisation du travail exigeante**, marquée par des cadences perçues comme soutenues, des marges de manœuvre réduites et la nécessité de gérer simultanément des tâches principales et des activités périphériques (fréquentiels, surveillance des AGV, gestion des pannes).
- **Un environnement parfois peu lisible ou encombré**, rendant la circulation et la reconnaissance des pièces plus complexes (absence d'étiquetage clair, confusion possible entre références proches, gestion des contenants vides et pleins).
- **Une forte variabilité liée aux aléas techniques**, les pannes fréquentes de robots de contrôle et les retards logistiques contribuant à accroître la charge de travail et à dégrader la continuité des cycles opératoires.

Ces constats montrent que, malgré une structuration de la ligne en pas successifs, la charge réelle repose largement sur l'opérateur, qui doit compenser les défaillances techniques et les contraintes organisationnelles. L'ensemble constitue

ainsi un socle de points de vigilance et illustre que les points bloquants ne sont pas isolés par poste, mais bien transversaux (physiques, organisationnels, techniques, etc.). Cela renforce l'analyse systémique de l'existant.

| Catégorie                              | Constats principaux                                                           | Exemples observés / rapportés                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sollicitations physiques</b>        | Manutentions répétées, charges lourdes, postures contraignantes, déplacements | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paniers de 8 kg manipulés à une main</li> <li>- Thermoformages de 8-9 kg à déplacer et ranger</li> <li>- Maintien de boîtes au niveau des épaules lors du déchargement sur UC.</li> <li>- Déplacements fréquents, piétinements, station debout</li> </ul>           |
| <b>Organisation et cadence</b>         | Perception d'une cadence soutenue, peu de marges de récupération              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Step 2 : ~430 pièces/jour pour un 1 opérateur</li> <li>- Step 3 : jusqu'à 900 pièces/jour (2 OP), cycle ~30s</li> <li>- Fréquentiels effectués pendant les rares coupures</li> </ul>                                                                                |
| <b>Environnement et logistique</b>     | Espaces encombrés, lisibilité limitée des supports                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence d'étiquetage clair sur certains paniers (confusion couronnes 15cm/19cm)</li> <li>- Déplacement d'une dizaine de pas pour évacuer paniers vides (en bord de ligne)</li> <li>- Circulation gênée par containers et élévateurs (espaces restreints)</li> </ul> |
| <b>Aléas techniques et variabilité</b> | Fiabilité insuffisante des équipements automatisés                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Robots de contrôle souvent hors service → report du contrôle sur opérateurs</li> <li>- Retards logistiques obligeant l'opérateur à se déplacer pour chercher des carters</li> <li>- AGV nécessitant une gestion manuelle en cas de panne</li> </ul>                 |
| <b>Compensation opérateur</b>          | Dépassement du rôle prescrit, auto-organisation fréquente                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prise en charge de tâches normalement attribuées aux moniteurs/maintenance en cas de panne</li> <li>- Stratégies d'anticipation (prendre deux pièces à la fois, préparer deux palettes simultanément)</li> </ul>                                                    |

Tableau 2 : Synthèse des points bloquants de l'existant (Step 2 et Step 3)

## **E. Comparaison avec le projet RG Step 4 : similitudes, ruptures, continuités**

L'analyse des étapes antérieures (Step 2 et Step 3) constitue un socle pour comprendre le projet Step 4. Néanmoins, il convient de rappeler que l'activité de Step 4 n'est pas encore effective : ce qui peut être décrit à ce stade relève du prescrit tel qu'il est conçu par les équipes d'ingénierie, et non du travail réel. Les projections formulées reposent donc sur les constats effectués en Step 2 et Step 3, ainsi que sur les premières données prédictives issues de la cotation EWA. Cette démarche permet d'anticiper les similitudes et ruptures possibles, et d'identifier les continuités de problématiques qui pourraient influencer la conception.

### **Une continuité organisationnelle partielle**

Step 4 reprend plusieurs principes déjà rencontrés sur Step 2 et Step 3. Le fonctionnement par kitting reste central : l'opérateur dispose de paniers métalliques placés derrière lui, en ligne avec le convoyeur. Ce choix rappelle l'organisation mise en place sur Step 3, où l'opérateur devait effectuer des déplacements pour aller chercher les pièces. En revanche, il s'éloigne du dispositif de Step 2 où les élévateurs « encerclaient » davantage l'opérateur, réduisant les distances parcourues mais limitant la lisibilité spatiale du poste.

De la même manière, les aides techniques prévues (par exemple les signaux lumineux) prolongent une logique déjà amorcée en Step 3, même si leur efficacité reste conditionnée à leur mise en fonctionnement réelle. L'expérience passée montre que la présence d'un dispositif ne garantit pas son usage ni sa fiabilité.

### **Des ruptures liées à la nature des pièces et à l'organisation du travail**

La principale évolution concerne la nature des composants manipulés. Step 4 est exclusivement dédié au RGM, avec des pièces plus lourdes et plus volumineuses que celles traitées dans le RG1. Cette orientation modifie fortement les contraintes biomécaniques, en particulier sur le port de charges et sur les sollicitations posturales.

L'organisation du travail marque également une rupture. Alors que Step 3 repose sur une division fine du cycle entre six opérateurs, Step 4 revient à une configuration à trois opérateurs, proche de celle de Step 2. Cette réduction du nombre d'acteurs pourrait avoir pour effet d'allonger les cycles et de concentrer les efforts, tout

en réduisant les possibilités de coopération et de régulation collective. La question de la charge de travail réelle se posera alors avec acuité.

### **Des continuités dans les contraintes de l'environnement**

Si Step 4 introduit des dispositifs nouveaux, certaines contraintes environnementales persistent. Les espaces de circulation apparaissent limités, avec un risque d'encombrement lié aux flux et à la coactivité. Les piétinements et déplacements répétés, déjà relevés sur Step 3, pourraient être renforcés par la disposition « en ligne » des élévateurs, qui impose une plus grande mobilité pour accéder à l'ensemble des pièces.

De plus, la variabilité des flux et des aléas techniques, déjà observée sur Step 2 et Step 3, ne peut être exclue pour Step 4. La dépendance vis-à-vis de la fiabilité des automatismes (robots, élévateurs, signaux lumineux) demeure un point sensible, qui pourra affecter aussi bien la charge de travail que les marges de manœuvre des opérateurs.

### **Enjeux projetés pour Step 4**

À travers ces continuités et ruptures, plusieurs enjeux transversaux se dessinent. Sur le plan de la santé et de la sécurité, la manutention de pièces lourdes et les contraintes posturales liées au convoyeur constituent un facteur de risque accru pour les TMS.

Sur le plan organisationnel, la réduction du nombre d'opérateurs appelle à une répartition fine et équilibrée des tâches afin d'éviter une surcharge individuelle et de maintenir la fluidité des flux.

Sur le plan économique et productif, l'atteinte des objectifs fixés repose sur la capacité à articuler performance et soutenabilité de l'activité réelle.

Enfin, sur le plan social, l'acceptabilité du dispositif par les opérateurs dépendra de la pertinence des aides techniques, de la lisibilité des cycles et de la possibilité de conserver des marges de régulation dans leur travail.

| Dimension               | Step 2                          | Step 3                   | Step 4 (projeté)                                      |
|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| Organisation des postes | 3 postes (3 opérateurs). Cycles | 6 postes (6 opérateurs). | 3 postes (3 opérateurs).<br>Retour à une organisation |

|                                           |                                                                                                |                                                                                                 |                                                                                                        |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | longs, moins de division des tâches.                                                           | Division du cycle plus fine, répartition des tâches.                                            | proche de Step 2, avec des cycles plus larges.                                                         |
| <b>Nature des pièces</b>                  | RG1 et RGM (mélange).                                                                          | RG1 et RGM.                                                                                     | Uniquement RGM, pièces plus lourdes et volumineuses.                                                   |
| <b>Disposition des élévateurs/paniers</b> | Élévateurs disposés autour de l'opérateur, accès rapide mais environnement plus « enfermant ». | Élévateurs alignés derrière le l'opérateur, déplacements plus longs.                            | Élévateurs également alignés derrière, déplacements projetés plus importants.                          |
| <b>Aides techniques</b>                   | Absence de systèmes de guidage / pas d'                                                        | Signaux lumineux prévus mais non fonctionnels.                                                  | Signaux lumineux prévus et censés être opérationnels.                                                  |
| <b>Contraintes physiques</b>              | Port de charges important, déplacements tout de même importants et postures contraintes.       | Port de charges toujours présent, mobilité accrue (pièces réparties). Positions inconfortables. | Manutention de pièces lourdes (RGM), sollicitations biomécaniques accentuées Déplacements/piétinements |
| <b>Contraintes environnementales</b>      | Espaces étroits, encombrements                                                                 | Espaces réduits, circulation parfois encombrée.                                                 | Espaces projetés encore restreints, risque de piétinement et d'encombrement.                           |

Tableau 3 : Comparatif : organisation et contraintes Step 2, Step 3 et Step 4

## **F. Reformulation de la demande et construction de la problématique ergonomique**

## Contexte et point de départ

La demande initiale formulée par l'équipe projet portait sur la réalisation de cotations prévisionnelles de la Step 4, établies à partir du prescrit et des pré-gammes fournis par l'ingénierie. Au cours de l'analyse de l'existant (Step 2 / Step 3) et des premiers relevés EWA, il est apparu que ce périmètre strictement technico-centré ne suffit pas à rendre compte de l'activité réelle : les fréquentiels, les aléas techniques, l'encombrement matériel et les stratégies d'ajustement opératoires modifient profondément les charges physiques et cognitives observées.

Il devient donc nécessaire de reformuler la demande afin que l'intervention ergonomique ne se limite pas à une lecture prescriptive du process, mais intègre la variabilité, les usages et les marges de manœuvre des opérateurs. Cette reformulation est la condition pour produire un diagnostic et des préconisations pertinents, acceptables et applicables.

## Reformulation proposée de la demande

Au regard des premières cotations prédictives et des observations sur les Steps 2 et 3, la mission ergonomique est étendue : il ne s'agit plus uniquement de réaliser des cotations prévisionnelles sur la Step 4 à partir du prescrit, mais de conduire une démarche d'ergonomie de projet intégrant

1. L'analyse de l'existant,
2. La prise en compte des fréquentiels et aléas,
3. Des simulations et tests en conditions proches du réel
4. La co-conception d'aménagements et de procédures validés par les opérateurs et la maintenance.

Cette formulation explicite que la prestation ergonomique doit couvrir l'ensemble du cycle projet (diagnostic, simulation, co-conception, validation) et non un simple exercice de cotation sur plan.

## Problématique ergonomique

*« Comment transformer une conception essentiellement technico-centrée de la Step 4 en une approche centrée sur l'activité réelle et anthropocentrée, de façon à concilier exigences de production et conditions de travail acceptables et soutenables pour les opérateurs ? »*

## IX. Méthodologie terrain

### A. Hypothèses de travail

Sur la base des observations réalisées sur Step 2/3 et de la reformulation de la demande, trois hypothèses opérationnelles sont retenues pour piloter les simulations sur Step 4 :

- **H1 - Charge physique cumulative** : Si les tâches prévues sur la Step 4 impliquent des manutentions répétées de pièces volumineuses et des prises fréquentes sans aides mécaniques ni appuis, alors la charge physique cumulative des opérateurs augmentera, exposant à un sur-risque musculo-squelettique.
- **H2 - Déplacements et station debout** : l'implantation et la gestion des approvisionnements risquent d'imposer des déplacements fréquents et peu d'alternance posturale, accroissant la fatigue et la dépense énergétique.
- **H3 - Aléas et pannes (robot contrôle, signalétique)** : Si des aléas techniques (pannes d'automates, robot de contrôle hors service) ou des déficiences de repérage (signalétique / étiquetage insuffisant) se produisent sur la Step 4, alors les opérations de rattrapage et les contrôles visuels augmenteront, majorant la charge de travail physique et cognitive et la probabilité d'erreurs de picking.

### B. Conception des scénarios et simulations

L'objectif de cette étape est de construire des situations expérimentales simples et reproductibles qui permettent de confronter, de façon opérationnelle, les hypothèses de travail (charge physique, déplacements/station debout, effets des aléas). Les scénarios retenus ont été choisis pour couvrir les mécanismes susceptibles d'apparaître sur la Step 4 : l'exécution conforme des gammes (référence) et une situation dégradée où l'automatisation manque et impose des reprises manuelles (panne). Cette double configuration suffit, dans le cadre du mémoire, à mettre en

évidence les écarts potentiels entre prescription et activité réelle et à tester si les problématiques observées sur l'existant se projettent sur la nouvelle ligne.

Les scénarios sont définis de manière à être rapidement compréhensibles par le terrain : chaque scénario repose sur un script court (déroulé de quelques cycles), la capture vidéo, l'extraction d'images représentatives pour la cotation RULA et la passation d'un court NASA-TLX après la séquence clé. Un retour « à chaud » libre est demandé à l'opérateur à l'issue de chaque condition pour capter un ressenti immédiat (une phrase ou deux), sans alourdir la procédure.

Le choix de ne retenir que S-Réf et S-Panne répond à deux objectifs : conserver la simplicité méthodologique et concentrer les efforts sur ce qui permet le plus directement d'infirmer ou de confirmer les hypothèses H1-H3.

**S-Réf** fournit la base de comparaison (ce que prévoit la conception) et **S-Panne** révèle les effets d'aggravation liés à une perte d'automatisation ou à des déficiences de repérage, et rend visibles les surcharges physiques et cognitives de rattrapage.

Dans la mise en œuvre, on filme pour les trois postes manuels identifiés (kitting - OP 910 ; ligne principale - OP 990 ; mariage - OP 7100), en veillant à extraire les unités d'action porteuses de risque (prélèvements, mises en place de carters, maintien en élévation, manipulations de thermoformages, opérations de contrôle visuel, etc.). Les indicateurs collectés restent simples et directement exploitables : scores RULA par tâche extraite, score NASA-TLX global par scénario, temps moyen de cycle, nombre de manutentions lourdes par cycle, nombre et durée des interventions manuelles liées à la panne, et quelques verbatims saillants. Ces éléments permettent une triangulation rapide entre mesures objectives et perception des opérateurs.

| Scénario                                | Description                                                                                                           | Hypothèses testées              | Indicateurs observés / Outils                                       |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>S-Réf</b><br>(scénario de référence) | Réalisation de la gamme prescrite en conditions nominales (robot de contrôle opérationnel, approvisionnement normal). | H1 - Charge physique cumulative | - Postures contraignantes (RULA)<br>- Distance totale parcourue (m) |

|                                         |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                         |                                                                                                                                                                                      | H2 -<br>Déplacements /<br>station debout                                                                     | - Port de charges<br>(nb de<br>manipulations,<br>masse moyenne)                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>S-Panne</b><br>(scénario<br>dégradé) | Simulation d'un cycle avec<br>survenue d'aléas techniques<br>(panne robot de contrôle, défaut<br>de signalétique picking,<br>préhenseur non fonctionnel, panne<br>outil de vissage). | H1 - Charge<br>physique<br>cumulative<br>H2 -<br>Déplacements /<br>station debout<br>H3 - Aléas et<br>pannes | - Postures<br>contraignantes<br>(RULA)<br>- Charge cognitive<br>perçue (NASA-<br>TLX)<br>- Temps<br>supplémentaire lié<br>à l'aléa (min)<br>- Distance<br>parcourue (m)<br>- Nombre d'erreurs<br>potentielles de<br>picking ou de<br>vissage<br>- Retours<br>opérateurs (fatigue,<br>erreurs, ressenti) |

Tableau 4 : Scénarios de simulation et hypothèses associées

### C. Outils mobilisés

Afin d'analyser l'impact des scénarios simulés sur la charge de travail des opérateurs, plusieurs outils complémentaires ont été mobilisés. L'approche retenue repose sur une triangulation des sources, combinant des mesures objectives (observations, cotations posturales, distances parcourues) et subjectives (questionnaires, verbatims), afin de tenir compte de la complexité et de la multi dimensionnalité des situations de travail.

La captation vidéo constitue le support central de cette démarche. Elle permet de conserver une trace des simulations réalisées et d'analyser a posteriori les séquences de travail. Les vidéos sont découpées en unités pertinentes (port de

charge, déplacement, picking, contrôle manuel, rattrapage après panne, etc.) qui servent de base à l'application des outils d'analyse. Cette méthode garantit la fiabilité des observations et facilite les comparaisons entre scénarios.

Cette organisation méthodologique garantit que les mesures seront réalisées au moment le plus représentatif (*exemple* : administration du NASA-TLX immédiatement après la répétition d'une séquence spécifique). Elle permet également de mettre en évidence les points de convergence ou de divergence entre observation objective et ressenti exprimé par les collaborateurs.

## 1. RULA : évaluation de la charge physique

Le Rapid Upper Limb Assessment (RULA) est une méthode développée par McAtamney et Corlett (1993) pour évaluer l'exposition des travailleurs aux facteurs de risque liés aux troubles musculo-squelettiques, notamment au niveau du tronc, du cou et des membres supérieurs. L'outil attribue un score basé sur l'angulation articulaire, la présence de soutiens, les mouvements répétés et les efforts fournis, afin d'identifier les postures les plus contraignantes. Son intérêt principal réside dans sa capacité à fournir une évaluation rapide et standardisée des contraintes biomécaniques.

Cet outil contribue principalement à objectiver l'hypothèse H1 (charge physique cumulative) et, en complément, certains aspects de H2 (efforts liés aux déplacements avec charge). Il ne constitue pas une fin en soi mais un élément d'objectivation, qui sera interprété en lien avec d'autres données : poids manipulé, distance parcourue, fréquence des gestes.

L'application de l'outil suivra un protocole structuré :

- Les séquences vidéo enregistrées lors des simulations seront découpées en unités correspondant à des actions homogènes (par exemple : prise d'un carter, déplacement avec pièce en main, rangement en kitting, franchissement d'un passage encombré).
- Pour chaque séquence, les postures les plus représentatives ou les plus contraignantes seront extraites en images fixes, puis codées selon la grille RULA.

- Les scores obtenus permettront d'identifier les zones corporelles les plus sollicitées et de comparer les scénarios entre eux (par exemple, présence ou absence d'aide à la manutention).

Toutefois, il est essentiel de rappeler que le RULA ne peut être interprété de manière isolée. Un score élevé indique une posture biomécaniquement contraignante, mais ce résultat doit être mis en perspective avec d'autres variables telles que le poids de la charge manipulée, la fréquence de répétition ou encore la durée d'exposition. Par exemple, une flexion du tronc classée en zone de risque maximal n'aura pas les mêmes implications si elle concerne une pièce de 1 kg ou un carter de 30 kg. C'est pourquoi les résultats RULA seront systématiquement articulés avec les données issues de la captation vidéo (poids manipulés, distance parcourue) et avec les ressentis exprimés par les opérateurs via questionnaires et entretiens.

Ainsi, dans cette recherche, le RULA ne constitue pas une fin en soi, mais un outil d'objectivation partielle, complémentaire aux autres méthodes mobilisées. Il permet de cibler les postures critiques, de nourrir la discussion avec les opérateurs et de mettre en évidence des marges d'amélioration ergonomique lors de la conception de la ligne.

## 2. [Mesures des déplacements et manutentions](#)

L'analyse vidéo permet également d'estimer :

- La distance parcourue par cycle (scénario de référence vs scénario panne), indicateur direct de la charge physique et de la dépense énergétique (H2).
- Le nombre et le poids des manutentions (ports de pièces, repositionnements), afin de compléter les cotations RULA et d'évaluer la dimension cumulative de la charge physique (H1).

Ces données fournissent une lecture objective de la dépense corporelle induite par l'organisation du poste et les aléas simulés.

## 3. [NASA-TLX : évaluation de la charge cognitive](#)

Le NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) est un outil largement utilisé pour estimer la charge de travail perçue. Il articule six dimensions :

1. Demande mentale
2. Demande physique
3. Rythme temporel
4. Performance perçue
5. Effort
6. Frustration

Et fournit un score synthétique qui reflète la charge cognitive et perceptive ressentie par l'opérateur.

Dans le cadre de ce mémoire, le NASA-TLX sert à compléter les mesures objectives (vidéos, observations, cotations posturales) par une mesure du vécu : il permet de repérer quelles séquences ou quelles contraintes génèrent une tension mentale susceptible d'affecter la sécurité, la qualité et la soutenabilité du poste.

L'utilisation retenue suit une logique pragmatique et temporelle : les items du NASA-TLX sont administrés immédiatement après la répétition d'une séquence ciblée (*exemple* : après un cycle incluant une panne simulée, après une série de manutentions lourdes, ou après une séquence de picking sans repérage). Ce timing garantit que l'évaluation renvoie au vécu immédiat et limite l'effet d'oubli ou de rationalisation.

Cet outil contribue principalement à objectiver H3 (aléas et pannes), mais il éclaire également les dimensions cognitives liées à H1 et H2 (effort global, frustration en cas de fatigue ou de déplacements contraignants).

L'articulation de ces outils (RULA, distances et manutentions, NASA-TLX) permet :

- D'obtenir des données quantitatives sur la charge biomécanique et l'impact des déplacements,
- De recueillir le ressenti cognitif et subjectif des opérateurs,
- Et de mettre en évidence des convergences ou divergences entre observation et vécu.

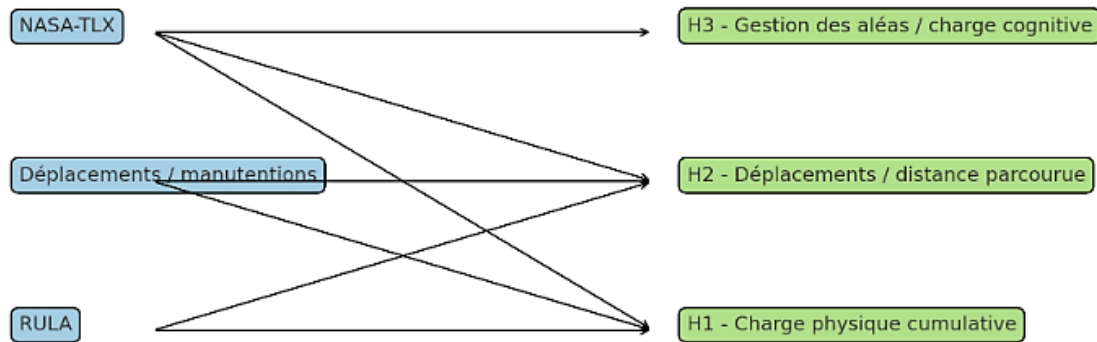


Figure 20 : Triangulation des outils et hypothèses

#### 4. Modalité de recueil des retours « à chaud »

Immédiatement après chaque session de simulation, un recueil de type « retour à chaud » a été réalisé : il s'agit d'un échange libre d'environ 5-10 minutes mené au poste, visant à capter les perceptions immédiates de l'opérateur (difficultés, éléments saillants, sensations physiques). Lorsque certains thèmes n'avaient pas été abordés spontanément, des questions semi-directives courtes ont été posées pour compléter le recueil (accessibilité des approvisionnements, gestion des aléas, effort perçu, sécurité).

Une trame courte et opérationnelle de questions semi-directrices (Annexe 18) a été utilisée après le retour libre. L'idée est de laisser parler l'opérateur d'abord, puis compléter avec ces items si un thème n'a pas été évoqué.

### D. Modalités d'analyse, échantillonnage et limites méthodologiques

#### 1. Modalités d'analyse

L'analyse repose sur une triangulation systématique des données recueillies, combinant mesures objectives, évaluations subjectives et retours qualitatifs. Dans un premier temps, les séquences vidéo seront segmentées en unités d'action homogènes (manutention, picking, déplacement, contrôle, gestion d'aléas). Ces unités serviront de base pour :

- Appliquer la grille RULA sur les postures représentatives,
- Estimer les distances parcourues et les charges manipulées,

- Repérer les moments déclencheurs de tension ou de rupture dans l'activité.

En parallèle, les questionnaires NASA-TLX et les entretiens semi-directifs permettront de confronter les scores perçus et les verbatims opérateurs aux observations objectives. Ce croisement vise à identifier :

- Les convergences (ex. une posture évaluée comme contraignante et décrite comme fatigante),
- Les divergences (ex. un score RULA élevé mais non ressenti comme problématique, révélant une stratégie d'adaptation ou une tolérance).

L'analyse suit donc une logique comparative entre scénarios (scénario de référence vs scénario panne), mais aussi intra-scénario afin de mettre en évidence les phases d'activité les plus critiques. L'objectif est de produire une interprétation intégrée qui ne se limite pas à une mesure isolée, mais qui éclaire la soutenabilité globale du travail projeté.

## 2. [Echantillonnage](#)

L'échantillon repose sur un nombre restreint d'opérateurs volontaires issus de la Step 2 et Step 3 actuelles, considérés comme représentatifs de la population qui interviendra sur la future Step 4.

Leur sélection répond à plusieurs critères visant à concilier faisabilité et représentativité fonctionnelle de la future Step 4 :

- Expérience significative : tous possèdent entre 7 et 25 années d'ancienneté dans l'entreprise, avec une moyenne d'environ 15 ans, ce qui garantit une solide connaissance des contraintes du travail en assemblage.
- Âge : les participants sont âgés de 42 à 56 ans, représentant une tranche où les enjeux de soutenabilité au travail sont particulièrement pertinents.
- Diversité anthropométrique : le groupe inclut des gabarits variés (tailles et corpulences différentes), permettant d'anticiper l'adaptation du poste à une population hétérogène.
- Mixité de genre : l'échantillon est composé de 6 hommes et 2 femmes, reflétant la répartition observée sur les lignes actuelles.

Le choix de privilégier des opérateurs issus des Steps 2 et 3 se justifie par plusieurs raisons :

1. Pertinence de l'expérience : ces opérateurs connaissent déjà les activités visées et peuvent se projeter plus facilement dans les scénarios simulés, ce qui favorise la qualité et la richesse des retours.
2. Contraintes de sécurité et de protocole : pour des raisons réglementaires et organisationnelles, il n'était pas envisageable d'impliquer des salariés totalement extérieurs à ces lignes.
3. Fiabilité des comparaisons : leur expérience permet de mettre en évidence à la fois des difficultés identiques à celles rencontrées sur la Step 2, et des différences (positives ou négatives) introduites par les nouveaux aménagements projetés pour la Step 4.

Bien que l'effectif soit limité (quelques opérateurs), l'échantillon est jugé suffisant dans une logique de recherche exploratoire et de simulation de conception. L'objectif n'est pas d'obtenir une validité statistique, mais de recueillir des tendances significatives et des points de vigilance ergonomique susceptibles d'orienter la conception.

### 3. Limites méthodologiques

Comme tout dispositif d'analyse en contexte réel, la méthodologie retenue comporte un certain nombre de limites qui doivent être prises en compte dans l'interprétation des résultats. Ces limites ne remettent pas en cause la pertinence de la démarche, mais en définissent les conditions de validité.

#### **Taille et représentativité de l'échantillon**

L'échantillon mobilisé (8 opérateurs issus des Steps 2 et 3) reste numériquement restreint, ce qui limite la possibilité de généraliser les résultats à l'ensemble des futurs opérateurs de Step 4. La représentativité est donc davantage fonctionnelle que statistique. Les résultats doivent être considérés comme des tendances ou des signaux d'alerte, et non comme des conclusions définitives sur l'ensemble de la population.

### **Familiarité avec le poste et biais d'anticipation**

Le choix d'opérateurs déjà expérimentés sur Step 2 et 3 présente des avantages (capacité de projection, retours riches et contextualisés), mais peut également générer un biais d'anticipation. Les participants peuvent minimiser certaines contraintes, en raison de leur habitude progressive à des postures ou efforts pourtant délétères. Cette familiarité constitue donc une ressource et une limite, qu'il est nécessaire de garder à l'esprit lors de l'analyse.

### **Effet d'observation et apprentissage**

La présence d'un observateur et le caractère expérimental peuvent modifier temporairement les comportements (plus d'attention, retenue ou au contraire adaptation pour faire « bien »). De même, la répétition des cycles peut engendrer un apprentissage entre les essais.

*Mesures d'atténuation* : inclure une phase d'adaptation avant la collecte, contrebalancer l'ordre des scénarios entre participants et privilégier l'analyse intra-sujet (comparer chaque opérateur à lui-même).

### **Conditions simulées vs activité réelle**

Les scénarios étudiés reposent sur des simulations réalisées en environnement contrôlé, parfois en dehors de conditions complètes de production (rythme, interruptions imprévues, interactions sociales, variabilité des pièces). Or, l'activité réelle en production intègre une multitude de micro-événements non reproductibles en simulation. Il existe donc un écart entre l'activité projetée et l'activité effective, qui ne pourra être réduit que par des observations complémentaires une fois la Step 4 mise en service.

### **Variabilité inter-individuelle**

Les stratégies opératoires (astuces, tolérance à la contrainte, expérience) varient fortement d'un opérateur à l'autre. Cette variabilité peut masquer ou accentuer certains effets.

### **Limites des outils mobilisés**

Chaque outil méthodologique présente ses propres limites :

- Le RULA se concentre sur des postures instantanées, sans intégrer la dynamique temporelle et la récupération.
- Le NASA-TLX reflète un ressenti subjectif, sensible aux biais d'interprétation et à l'effet de désirabilité sociale.
- Les entretiens semi-directifs dépendent de la capacité des opérateurs à verbaliser leurs perceptions et peuvent être influencés par le contexte organisationnel (crainte d'être jugés, volonté d'insister sur certains points). Ces outils prennent donc tout leur sens dans une logique de triangulation, mais ne peuvent être interprétés isolément.

### **Contraintes logistiques et temporelles**

Les disponibilités machines et opérateurs, les impératifs de production et les risques d'imprévu (pannes réelles) peuvent limiter le nombre de sessions réalisables.

### **Confidentialité et acceptabilité**

L'enregistrement vidéo et la collecte de témoignages exigent une attention particulière sur le consentement, l'anonymisation et la confidentialité, qui peuvent limiter l'accès à certaines données.

Ces limites n'invalident pas les apports de l'étude : elles encadrent son champ d'application et précisent la portée des recommandations. En pratique, les constats issus des simulations et des paroles d'acteurs constituent des points d'entrée pertinents pour prioriser les actions à court terme (améliorations rapides, signalétique, aides à la manutention) et orienter des investigations complémentaires plus larges lors du ramp-up.

## **X. Résultats**

### **A. Résultats factuels - mesures et observations directes**

En complément des évaluations ergonomiques, plusieurs indicateurs factuels ont été relevés lors de simulations des postes OP 910, OP 990 et OP 7100. Ces mesures concernent les charges manipulées, les distances de déplacement, la fréquence des manutentions et certaines postures observées. Elles permettent de

situer objectivement les contraintes physiques rencontrées par les opérateurs avant d'analyser les résultats RULA, NASA TLX et entretiens.

| Poste         | Charges manipulées (mesures)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Déplacements             | Fréquence des actions                                                                                                                         | Postures remarquables                                                                                                                                                       |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>OP 910</b> | <p>Colonne 5 paniers vide : <math>\approx 5</math> kg (roulage)</p> <p>Colonne CP 19x68 (40 pièces) : <math>\approx 10</math> kg (1 pièce = 4,3 kg)</p> <p>Colonne AP RGM (105 pièces) : <math>\approx 10</math> kg (1 pièce <math>\approx 2</math> kg)</p> <p>Colonne AS RGM (60 pièces) : <math>\approx 11</math> kg (1 pièce <math>\approx 4,2</math> kg)</p> <p>Panier métallique seul vide : <math>\approx 5</math> kg</p> | $\approx 25$ pas / cycle | <p>Manutentions fréquentes, répartition entre traction de colonnes et manipulation de paniers / MEP pièces sur palette de manière répétée</p> | <p>Traction à une main ; bras tendus ponctuels (pose pièces) ; flexions modérées du tronc</p>                                                                               |
| <b>OP 990</b> | <p>Carter réducteur : 5,5 kg</p> <p>Carter connexion : <math>\approx 6</math> kg</p> <p>Thermoformage : <math>\approx 7</math> kg</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                           | $\approx 40$ pas / cycle | <p>Prise de carters à chaque cycle ; retrait thermoformage toutes les 4 boîtes</p>                                                            | <p>Bras en élévation pour alignement carter ; maintien bras prolongé ; sollicitations épaules , inclinaison du tronc en raison de l'épaisseur jaune devant le convoyeur</p> |

|                    |                                                                                      |                     |                                                                                                                  |                                                                                                                                         |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>OP<br/>7100</b> | Petites pièces<br>(bouchons,<br>obturateurs)<br>légères                              |                     |                                                                                                                  |                                                                                                                                         |
|                    | Préhenseur : ≈ 2-<br>3 kg<br><br>Déchargement<br>manuel UM<br>(panne) : ≈ 8-10<br>kg | ≈ 20 pas /<br>cycle | Habillage<br>systématique<br>(chaque cycle) ;<br>filmage récurrent ;<br>manutention UM<br>uniquement en<br>panne | Maintien bras hauteur<br>d'épaule (préhenseur)<br>; inclinaison tronc<br>pour contrôle visuel ;<br>gestes répétitifs<br>conditionnement |

Tableau 5 : Résultats factuels Step 4

## B. Risques biomécaniques (analyse RULA)

### Méthode de cotation (précisions méthodologiques)

Pour chaque unité d'action identifiée lors des simulations, une image représentative a été extraite.

- Échantillon d'images par tâche : jusqu'à 24 images possibles par tâche (8 opérateurs × 3 cycles enregistrés), selon la qualité/pertinence des captures.
- Cotation : chaque image a été cotée selon la grille RULA
- Indicateurs présentés : pour chaque tâche et pour chaque poste, on donne la moyenne des scores RULA observés sur l'ensemble des images conservées, ainsi que la plage observée (min-max). Les valeurs sont présentées séparément pour les deux scénarios : S-Réf (référence) et S-Panne (dégradé).

Les scores RULA vont de **1** (faible risque apparent) à **7** (action urgente recommandée).

Les résultats obtenus pour l'OP910 (Tableau 6) mettent en évidence des contraintes variables selon les tâches réalisées. La traction des colonnes de paniers vides présente un score moyen de 3,2 en situation de référence et de 3,8 en cas de

panne, reflétant des gestes fréquents, souvent réalisés à une main, avec une charge modérée d'environ 5 kg. Lorsque la colonne est pleine, les scores s'élèvent davantage, atteignant 5,0 en S-Réf et 5,6 en S-Panne, ce qui traduit l'effort supplémentaire demandé par la masse des couronnes et arbres et la nécessité de repositionner la colonne. Le prélèvement des pièces dans les paniers pour les déposer sur palette génère des scores intermédiaires, de l'ordre de 4,0 à 4,6 selon les scénarios, traduisant des manipulations répétées mais relativement maîtrisées. La gestion des cartons de petites pièces ou leur pose sur palette reste l'une des tâches les moins contraignantes (3,0 en moyenne), bien que certaines postures de bras tendus aient été observées. Enfin, la correction et reprise de pièces erronées entraînent une augmentation notable des scores en situation de panne (4,8 contre 3,5 en S-Réf), conséquence directe de manutentions supplémentaires et de déplacements associés.

| <b>Tâche (unité d'action)</b>                                         | <b>RULA S-Réf (moyenne)</b> | <b>Plage (min-max)</b> | <b>RULA S-Panne (moyenne)</b> | <b>Plage (min-max)</b> | <b>Observations factuelles</b>                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Traction colonne panier vide (déplacement bord-ligne → poste)         | 3,2                         | 2 -4                   | 3,8                           | 2 -5                   | ≈ 5 kg ; geste fréquent, souvent à une main                                           |
| Traction colonne panier plein (accès au panier plein sous la colonne) | 5,0                         | 4 -6                   | 5,6                           | 4 -7                   | Colonne pleine (couronnes/arbres) => effort plus marqué, traction et repositionnement |
| Prélèvement pièces dans paniers → mise sur palette                    | 4,0                         | 3 -5                   | 4,6                           | 3 -6                   | Manipulations répétées                                                                |
| Gestion des cartons petites pièces / Pose de pièces sur palette       | 3,0                         | 2 -4                   | 3,0                           | 2 -4                   | Posture bras tendus ponctuelle                                                        |

|                                                                        |     |     |     |      |                                 |
|------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|------|---------------------------------|
| Correction /<br>reprise pièce<br>erronée (ex.<br>couronne 15 vs<br>19) | 3,5 | 2-4 | 4,8 | 3 -6 | Manutentions<br>supplémentaires |
|------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|------|---------------------------------|

Tableau 6 : Résultats RULA simulations - Step 4 OP 910

Sur l'OP990 (Tableau 7), les scores relevés apparaissent globalement plus élevés que sur les autres postes, traduisant la présence de charges importantes et de contraintes posturales marquées. La prise des carters constitue la tâche la plus exigeante, avec une moyenne de 6,2 en S-Réf et 5,1 en S-Panne, en lien avec le poids des pièces (5 à 8 kg) et la possibilité d'une prise simultanée de deux carters. Le retrait et retournement des thermoformages avoisinent des scores moyens de 4,5 à 4,7, ce qui reflète l'effort régulier lié à cette manutention d'environ 7 kg. La mise en place des carters réducteurs génère elle aussi une contrainte notable, avec des scores proches de 5,2 à 5,3, en raison du relevage du bras et du maintien nécessaire pour l'alignement. Les opérations de vissage, généralement automatisées, apparaissent moins contraignantes (3,5 à 4,0), mais leur score augmente légèrement lors des rattrapages manuels. Enfin, la gestion et la réorganisation des containers obtiennent des valeurs moyennes autour de 4,3 à 4,4, traduisant l'effort lié aux déplacements fréquents et à la manipulation répétée des thermoformages.

| Tâche                                           | RULA S-<br>Réf<br>(moyenne) | Plage<br>(min-<br>max) | RULA S-<br>Panne<br>(moyenne) | Plage<br>(min-<br>max) | Observation<br>factuelle                                                                         |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Prise carters                                   | 6,2                         | 4 -6                   | 5,1                           | 4 -6                   | Carter 5-8 kg ;<br>parfois prise de<br>deux carters ;<br>déplacement<br>bras le long du<br>corps |
| Retrait / retournement<br>thermoformage (~7 kg) | 4,5                         | 3 -5                   | 4,7                           | 3 -6                   | Retrait toutes les<br>~4 boîtes ;                                                                |

|                                                                |     |      |     |      |                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------|-----|------|-----|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                |     |      |     |      | manutention<br>régulière                                                                                                |
| Mise en place carter<br>réducteur<br>(relevage/positionnement) | 5,2 | 4 -6 | 5,3 | 4 -6 | Relevage du bras<br>et maintien pour<br>l'alignement sur<br>convoyeur (gêne<br>de la surface<br>jaune ><br>inclinaison) |
| Vissage / opérations<br>manuelles ponctuelles                  | 3,5 | 3 -4 | 4,0 | 3 -5 | Généralement<br>automatisé ; en<br>rattrapage légère<br>augmentation de<br>contrainte                                   |
| Gestion containers /<br>réorganisation<br>(fréquentiels)       | 4,3 | 3 -5 | 4,4 | 3 -5 | Réorganisation<br>thermoformages,<br>déplacements<br>supplémentaires                                                    |

Tableau 7 : Résultats RULA simulations - Step 4 OP 990

Pour l'OP7100 (Tableau 8), les scores sont globalement modérés mais révèlent des écarts selon la nature des tâches et le scénario. L'habillage eDM, qui comprend la pose de bouchons et d'obturateurs, se situe entre 3,0 et 3,2, traduisant des gestes précis avec peu de charge, même si une posture penchée est parfois observée. Le maintien du préhenseur pour le positionnement eDM atteint des scores de 4,0 en S-Réf et 4,6 en S-Panne, en raison du maintien prolongé des bras à hauteur d'épaule. Le déchargement manuel en cas de défaillance du préhenseur se révèle être la tâche la plus contraignante de ce poste, avec un passage de 4,2 à 5,2 entre les deux scénarios, l'opérateur devant alors compenser par des efforts de manutention supplémentaires et adopter des postures plus exigeantes. Enfin, l'attache et le filmage des boîtes restent dans une zone intermédiaire, avec des scores moyens de 4,0 à 4,1, en lien avec le caractère répétitif des gestes et les contraintes posturales associées au conditionnement.

| Tâche                                                                | RULA S-Réf<br>(moyenne) | Plage<br>(min-max) | RULA S-Panne<br>(moyenne) | Plage<br>(min-max) | Observation<br>factuelle                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Habillage eDM<br>(pose bouchons,<br>obturateurs...)                  | 3,0                     | 2 -4               | 3,2                       | 2 -4               | Gestes précis ;<br>posture penchée<br>mais charge légère                                              |
| Maintien<br>préhenseur /<br>positionnement<br>eDM (chargement<br>UM) | 4,0                     | 3 -5               | 4,6                       | 4 -6               | Maintien bras hauteur<br>d'épaule pour<br>stabiliser le<br>préhenseur                                 |
| Déchargement<br>manuel<br>(préhenseur HS)                            | 4,2                     | 3 -5               | 5,2                       | 4 -7               | En panne, opérateur<br>décharge et<br>positionne<br>manuellement ;<br>posture et charge<br>augmentent |
| Attache / filmage<br>des boîtes<br>(fréquentiel)                     | 4,0                     | 3 -5               | 4,1                       | 3 -5               | Gestes répétitifs ;<br>contraintes de<br>posture liées au<br>conditionnement                          |

Tableau 8 : Résultats RULA simulations - Step 4 OP 7100

Globalement, les scores RULA observés se situent entre 3 et 5 en moyenne, traduisant des niveaux de contrainte modérés mais non négligeables. L'OP990 ressort comme le plus exigeant physiquement, en raison des manipulations de carters et de thermoformages. L'OP910 présente une augmentation notable en scénario de panne, liée aux reprises manuelles et à la gestion des paniers. Enfin, l'OP7100 reste globalement moins contraignant, mais voit ses scores s'élever en cas de panne du préhenseur par exemple, où l'opérateur doit décharger manuellement les boîtes.

| Poste        | Scénario | Score<br>RULA<br>moyen | Plage min-<br>max observée | Tâches les plus contraignantes                                  |
|--------------|----------|------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>OP910</b> | S-Réf    | 3,7                    | 2 - 5                      | Traction colonnes pleines ; reprise<br>de pièces erronées       |
|              | S-Panne  | 4,4                    | 2 - 7                      | Accès paniers pleins ; corrections<br>manuelles supplémentaires |

|               |         |     |       |                                                                 |
|---------------|---------|-----|-------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>OP990</b>  | S-Réf   | 4,7 | 3 - 6 | Prise/manipulation de carters ; mise en place carter réducteur  |
|               | S-Panne | 4,7 | 3 - 6 | Contraintes similaires, peu d'écart avec S-Réf                  |
| <b>OP7100</b> | S-Réf   | 3,6 | 2 - 5 | Maintien préhenseur ; habillage eDM / attache boites            |
|               | S-Panne | 4,3 | 2 - 7 | Déchargement manuel en cas de panne préhenseur / attache boites |

Tableau 9 : Résultats moyens RULA par poste et par scénario (Step 4)

### C. Charge mentale et analyse NASA-TLX

#### Méthodologie

L'évaluation subjective de la charge de travail a été réalisée à l'aide du questionnaire NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988).

- **Participants** : 8 opérateurs simulant chacun les 3 postes (OP 910, OP 990, OP 7100) dans les deux scénarios (S-Réf et S-Panne).
- **Dimensions évaluées** :
  - Demande mentale (MD)
  - Demande physique (PD)
  - Demande temporelle (TD)
  - Effort (E)
  - Performance perçue (P)
  - Frustration (F)
- **Procédure** : à l'issue de chaque tâches clés/ « critiques », les opérateurs complétaient le questionnaire en cotant chaque dimension sur une échelle de 0 à 100.
- **Traitement des données** : les scores ont été moyennés par dimension et par poste, séparément pour S-Réf et S-Panne. Un score global de charge de travail a été calculé (moyenne des six dimensions).

Pour l'OP 910 les scores NASA-TLX (voir Tableau 10) varient en fonction des tâches. La traction des colonnes de paniers et le port des paniers vides présentent une

charge perçue modérée, légèrement accrue en scénario de panne. La gestion des cartons de petites pièces et la pose sur palette atteint des niveaux moyens, avec une augmentation plus nette en cas de panne, traduisant une perception d'effort supplémentaire. Enfin, la correction d'erreur de pièce obtient les scores les plus élevés, surtout en cas de panne, avec une augmentation notable sur les dimensions mentales et temporelles. Globalement, l'OP910 est marqué par une charge perçue à dominante cognitive, amplifiée lors des reprises ou corrections.

| Tâche                                                           | Scénario | MD | PD | TD | P  | E  | F  | Score global |
|-----------------------------------------------------------------|----------|----|----|----|----|----|----|--------------|
| Traction colonnes de paniers métalliques                        | S-Réf    | 48 | 55 | 40 | 30 | 58 | 35 | <b>44</b>    |
|                                                                 | S-Panne  | 52 | 58 | 42 | 35 | 62 | 42 | <b>48</b>    |
| Port panier vide (élévateur)                                    | S-Réf    | 40 | 50 | 38 | 28 | 50 | 32 | <b>40</b>    |
|                                                                 | S-Panne  | 42 | 52 | 40 | 32 | 55 | 38 | <b>43</b>    |
| Gestion des cartons petites pièces / Pose de pièces sur palette | S-Réf    | 55 | 45 | 42 | 30 | 50 | 36 | <b>43</b>    |
|                                                                 | S-Panne  | 65 | 48 | 48 | 42 | 58 | 48 | <b>52</b>    |
| Correction pièce erronée                                        | S-Réf    | 60 | 45 | 45 | 32 | 55 | 40 | <b>46</b>    |
|                                                                 | S-Panne  | 72 | 52 | 52 | 45 | 65 | 55 | <b>57</b>    |

Tableau 10 : Résultats détaillés par tâches clés NASA-TLX - OP 910

Les scores NASA-TLX pour l'OP990 (Tableau 11) mettent en évidence des charges perçues plus importantes que sur l'OP910, notamment lors de la prise et mise en place des carters. La charge physique est particulièrement marquée, avec des niveaux élevés de perception d'effort et de demande physique, légèrement renforcés en cas de panne. Les tâches de thermoformage génèrent également une charge notable, surtout au plan physique, même si les scores restent modérés. En comparaison, la gestion des bacs de petites pièces présente des niveaux plus faibles, proches d'une charge perçue légère à modérée.

| Tâche         | Scénario | MD | PD | TD | P  | E  | F  | Score global |
|---------------|----------|----|----|----|----|----|----|--------------|
| Prise carters | S-Réf    | 42 | 72 | 48 | 35 | 68 | 40 | <b>51</b>    |

|                              |         |    |    |    |    |    |    |           |
|------------------------------|---------|----|----|----|----|----|----|-----------|
|                              | S-Panne | 45 | 74 | 50 | 36 | 70 | 42 | <b>53</b> |
| Retrait thermoformage (~7kg) | S-Réf   | 48 | 68 | 50 | 38 | 65 | 45 | <b>52</b> |
|                              | S-Panne | 50 | 70 | 52 | 40 | 67 | 46 | <b>54</b> |
| Retournement thermoformages  | S-Réf   | 40 | 62 | 42 | 32 | 60 | 38 | <b>46</b> |
|                              | S-Panne | 42 | 65 | 45 | 35 | 62 | 40 | <b>48</b> |

Tableau 11 : Résultats détaillés par tâches clés NASA-TLX - OP 990

Les résultats de l'OP7100 (Tableau 12) révèlent des niveaux globalement plus faibles que sur les deux autres postes. La pose de bouchons présente une charge perçue modérée, peu influencée par les scénarios. En revanche, le déchargement des boîtes avec préhenseur se distingue par des scores plus élevés, dominés par la charge physique et l'effort perçu, avec une accentuation en cas de panne. Enfin, l'attache et le bâchage des boîtes se situent dans une zone intermédiaire, traduisant une sollicitation modérée mais régulière.

| Tâche                               | Scénario | MD | PD | TD | P  | E  | F  | Score global |
|-------------------------------------|----------|----|----|----|----|----|----|--------------|
| Pose bouchons / petites pièces      | S-Réf    | 42 | 31 | 35 | 28 | 45 | 32 | <b>36</b>    |
|                                     | S-Panne  | 50 | 32 | 42 | 35 | 52 | 40 | <b>41</b>    |
| Déchargement boîtes avec préhenseur | S-Réf    | 38 | 42 | 36 | 28 | 48 | 30 | <b>37</b>    |
|                                     | S-Panne  | 45 | 48 | 42 | 36 | 55 | 42 | <b>45</b>    |
| Attache / bâchage boîtes            | S-Réf    | 40 | 38 | 35 | 30 | 42 | 28 | <b>35</b>    |
|                                     | S-Panne  | 52 | 42 | 40 | 34 | 50 | 40 | <b>43</b>    |

Tableau 12 : Résultats détaillés par tâches clés NASA-TLX - OP 7100

Les scores (Tableau 13) se situent globalement dans une plage modérée (31 à 61) selon les dimensions. Les postes présentent des profils différents : l'OP990 est davantage marqué par les charges physiques (PD) et l'effort (E), alors que l'OP910 et l'OP7100 affichent des valeurs plus équilibrées. Dans tous les cas, les scénarios de panne induisent une hausse systématique des scores, comprise entre +2 et +5 points selon les dimensions

| Poste  | Scénario | MD | PD | TD | P  | E  | F  | Score global |
|--------|----------|----|----|----|----|----|----|--------------|
| OP910  | S-Réf    | 38 | 44 | 31 | 48 | 52 | 56 | <b>45</b>    |
|        | S-Panne  | 41 | 46 | 34 | 50 | 54 | 56 | <b>47</b>    |
| OP990  | S-Réf    | 46 | 58 | 43 | 51 | 54 | 52 | <b>51</b>    |
|        | S-Panne  | 48 | 61 | 46 | 55 | 57 | 55 | <b>54</b>    |
| OP7100 | S-Réf    | 36 | 41 | 31 | 44 | 47 | 50 | <b>43</b>    |
|        | S-Panne  | 38 | 44 | 32 | 46 | 49 | 53 | <b>46</b>    |

Tableau 13 : Scores NASA-TLX moyens par poste et scénario

#### D. Retours opérateurs - Synthèse et verbatims

##### Rappel du recueil

Huit retours à chaud ont été recueillis immédiatement après les sessions de simulation (5-10 min chacun) et complétés, pour six d'entre eux, par un court entretien semi-directif. Les propos ont été anonymisés (Op-01 à Op-08) et agrégés par thème. Les extraits ci-dessous sont présentés tels qu'enregistrés, raccourcis si nécessaire pour la lisibilité.

##### Fatigue et pénibilité (physique)

Les opérateurs signalent une fatigue liée à la répétition des manutentions et à certaines séquences ponctuelles. Les ressentis sont plus marqués pour OP-990 (manipulation de carters) ; OP-910 évoque plutôt la répétition et la gestion des flux comme source de fatigue cumulative

- « Ce n'est pas un geste isolé, c'est le cumul. Quand les fréquentiels s'additionnent, ça use. » - Op-07 (OP-910)

##### Déplacements, fréquentiels et gestion du flux

Plusieurs opérateurs insistent sur le temps passé à gérer les opérations annexes (changer les colonnes de paniers, les thermoformages, gérer petits cartons). Ces tâches, bien que non toujours visibles dans une courte séquence, prennent un temps conséquent et perturbent le rythme.

- « *Entre tirer les colonnes, vider les paniers et remettre les cartons, on perd du temps que personne ne voit sur la feuille.* » - Op-02 (OP-910)
- « *Les thermoformages, quand ils sont coincés, ça embrouille le poste.* » - Op-05 (OP-990)

### **Aléas techniques et procédures (pannes, signalétique)**

Les pannes (robot de contrôle, préhenseur, signal lumineux) augmentent la tension et génèrent des incertitudes procédurales : qui appeler, quelle manipulation effectuer, comment sécuriser la séquence pendant que le cycle tourne. L'absence ou la défaillance de la signalétique est fréquemment citée comme source de perte de temps.

- « *Quand la lumière ne s'allume pas, on perd du temps à chercher la bonne pièce ; on ne sait pas toujours qui appeler en priorité.* » - Op-01 (OP-910)

### **Postures et gestes contraignants**

Les descriptions de postures pointent des contraintes localisées : manutentions de carters (prise, repositionnement), maintien du préhenseur (stabilisation bras en élévation) et gestes répétitifs lors du filmage/attache des boîtes. Les opérateurs rapportent davantage de gêne aux épaules, au bas du dos et parfois au coude (OP-990).

- « *Prendre les carters, surtout quand on en emporte deux, c'est pas confort, la prise n'est pas naturelle.* » - Op-03 (OP-990)
- « *Tenir le préhenseur pour bien viser, ça tire sur l'épaule après plusieurs cycles.* » - Op-08 (OP-7100)

### **Charge cognitive, vigilance et rythme**

Les opérateurs mentionnent la nécessité d'une vigilance soutenue, notamment pour éviter les erreurs de picking (références proches) et lors des contrôles visuels en cas de panne du robot. Le rythme du cycle est perçu comme pressant, ce qui oblige parfois à ralentir volontairement pour limiter les erreurs.

- « *Il faut rester concentré sur les références, sinon la moindre erreur bloque toute la ligne.* » - Op-04 (OP-910)
- « *On sent la pression du tempo : tu veux aller vite mais tu dois vérifier, vérifier, vérifier.* » - Op-05 (OP-990)

## Encombrement et conditions de sécurité

Plusieurs remarques concernent l'encombrement des postes (thermoformages, colonnes, meubles roulants) et des risques potentiels (glissade liée à l'huile). Ces éléments sont perçus comme augmentant la difficulté de circulation et la vigilance nécessaire.

- « On se sent un peu enfermé dans le poste » - Op-02 (OP-990)

## Suggestions et améliorations proposées

Les opérateurs ont formulé des propositions pratiques : clarification des procédures en cas de panne, signalétique plus visible, optimisation des zones de stockage pour limiter les déplacements, et petites aides mécaniques faciles à utiliser pour tirer les colonnes.

- « Un pictogramme bien visible sur le panier, ça éviterait des hésitations »

| Thème                            | Nb.<br>d'opérateurs<br>(sur 8) | Synthèse                                                                                                                                    |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fatigue / pénibilité physique    | 6                              | Fatigue cumulative liée à la répétition des gestes et aux fréquentiels (manutentions, retours thermoformages).                              |
| Déplacements & fréquentiels      | 6                              | Temps significatif passé sur tâches annexes (changer colonnes, thermoformages, gérer cartons) perturbant le rythme de production.           |
| Aléas techniques / procédures    | 7                              | Pannes (robot, préhenseur, signalétique) génèrent incertitude sur la procédure et perte de temps ; nécessité d'une clarification des rôles. |
| Postures et gestes contraignants | 5                              | Contraintes localisées aux épaules, bas du dos et coudes (prise de carters, maintien préhenseur, gestes répétés d'attache).                 |
| Charge cognitive & vigilance     | 6                              | Vigilance élevée pour le picking et les contrôles ; pression temporelle ressentie, nécessité de ralentir parfois pour éviter les erreurs.   |

|                             |   |                                                                                                                                                     |
|-----------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Encombrement & sécurité     | 4 | Postes parfois encombrés (colonnes, meubles) ; inquiétude liée au sol (huile) et à la circulation restreinte.                                       |
| Suggestions / améliorations | 5 | Propositions pragmatiques : signalétique renforcée, procédures de panne clarifiées, réorganisation des zones de stockage, aides mécaniques simples. |

Tableau 14 : Synthèse retours opérateurs

## E. Croisement des données et validation des hypothèses

Le croisement des différentes sources (mesures factuelles, cotations RULA, scores NASA-TLX simulés et retours opérateurs) permet d'évaluer les hypothèses formulées en amont du projet. Le tableau ci-dessous synthétise le jugement sur chaque hypothèse en confrontant les preuves disponibles.

| Hypothèse                                        | Sources mobilisées                                                                                                       | Verdict        | Élément preuve (phrase courte)                                                                                                 |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| H1 - Charge physique cumulative                  | RULA (scores élevés sur OP990 et pics sur OP910), mesures charges (carters 5-8 kg, colonnes 5-11 kg), retours opérateurs | <b>Validée</b> | Manipulations fréquentes et répétées associées à scores RULA élevés et verbatims sur fatigue cumulative.                       |
| H2 - Déplacements répétés et station debout      | Mesures pas/cycle (OP990 ≈40, OP910 ≈25), observations vidéo, retours opérateurs                                         | <b>Validée</b> | Déplacements réguliers et fréquence d'opérations annexes entraînant dépense énergétique et fatigue.                            |
| H3 - Aléas et pannes (automation / signalétique) | NASA-TLX (S-Panne > S-Réf), entretiens (procédures floues), observations                                                 | <b>Validée</b> | Scénario panne augmente charge perçue et génère opérations de rattrapage ; incertitude sur procédures remontée par opérateurs. |

**Synthèse** : l'ensemble des données converge pour valider les trois hypothèses retenues. Les constats soulignent une charge physique cumulée, des déplacements et tâches annexes répétés, et une forte sensibilité aux aléas techniques et signalétiques.

## **XI. Diagnostics et discussion**

### **A. Diagnostic local par poste : points critiques**

L'analyse poste par poste croise les observations directes, les retours opérateurs et les cotations ergonomiques. Elle permet d'identifier, pour chaque poste, les contraintes principales susceptibles d'affecter la santé, la sécurité et l'efficacité de l'activité..

#### **1. OP 910 - Chargement palette / kitting**

**Résumé de l'activité** : préparation des kits (prélèvement de pièces sur colonnes et bacs, constitution de palettes), gestion des colonnes de paniers métalliques et des petits cartons.

#### **Diagnostic ergonomique :**

- **Contraintes biomécaniques** : forte répétition des manutentions (traction, repositionnement, vidage de paniers), qui expose aux risques de fatigue cumulative plutôt qu'à un geste unique contraignant.
- **Contraintes organisationnelles** : la gestion des fréquentiels (cartons, plastiques, paniers vides à changer) occupe une part importante du temps de cycle et perturbe le rythme prévu. Ces séquences, peu visibles dans les gammes, créent un décalage entre activité prescrite et réelle.
- **Contraintes cognitives** : la panne du robot de contrôle et l'absence ou la défaillance de la signalétique entraînent incertitude procédurale et augmentation de la charge cognitive (qui appeler, comment sécuriser le cycle, quelles pièces choisir).

- **Contraintes spatiales et environnementales** : l'accumulation progressive des cartons vides, plastiques et paniers métalliques en attente génère une sensation d'encombrement. Cela réduit les marges de manœuvre motrices et oblige à des déplacements supplémentaires pour maintenir le poste praticable.

## 2. [OP 990 - Ligne principale / préparation et mise en place des carters](#)

**Résumé de l'activité** : prise et positionnement des carters réducteur/connexion, retrait occasionnel de thermoformages, mises en place successives

### **Diagnostic ergonomique :**

- **Contraintes biomécaniques marquées** : RULA élevé sur les tâches de prise et de mise en place de carters, soutenu par les commentaires d'opérateurs (douleurs/ressenti aux épaules, bas du dos, coudes). Il y a des sollicitations répétées liées à la manipulation de carters (poids moyen 5-8 kg). Le prescrit demande la manipulation de deux pièces simultanément, ce qui augmente l'effort et limite la variabilité gestuelle.
- **Préhension et forme des carters** : la forme des carters rend la prise inconfortable (« saillante ») ; cela favorise des postures compensatoires et augmente la sollicitation des tissus.
- **Thermoformages pénibles à manipuler** : si les thermoformages n'occupent pas significativement l'espace, leur manipulation (retourner/vider) est jugée pénible et ajoute une contrainte physique ponctuelle.
- **Encombrement relatif du poste** : même si les thermoformages ne réduisent pas l'espace utile, la multiplication des éléments à gérer autour du poste (conteneurs, bacs) contribue à une sensation d'étroitesse et à des déplacements supplémentaires.
- **Perturbation en cas de défaillance d'outillage** : pertes de fluidité des outils d'assistance (vissage) entraînent un effort manuel plus important en rattrapage.

## 3. [OP 7100 -Ligne de mariage / habillage et déchargement](#)

**Résumé de l'activité** : habillage eDM (pose bouchons/obturateurs), contrôle conformité (robot/visuel) et déchargement vers UM (manipulateur ou manuel en cas de panne).

**Diagnostic ergonomique :**

- **Contraintes biomécaniques** : maintien de la boîte en élévation, bras à hauteur d'épaule, constitue la principale contrainte physique du poste. En cas de défaillance complète du préhenseur, les opérateurs peuvent être amenés à prendre manuellement les boîtes pour ne pas être en retard dans leur cycle, ce qui représente un risque potentiel supplémentaire.
- **Contraintes de précision et vigilance** : l'opération exige précision et attention soutenue, en particulier pour l'insertion dans l'UM ; cela génère une charge cognitive importante.
- **Gestes répétitifs de conditionnement** : attache des boîtes sont des fréquents générant fatigue et tensions localisées malgré des charges individuelles faibles.
- **Contrôles visuels contraints** : en l'absence de contrôle automatisé, le contrôle visuel impose des postures penchées et des vérifications derrière les boîtes.

Afin de compléter le diagnostic local et de rendre visibles les marges de manœuvre disponibles, le tableau suivant propose une synthèse par poste. Il met en évidence les principales contraintes et risques, les marges de manœuvre mobilisées par les opérateurs, leurs limites, ainsi que les risques principaux en cas de dépassement de ces marges. Cette lecture progressive permet d'anticiper les zones de fragilité et d'orienter les priorités d'action.

| Poste  | Contraintes / risques identifiés | Marges de manœuvre actuelles                                                      | Limites des marges                               | Risques principaux si marges dépassées |
|--------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------|
| OP 910 | - Manutentions répétées          | - Réorganisation ponctuelle par l'opérateur (déplacement des supports, rangement) | - Marges individuelles limitées dans le temps et | - Fatigue cumulative                   |

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestion des fréquentiels (cartons, plastiques, paniers métalliques)</li> <li>- Incertitudes en cas de panne robot de contrôle</li> <li>- Encombrement progressif du poste</li> </ul>                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entraide ponctuelle entre collègues</li> </ul>                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>dépendantes de la disponibilité des collègues</li> <li>- L'encombrement tend à revenir rapidement si non régulé structurellement</li> </ul>                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Allongement du cycle</li> <li>- Augmentation du risque d'erreur ou d'incident en situation d'aléa</li> </ul>                                          |
| <b>OP 990</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contraintes biomécaniques marquées (manipulation répétée de carters 5-8 kg)</li> <li>- Prise prescrite de deux carters simultanément</li> <li>- Forme défavorable à la préhension</li> <li>- Thermoformages pénibles à manipuler</li> <li>- Défaillance ponctuelle d'outils (visseuse)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adaptations gestuelles individuelles (prises alternatives)</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Variabilité posturale limitée par l'espace restreint</li> <li>- Fatigue accrue en fin de poste ou en cas d'enchaînement prolongé</li> <li>- Dépendance au maintien de l'outillage en état</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque de TMS épaules/dos</li> <li>- Ralentissement du flux en cas de panne outillage</li> <li>- Risque de compensation posturale délétère</li> </ul> |
| <b>OP 7100</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintien de la boîte en élévation, bras hauteur d'épaule</li> <li>- Risque de manutention manuelle en cas de panne complète du préhenseur</li> </ul>                                                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adaptation spontanée : accélération pour compenser</li> <li>- Coopération ponctuelle (aide collègue en cas de panne)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compensation augmente la fatigue</li> <li>- Contrôle visuel difficilement optimisable sans outillage</li> </ul>                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fatigue musculaire rapide (épaules, nuque)</li> <li>- Dégradation du contrôle qualité (erreurs, défauts non détectés)</li> </ul>                      |

|                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                 |  |                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestes répétitifs (pose bouchons/obturateurs)</li> <li>- Contrôles visuels contraints si panne robot de contrôle</li> <li>- Fréquentiels (attaches boîtes dans UC)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adaptation en cas de panne (prise manuelle ponctuelle, ajustement du cycle)</li> </ul> |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dégradation sécurité en cas de panne prolongée</li> </ul> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------|

Tableau 16 : Synthèse des risques et marges de manœuvre par poste

## **B. Diagnostic global : cohérence entre activité future et conception actuelle**

L'analyse croisée des trois postes met en évidence un ensemble de tensions communes qui interrogent la cohérence entre l'activité future et les choix de conception actuellement retenus.

### **Une charge physique sous-estimée par la conception**

La conception a cherché à limiter les manutentions lourdes en intégrant des préhenseurs, des robots de contrôle et des outillages d'assistance. Toutefois, l'analyse ergonomique montre que ces dispositifs n'éliminent pas totalement la contrainte physique :

- Aux postes de kitting (OP 910) et de ligne principale (OP 990), les manutentions répétées de paniers, cartons et carters restent structurantes pour l'activité ;
- Au poste de mariage (OP 7100), le maintien en élévation de la boîte constitue une contrainte incontournable, directement inscrite dans le prescrit. Ainsi, si la charge ponctuelle est relativement contenue, la répétitivité et le manque de variabilité exposent à une fatigue cumulative et à un risque de TMS, peu anticipés dans la conception initiale.

### **Des aléas et défaillances techniques peu intégrés**

Les pannes d'équipements (robot de contrôle, préhenseur, outillage de vissage) génèrent une surcharge cognitive et physique significative. Or, ces aléas ne sont pas réellement intégrés dans les scénarios de conception : l'opérateur doit improviser pour "tenir le cycle", souvent au détriment de sa santé (prises manuelles de boîtes, gestes contraints, vérifications visuelles répétées). Cela met en lumière un écart entre le fonctionnement nominal anticipé et l'activité réelle, toujours traversée par des perturbations.

### **Une gestion des flux et fréquentiels insuffisamment pensée**

La conception a privilégié la fluidité de la ligne principale, mais la gestion des flux périphériques (paniers métalliques, cartons, plastiques, thermoformages) reste peu prise en compte. Dans les faits, ces éléments s'accumulent et contribuent à créer des environnements encombrés, réduisant les marges de manœuvre motrices et spatiales. Cela témoigne d'une sous-estimation des "activités invisibles" (rangement, évacuation, régulation locale) qui structurent pourtant fortement l'activité réelle.

### **Une variabilité limitée et des marges de manœuvre fragiles**

Les marges de manœuvre identifiées sont principalement individuelles (gestuelles, entraide, tolérance ponctuelle au relâchement du prescrit). Elles sont rapidement saturées dès qu'apparaît une contrainte supplémentaire (panne, accumulation, fatigue). La conception actuelle tend donc à laisser reposer l'équilibre du système sur la capacité des opérateurs à s'adapter, sans leur offrir de véritables leviers structurels pour moduler leur charge.

### **Un risque de décalage durable entre activité réelle et projet**

L'ensemble de ces constats met en évidence un risque : si la conception n'évolue pas pour intégrer davantage la variabilité de l'activité et les besoins de régulation, l'activité réelle future sera marquée par une accumulation d'ajustements informels et d'adaptations individuelles. Cela peut conduire, à moyen terme, à une dégradation de la santé (TMS, fatigue), à une perte de qualité (erreurs en cas d'aléas), et à une tension accrue sur la performance collective.

## **C. Discussion sur l'intégration de l'ergonomie dans le projet**

L'analyse de ce projet met en lumière les difficultés rencontrées pour inscrire pleinement la démarche ergonomique dans le processus de conception. Le positionnement de l'ergonome est ici révélateur d'une tension entre les ambitions initiales d'une approche centrée activité et les conditions réelles d'intervention.

### **Une intégration tardive et limitée**

L'ergonomie a été sollicitée à un moment où l'essentiel des choix techniques et organisationnels étaient déjà fixés. L'intervention a surtout porté sur l'adaptation ponctuelle d'un poste, par l'intermédiaire de cotations et de propositions ciblées. Dans ce contexte, l'ergonome n'a pas pu réellement influencer la conception globale ni participer aux arbitrages initiaux. Cette position "à la marge" a conduit à une pratique davantage tournée vers l'évaluation et la correction que vers la co-conception.

### **Une faible reconnaissance de la démarche ergonomique**

Malgré la reformulation de la demande initiale et la tentative de proposer une analyse de l'activité comme outil d'aide à la conception, l'attente des acteurs du projet est restée centrée sur des indicateurs chiffrés (cotation RULA, EWA). L'ergonomie a été perçue comme un outil de validation ou de conformité plutôt que comme une démarche de conception intégrant les dimensions humaines dans les choix techniques. Cela a limité la possibilité de construire une réflexion partagée autour du travail réel et de la variabilité de l'activité.

### **Un travail essentiellement individuel**

En l'absence de réelle ouverture du collectif de conception, la démarche ergonomique a été réalisée de manière relativement isolée, sans échanges soutenus avec les autres corps de métier du projet. Cette situation limite fortement la portée des résultats : les analyses produites restent pertinentes mais peinent à trouver une traduction concrète dans la conception, faute d'espaces de discussion et de co-élaboration.

### **Positionnement au regard du rôle attendu de l'ergonome**

Selon la littérature (Daniellou, Béguin, Falzon), l'ergonome dans un projet de conception peut occuper plusieurs places : simple "expert technique" mobilisé pour valider un choix, ou acteur pleinement intégré, participant à la construction de

scénarios d'usage et à la confrontation des points de vue. Dans ce projet, le positionnement effectif s'est situé davantage du côté de l'expertise ponctuelle, mobilisée tardivement, plutôt que de la co-conception. Cela souligne l'écart entre la posture professionnelle recherchée (accompagner une démarche anthropocentrée, basée sur l'analyse de l'activité) et la place réellement offerte dans l'organisation du projet.

### **Un apprentissage méthodologique malgré tout**

Si l'intégration de l'ergonomie a été limitée, cette expérience constitue un apprentissage sur les conditions de réussite d'une intervention en conception : nécessité d'une implication en amont, d'une clarification de la demande, et surtout de la construction d'espaces de dialogue avec les autres acteurs du projet. Elle met en évidence que, sans ces conditions, l'ergonomie reste cantonnée à un rôle réducteur de mesure et de correction, ce qui amoindrit son potentiel de transformation.

#### **D. Limites de l'intervention et réflexions méthodologiques**

L'intervention réalisée présente plusieurs limites, qui tiennent autant au contexte organisationnel du projet qu'aux conditions de réalisation de la démarche. Identifier ces limites permet de mieux comprendre les marges de progression pour de futures interventions ergonomiques.

#### **Une intervention tardive dans le processus de conception**

L'une des principales limites réside dans la temporalité de l'intervention. L'ergonomie a été mobilisée à un stade où les choix majeurs de conception (implantations, principes techniques, flux) étaient déjà arrêtés. Cela a réduit les possibilités d'influer sur les orientations structurantes et a limité l'action à des ajustements locaux. Cette situation illustre une contrainte fréquemment décrite dans la littérature : plus l'intervention est tardive, plus l'ergonome se trouve en posture corrective plutôt que contributive.

#### **Une faible co-construction avec les autres acteurs**

L'absence d'espaces de dialogue réguliers avec les concepteurs, chefs de projet ou méthodes a constitué une seconde limite. Les analyses ergonomiques ont

été produites essentiellement en autonomie, sans réelle confrontation avec les autres métiers. Or, l'efficacité d'une démarche de conception centrée activité repose sur la mise en discussion des résultats, afin de transformer les représentations et d'ouvrir des marges de négociation sur les choix techniques. Cette absence d'interactions a réduit la portée opérationnelle des constats formulés.

### **Un recours accentué aux outils de cotation**

En réponse à la demande des acteurs du projet, l'intervention s'est appuyée fortement sur les cotations. Si ces outils apportent un langage commun et des repères objectivés, leur usage dominant a eu pour effet de réduire la complexité de l'activité à des scores chiffrés. La richesse de l'analyse de l'activité réelle (variabilité, régulations, marges de manœuvre) a eu davantage de difficultés à trouver un espace de reconnaissance. Cette situation interroge sur l'équilibre à construire entre évaluation quantitative et compréhension qualitative dans les projets de conception.

### **Un accès restreint à certaines dimensions de l'activité**

Les conditions d'observation ont également constitué une limite. Certaines séquences ont été observées sur des temps restreints, dans un contexte de projet en évolution, ce qui n'a pas toujours permis de saisir la pleine variabilité des situations de travail futures. De plus, l'activité simulée diffère de l'activité réelle en production série, ce qui limite la généralisation des analyses.

### **Réflexions méthodologiques pour la pratique**

Malgré ces limites, cette expérience constitue un terrain d'apprentissage. Elle met en évidence :

- L'importance de négocier en amont la place et le rôle de l'ergonomie dans le projet, pour éviter une réduction à une fonction d'expertise tardive ;
- La nécessité de construire des espaces de discussion inter-métiers, afin que l'analyse de l'activité soit véritablement intégrée aux choix de conception ;
- L'enjeu de maintenir un équilibre entre indicateurs quantitatifs (cotations, scores) et compréhension qualitative de l'activité, seule à même d'éclairer les marges de manœuvre et les régulations opératoires ;
- La vigilance à avoir sur les conditions d'observation, et la prudence dans l'extrapolation des résultats à l'activité future.

## **XII. Recommandations ergonomiques**

À partir des constats établis et du diagnostic local par poste, plusieurs pistes d'amélioration peuvent être formulées. L'objectif n'est pas de proposer des solutions idéales ou irréalistes, mais des recommandations envisageables à court ou moyen terme, visant à :

- Réduire les contraintes identifiées,
- Renforcer les marges de manœuvre des opérateurs,
- Améliorer la continuité et la robustesse de la ligne, y compris en mode dégradé.

### **A. Propositions de solutions**

#### **OP 910 - Chargement palette / kitting :**

- **Améliorer la gestion des fréquentiels** : prévoir un espace de regroupement clair pour cartons vides et plastiques afin d'éviter l'accumulation et la sensation d'encombrement. Une signalétique simple ou un chariot dédié peut suffire.
- **Aide à la traction des paniers métalliques** : en complément de l'existant, mettre à disposition un système de poignée amovible ou d'assistance mécanique légère (type levier ou timon court) pour réduire l'effort lors du déplacement des colonnes pleines.
- **Sécurisation des pannes de signalétique** : en cas de panne de l'affichage lumineux, prévoir un repère secondaire (étiquettes, support papier plastifié) pour maintenir la fiabilité du picking.
- **Procédures claires en cas de panne robot de contrôle** : définir une chaîne d'action simple et connue (qui prévenir, quelles actions possibles en autonomie, délai d'attente) afin de réduire l'incertitude.

#### **OP 990 - Ligne principale / carters :**

- **Allègement de la manipulation des carters** : envisager des systèmes simples (poignées, gabarits de maintien, supports inclinés) pour réduire l'effort et limiter les postures compensatoires

- **Limitier la manutention simultanée de deux carters** : favoriser la manipulation unitaire, quitte à réajuster le temps de cycle. Cette alternative réduirait la contrainte biomécanique et augmenterait la variabilité gestuelle.
- **Amélioration de la gestion des thermoformages** :
  - Clarifier le mode de dépôt (prévoir un espace repéré pour les thermoformages vides),
  - Mettre à disposition un repère visuel ou un système de calage qui facilite leur remise « dans le bon sens » pour l'empilage, afin de limiter la manipulation fastidieuse en fin de cycle.
- **Sécurisation des aléas d'outillage** : en cas de perte de fluidité de l'outil de vissage, mettre à disposition un protocole simple de rattrapage ou un outil secondaire de secours pour éviter un surcroît d'effort manuel improvisé.
- **Posture à la dépose du carter** : retirer la plaque jaune au-devant du convoyeur pour éviter inclinaisons et risque de cognements à chaque déposé

#### **OP 7100 - Ligne de mariage / habillage et déchargement :**

- **Réduction de la contrainte liée au préhenseur** : étudier la faisabilité d'un appui mécanique intermédiaire ou d'une assistance de maintien pour limiter la sollicitation en élévation prolongée.
- **Amélioration du contrôle visuel** : installer un miroir orientable ou une caméra simple pour faciliter la vérification arrière, sans postures inclinées répétées.
- **Accessibilité lors du zippage** : réorganiser légèrement l'accès aux contenants ou recommander un cheminement permettant à l'opérateur de se positionner des deux côtés de l'UC, afin d'éviter les postures contraintes et penchées répétées.
- **Guidage visuel UM** : renforcer les repères visuels ou guides simples pour faciliter l'insertion et réduire les ajustements successifs.

Au-delà des améliorations locales, plusieurs leviers peuvent contribuer à renforcer la robustesse globale de la ligne :

- **Gestion des flux et logistique interne** : Les flux secondaires (cartons plastiques, thermoformages, paniers métalliques en attente etc.) constituent

une source majeure d'encombrement. Leur traitement pourrait être anticipé par une organisation plus claire :

- Mise à disposition d'espaces dédiés à proximité immédiate,
- Ramassage plus fréquent par la logistique,
- Intégration dans les standards de suivi (par exemple, tournée régulière de collecte).
  - Cela permettrait de libérer les zones de travail et d'éviter que les opérateurs aient à gérer seuls ces accumulations.
- **Robustesse en mode dégradé** : Les aléas (pannes robot, préhenseur défaillant, visseuse bloquée) sont inévitables. L'enjeu est de réduire leur impact sur l'activité réelle. Pour cela, il est essentiel de définir des procédures de secours claires et rapides à activer, avec des moyens accessibles (outil manuel de secours, repère visuel alternatif, règle de priorité claire). Ces marges de sécurité renforcent la continuité du flux et réduisent la charge cognitive des opérateurs.
- **Déplacements et station debout prolongée** : La ligne impose une station debout continue et des déplacements fréquents, parfois contraints par l'encombrement. Pour réduire cette charge cumulative, deux pistes sont envisageables :
  - Limiter les déplacements « contraints » en regroupant mieux les approvisionnements et en évitant l'accumulation d'éléments dans les allées,
  - Introduire, si possible, des appuis intermittents (reposoirs discrets, petites zones d'assise temporaire utilisables entre deux cycles longs) afin d'alléger l'effort lié à la station debout permanente.
- **Reconnaissance et soutien organisationnel** : Enfin, une partie des contraintes tient moins au geste qu'au manque de reconnaissance de la réalité de l'activité par la conception. En rendant visibles les tâches annexes (fréquentiels, gestion des flux, mode dégradé), et en intégrant ces dimensions dans la planification, on permettrait de rapprocher le prescrit du réel, et donc de réduire le sentiment de tension permanente.

## **B. Modalités d'implication des opérateurs**

Un des enseignements les plus forts de ce travail est que l'expérience des opérateurs fait apparaître des éléments qu'aucun plan, aucune gamme, ni même une simulation technique ne permettent de voir. Les difficultés liées aux fréquentiels, les tensions créées par les aléas ou encore la sensation d'encombrement au poste n'existent que dans le vécu de l'activité réelle. C'est pourquoi l'implication des opérateurs dans un projet de conception ne peut pas être considérée comme un simple « plus » : c'est une condition nécessaire pour concevoir des situations de travail viables et durables.

Dans ce projet, leur participation a surtout pris la forme de retours à chaud et de discussions informelles après les simulations. Ces échanges ont été très riches et ont permis de mettre en lumière des aspects qui n'apparaissaient nulle part ailleurs. Mais leur rôle est resté ponctuel, centré sur la réaction à une situation déjà largement prédéfinie. En d'autres termes, les opérateurs ont eu la possibilité de commenter, mais pas vraiment d'influer en amont sur les choix structurants du projet (organisation des flux, agencement des zones, type de supports logistiques, etc.).

Or, l'expérience montre que c'est précisément à ces moments clés qu'il serait le plus utile de les associer. Leur présence ne signifie pas qu'ils doivent décider à la place des concepteurs, mais qu'ils apportent un regard complémentaire, fondé sur le vécu, qui permet de tester la faisabilité réelle des options envisagées. Un simple atelier collectif, ou des temps réguliers de retour d'expérience, pourraient suffire à capter ces apports en continu. Cela éviterait que de petites contraintes, jugées mineures au départ, ne s'accumulent et finissent par peser lourdement sur la charge physique et cognitive des postes.

Impliquer les opérateurs, c'est aussi leur donner une place dans le projet, reconnaître leur expertise du travail réel. Cette reconnaissance joue un rôle clé dans l'appropriation des changements. Quand les solutions sont « imposées » de manière descendante, sans discussion, les opérateurs développent souvent des stratégies de contournement ou des ajustements invisibles pour réussir malgré tout à tenir le cycle. Mais ces stratégies peuvent être coûteuses et parfois risquées. À l'inverse, quand ils

sont associés aux discussions, les solutions sont mieux acceptées, mieux utilisées et, au final, plus efficaces.

En ce sens, l'implication des opérateurs ne doit pas être vue comme une étape ponctuelle de consultation, mais comme un fil rouge du projet. C'est ce qui permet de faire le lien entre les contraintes techniques, organisationnelles et humaines, et d'ancrer la conception dans une réalité de travail vivante et évolutive.

### **XIII. Conclusion générale**

#### **A. Réponse à la problématique**

Pour transformer une démarche essentiellement technico-centrée en une démarche réellement centrée sur l'activité humaine, il ne suffit pas d'ajouter quelques correctifs : il faut remettre l'analyse du travail au cœur de la conception, structurer des points d'entrée pour l'ergonomie dans le projet, et bâtir des boucles de décision qui tiennent compte à la fois des exigences de production et des contraintes corporelles et cognitives des opérateurs. Les travaux menés pour ce mémoire montrent clairement trois leviers opérationnels et complémentaires pour opérer ce basculement.

D'abord, la **reformulation de la demande** est indispensable. Plutôt que d'interpréter l'ergonomie comme un ensemble d'indicateurs à valider en fin de projet (cotation, conformité), il faut poser la question autrement dès l'amont : quelles fonctions humaines l'équipement doit-il préserver ? quelles marges de manœuvre sont tolérables ? reformuler la demande oblige à expliciter les finalités (santé, qualité, performance) et à négocier les priorités avant que les choix techniques ne verrouillent les options. Cette étape a été appliquée ici : elle a permis d'orienter les analyses vers l'activité réelle plutôt que vers un simple chiffrage prescriptif.

Ensuite, la démarche doit devenir **participative et itérative**. L'activité réelle se voit dans l'expérience des opérateurs (leurs fréquents, leurs adaptations, leurs rituels non consignés, etc.). Les simulations, les retours à chaud et les entretiens courts menés dans ce travail montrent que la connaissance opératoire éclaire des phénomènes invisibles sur les gammes : points d'encombrement, aléas récurrents,

répétitivité cumulative. Concrètement, passer à une approche anthropocentrée implique d'intégrer des représentants des opérateurs aux étapes-clefs de conception, d'organiser des essais pilotes confrontant le prescrit au réel, puis d'ajuster en cycles rapides (analyser → simuler → corriger). Ce n'est pas un luxe : c'est la condition pour que les solutions techniques ne créent pas, en aval, des coûts humains ou des ruptures de flux.

Le troisième levier tient à la **construction d'indicateurs combinés** qui articulent la performance et la soutenabilité. Pour concilier productivité et santé, il faut des métriques qui parlent aux ingénieurs (temps de cycle, TRS, rendement) mais aussi des indicateurs ergonomiques opérationnels (scores RULA sur séquences critiques, scores NASA-TLX par scénario, nombre et poids des manutentions, fréquence des interventions de rattrapage en mode dégradé, fréquence des corrections). L'usage conjoint de ces données permet d'arbitrer : où est-il acceptable d'ajouter quelques secondes de cycle pour réduire une sollicitation physique majeure ? quelles priorités donner en cas de conflit ? Ces outils rendent la négociation tangible.

Sur le plan organisationnel, la bascule demande des changements de gouvernance de projet : présence systématique d'un ergonome dans le comité de conception, jalons ergonomiques formels (revues d'implantation, tests d'usage), rédaction conjointe des protocoles de gestion des pannes et des modes dégradés. L'ergonome doit pouvoir reformuler la demande, proposer des hypothèses, piloter des simulations et faire valider les ajustements par le collectif projet. Quand l'ergonomie intervient trop tard, elle se réduit à un rôle de correctif ; quand elle est là dès l'amont, elle devient source d'économies et de robustesse opérationnelle.

Enfin, ce basculement exige une posture pragmatique : il ne s'agit pas d'opposer la technique et l'humain, mais de concevoir des dispositifs techniques qui anticipent la variabilité humaine et les aléas. Les recommandations proposées (préhenseurs adaptés, zones logistiques dédiées, procédures de secours, signalétique redondante, simulations « mode dégradé ») sont, dans ce cadre, des exemples de compromis réalisables. Leur intérêt réel tient au processus : conçues en dialogue avec les utilisateurs et testées en situation simulée, elles concilient performance et soutenabilité, plutôt que d'être des « palliatifs » appliqués a posteriori.

En synthèse : pour passer d'un techno centrisme de conception vers une approche anthropocentrée, il faut réorganiser la démarche projet autour de l'analyse de l'activité (reformulation initiale), intégrer la parole et l'expertise des opérateurs tout au long du processus (participation et itérations), et croiser systématiquement indicateurs de performance et indicateurs de soutenabilité. C'est seulement ainsi que les choix techniques pourront être arrêtés en connaissance de cause, garantissant à la fois la productivité et la préservation de la santé des travailleurs.

## **B. Conclusion**

En conclusion, cette étude montre que passer d'une logique technico-centrée à une approche réellement centrée sur l'activité nécessite de replacer l'observation du travail au cœur de la conception. La triangulation des sources (captation vidéo, cotations RULA, NASA-TLX et retours « à chaud ») a permis d'identifier des points d'attention concrets et des pistes d'action immédiatement mobilisables au démarrage de la ligne.

À court terme, il paraît pertinent d'organiser de brefs jalons ergonomiques au ramp-up (observations ciblées, retours opérateurs synthétiques, quelques indicateurs simples) pour vérifier les effets des adaptations et prioriser des corrections rapides.

À plus long terme, inscrire l'ergonomie dans la gouvernance projet (par des revues d'implantation et des boucles d'ajustement régulières) contribuera à concilier durablement performance industrielle et soutenabilité du travail.

#### **XIV. Annexes**

Annexe 1 : Organigramme du service de prévention

Annexe 2 : Organisation hiérarchique du pôle production chez Stellantis Valenciennes

Annexe 3 : Liste des véhicules équipés par les boîtes de vitesses Stellantis

Annexe 4 : Processus de fabrication

Annexe 5 : Tableau pré-gammes OP 910 Step 4

Annexe 6 : Tableau pré-gammes OP 990 Step 4

Annexe 7 : Tableau pré-gammes OP 7100 Step 4

Annexe 8 : Plans des 3 implantations envisagées OP910

Annexe 9 : Plan implantation OP 7100

Annexe 10 : Photos du poste OP 910 - Step 4

Annexe 11 : Photo poste OP 7100 - Step 4

Annexe 12 : Cotation EWA - OP 910 Step 2

Annexe 13 : Cotation EWA - OP 990 Step 2

Annexe 14 : Photos Step 2

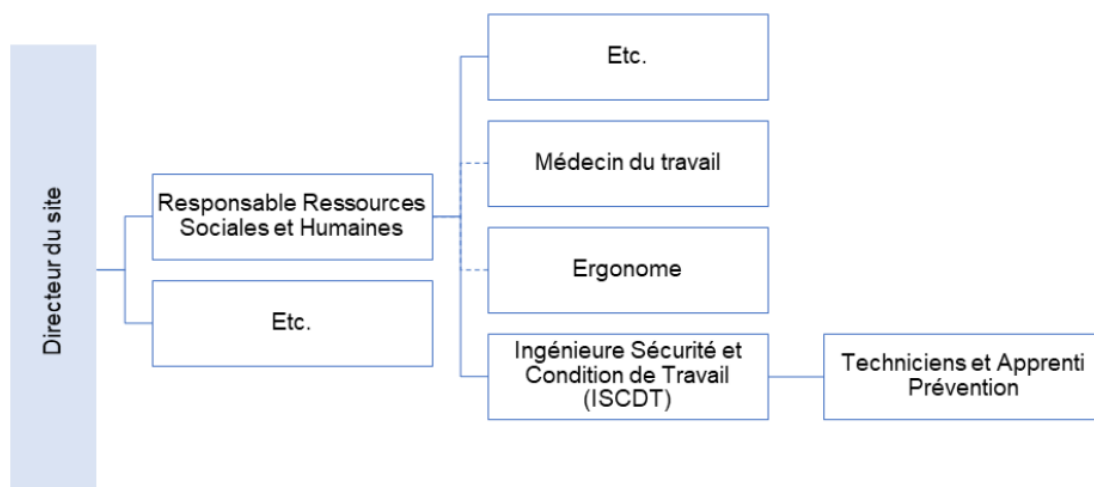
Annexe 15 : Photos Step 3

Annexe 16 : RULA – Risques Biomécaniques

Annexe 17 : NASA-TLX

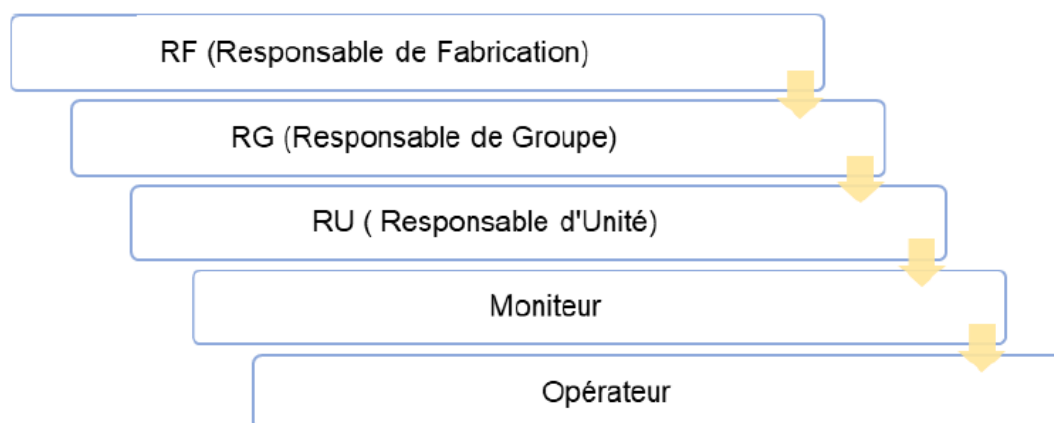
Annexe 18 : Trame d'entretien - Questions semi-directrices (à compléter après le retour à chaud)

### ***Annexe 1 : Organigramme du service de prévention***



---

### ***Annexe 2 : Organisation hiérarchique du pôle production chez Stellantis Valenciennes***



---

### ***Annexe 3 : Liste des véhicules équipés par les boîtes de vitesses Stellantis***

### OÙ VONT NOS PRODUITS ?

Les véhicules équipés des boîtes valenciennoises

21 sites clients  
25 véhicules

























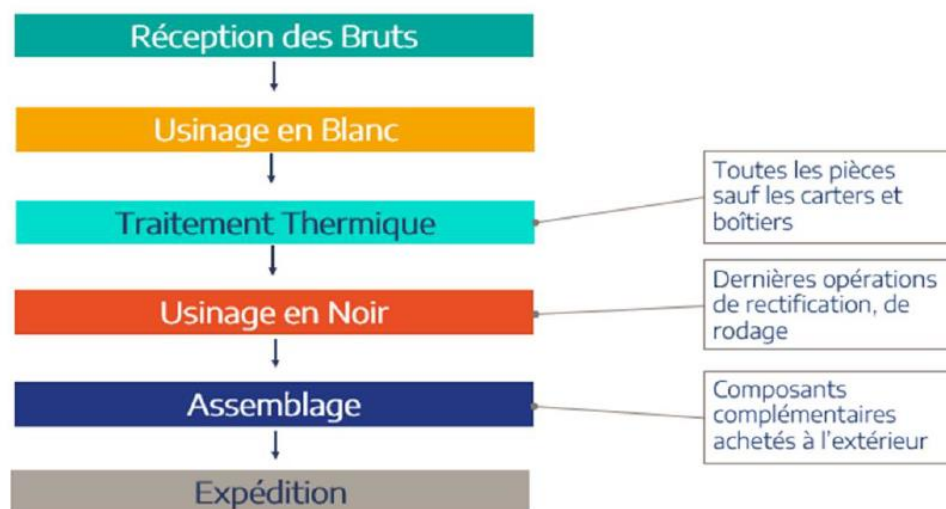






Sept 2024

#### Annexe 4 : Processus de fabrication



#### Annexe 5 : Tableau pré-gammes OP 910 Step 4

| LIGNE 1 : NE PAS MODIFIER OU SUPPRIMER |     |            |              |           |                   |        |        |                                                                                   |                                                                                                            | SVELT |  | Allocated Time |
|----------------------------------------|-----|------------|--------------|-----------|-------------------|--------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--|----------------|
| Line                                   | OP  | Cycle Time | Product Side | Height    | Ecart TC à gagner | Statut | Type   | Station                                                                           | Assembly sequence in FRENCH                                                                                |       |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       | Assemblage   | 900 - 250 | -0.24             | OK     | Manuel | CHARGEMENT PALETTE AU KIT                                                         |                                                                                                            | 0.82  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |  | Transfert palette ( vers butée d'attente )                                                                 | 0.14  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Transfert palette ( butée d'attente vers butée poste ) ( temps masqué )                                    | 0.07  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Lecture RFID + indexage palette ( butée poste ) ( temps masqué )                                           | 0.05  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Déplacement vers meuble différentiel                                                                       | 0.04  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | MEP de l'outil méthode sur boîtier différentiel ASS RGM ( anti chute des axes )                            | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |  | Prise 1 boîtier différentiel ASS RGM dans le casier                                                        | 0.05  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Déplacement vers ligne                                                                                     | 0.04  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | MEP boîtier différentiel ASS sur palette                                                                   | 0.05  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Retirer l'outil méthode sur boîtier différentiel ASS RGM ( anti chute des axes )                           | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |  | Prise des 2 roulements AP dans le meuble en frontal                                                        | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | MEP des 2 roulement AP sur palette ( 2 sur posage roulement )                                              | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Prise des 2 cônes AS dans le meuble en frontal                                                             | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | MEP des 2 cônes AS sur palette                                                                             | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |  | Déplacement vers casiers AP et AS                                                                          | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Prise 1 AP et 1 AS dans les casiers                                                                        | 0.03  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Déplacement vers ligne                                                                                     | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | MEP 1 AP et 1 AS sur palette                                                                               | 0.07  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |  | Prise 1 roue de parking dans le meuble                                                                     | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | MEP 1 roue de parking sur palette                                                                          | 0.05  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Déplacement vers casier couronne                                                                           | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |  | Prise 1 couronne dans le casier                                                                            | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Déplacement vers ligne                                                                                     | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | MEP 1 couronne sur palette                                                                                 | 0.05  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |  | Fréquentiel - boîtes POE ( Roulement AP + Cone AS )                                                        | 0.01  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Fréquentiel - Déchargement / chargement paniers différentiel RGM ( 4 paniers x 9 différentiels )           | 0.01  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Fréquentiel - boîte POE ( 6 boîtes x 24 roue de park )                                                     | 0.01  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Fréquentiel - déchargement / chargement paniers APIAS/Couronne ( 5 paniers x 21 AP / 12 AS / 8 Couronnes ) | 0.02  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Fréquentiel - remonte plats et dépollution AGV ( 8 MEL par AGV )                                           | 0.15  |  |                |
| Kit                                    | 910 | 1.06       |              |           |                   |        |        |                                                                                   | Desindexage palette et descente butée ( temps masqué )                                                     | 0.05  |  |                |

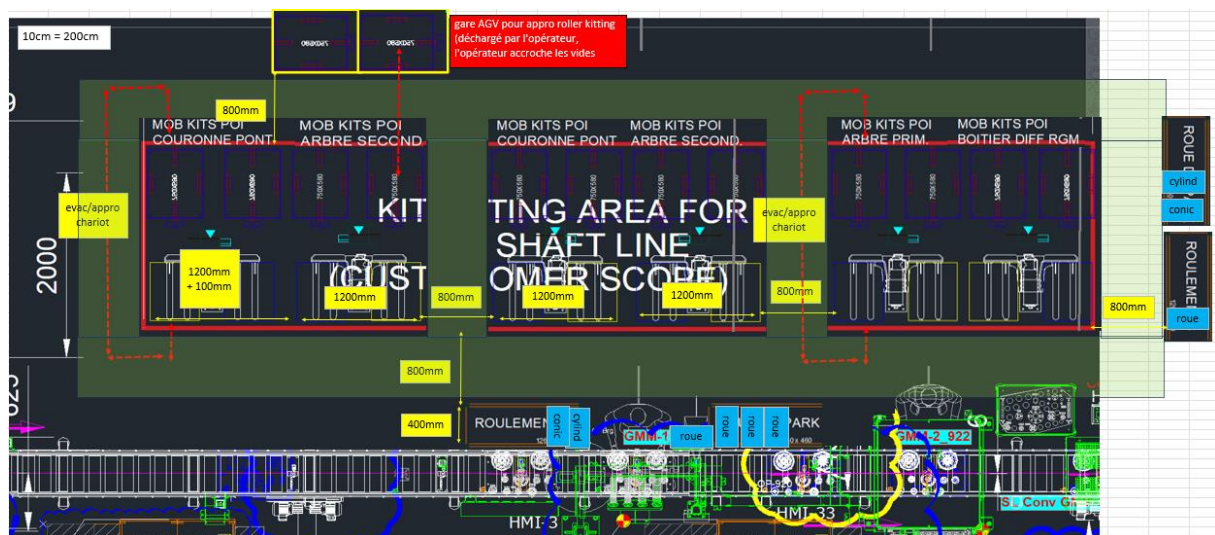
## Annexe 6 : Tableau pré-gammes OP 990 Step 4

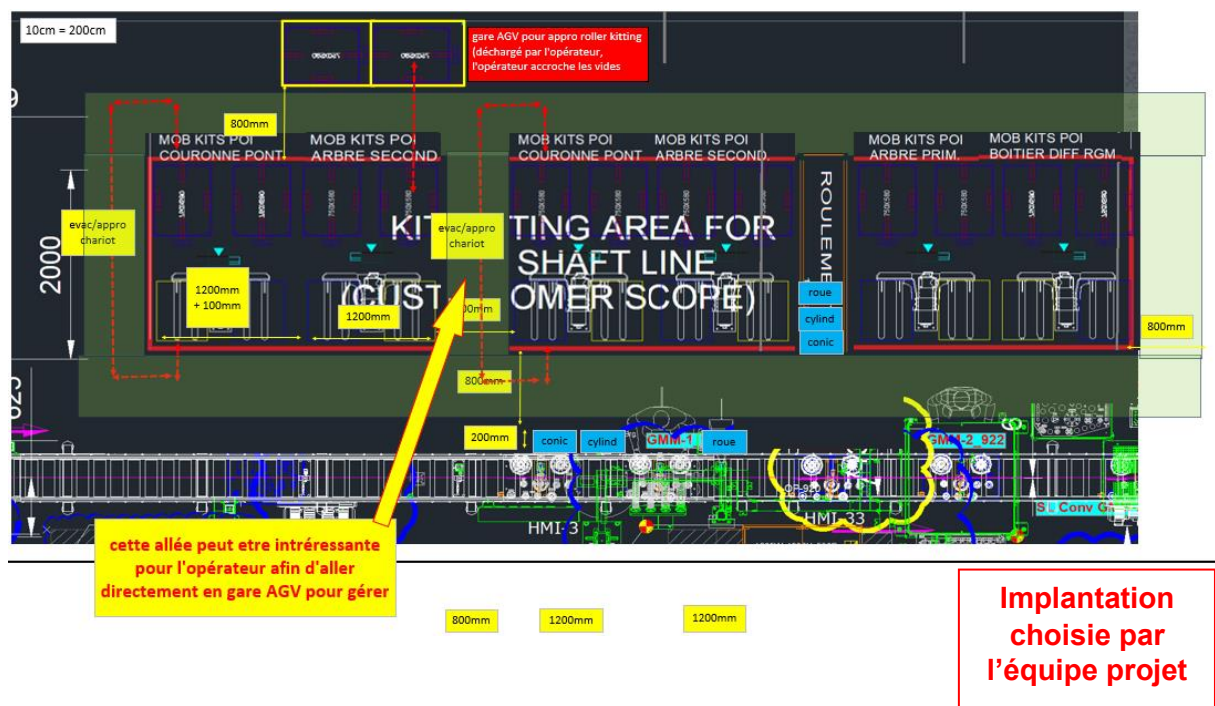
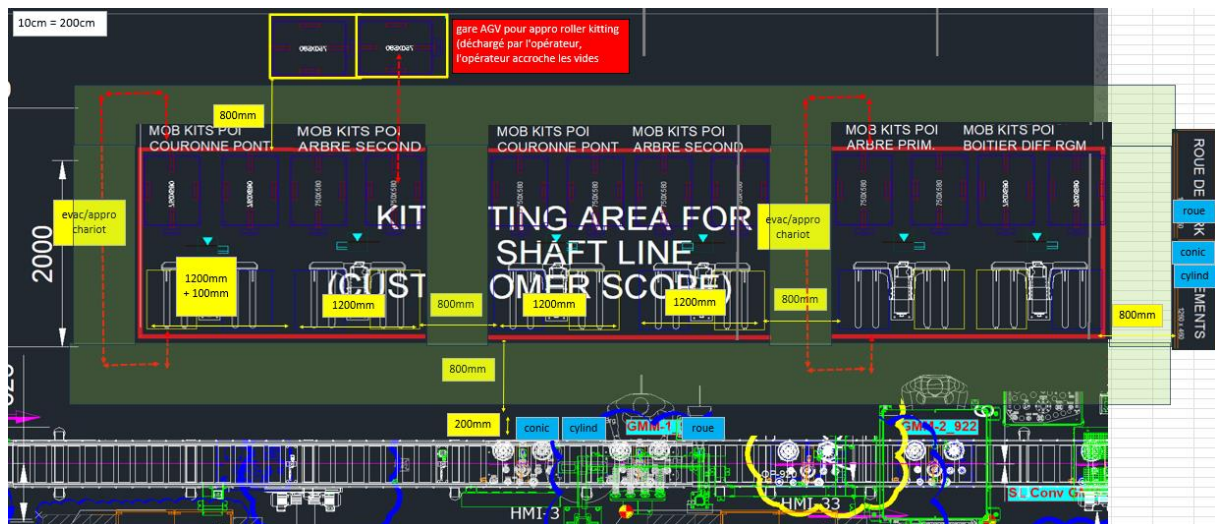
| LIGNE 1 : NE PAS MODIFIER OU SUPPRIMER |     |            |              |           |                   |        |        |                                                                                     |                                                                                       | SVELT |   | Allocated Time | Type of operation eDM - RG M L / MEL M |
|----------------------------------------|-----|------------|--------------|-----------|-------------------|--------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|---|----------------|----------------------------------------|
| Line                                   | OP  | Cycle Time | Product Side | Height    | Ecart TC à gagner | Status | Type   | Station                                                                             | Assembly sequence in FRENCH                                                           |       |   |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       | Assemblage   | 900 - 250 | -0.04             | OK     | Manuel | CHARGEMENT CARTERS ET PREPARATION CARTER REDUCTEUR                                  |                                                                                       | 1.06  |   |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Transfert palette ( vers butée 1 ) ( temps masqué )                                   | 0.14  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |                                                                                     | Lecture RFID + indexage palette ( butée 1 ) ( temps masqué )                          | 0.05  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |                                                                                     | Déplacement de l'opérateur vers appro carter connexion - départ butée 3               | 0.03  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |                                                                                     | Prise carter connexion                                                                | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Retournement + Déplacement de l'opérateur vers ligne - butée 1                        | 0.03  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |                                                                                     | Mise en place carter connexion sur palette - butée 1                                  | 0.04  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |                                                                                     | Lecture Datamatrix du carter connexion ( temps masqué )                               | 0.05  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Retournement + Déplacement de l'opérateur vers appro carter réducteur                 | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |                                                                                     | Prise carter réducteur                                                                | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Retournement + Déplacement de l'opérateur vers ligne - butée 1                        | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |                                                                                     | Mise en place carter réducteur sur palette                                            | 0.04  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Lecture Datamatrix du carter réducteur ( temps masqué )                               | 0.05  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |                                                                                     | Zipage du côté du verrou de park ( temps masqué )                                     | 0.03  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Prise du verrou de park                                                               | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |                                                                                     | Mise en place module verrou de park dans carter réducteur                             | 0.05  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Prise 2 vis verrou de park                                                            | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |                                                                                     | Mise en place des 2 vis verrou de park dans douilles alimentées ( à 2 mains )         | 0.03  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Descente des outils de vissage et de l'outil verrou de park                           | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |                                                                                     | Vissage 2 vis verrou de park ( temps masqué )                                         | 0.10  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Remontée des outils de vissage et de l'outil verrou de park ( temps masqué )          | 0.02  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Prise du support biellette anti couple                                                | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Dépose du support biellette anti couple sur la palette                                | 0.03  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Prise des 2 vis support biellette anti-couple                                         | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Mise en place des 2 vis dans le support biellette anti couple sur la palette          | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Prise du manchon                                                                      | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Dépose du manchon sur la palette                                                      | 0.03  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Prise goulotte amenée d'huile                                                         | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Prise aimant                                                                          | 0.01  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Mise en place aimant dans la goulotte                                                 | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Mise en place goulotte dans le carter réducteur                                       | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Prise 1 vis goulotte                                                                  | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Mise en place et éplépage 1 vis goulotte amenée d'huile                               | 0.03  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | DCY                                                                                   | 0.01  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Déplacement de l'opérateur vers dispositif de huilage - butée 3                       | 0.04  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Reprise de l'actionneur huile                                                         | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Déplacement de l'opérateur vers butée 3                                               | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Mise en place de l'actionneur dans l'outil de MEP                                     | 0.04  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | DCY                                                                                   | 0.01  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Zipage de l'actionneur ( temps masqué )                                               | 0.01  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Retournement + Déplacement de l'opérateur vers appro actionneur                       | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Prise de l'actionneur                                                                 | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Retournement + Déplacement de l'opérateur vers dispositif de huilage                  | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Mise en place de l'actionneur sur le dispositif de huilage                            | 0.03  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Huilage joint de l'actionneur verrou ( temps masqué )                                 | 0.04  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Bridage carter réducteur ( temps masqué )                                             | 0.03  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | MEP Actionneur dans carter ( temps masqué )                                           | 0.06  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Autorisation accès opérateur ( temps masqué )                                         | 0.01  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Prise 3 vis actionneur                                                                | 0.02  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Mise en place et éplépage des 3 vis actionneur                                        | 0.09  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | DCY                                                                                   | 0.01  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Vissage 1 vis goulotte amenée d'huile ( temps masqué )                                | 0.08  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Vissage 3 vis Actionneur ( temps masqué )                                             | 0.24  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Desindexage palette + écriture résultat CG et descente butée ( temps masqué )         | 0.05  | A |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Fréquentiel - Rotation embase carter réducteur                                        | 0.04  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Fréquentiel - Boîtes POE ( Verrou + Manchon + Support biellette + Aimant + Goulotte ) | 0.01  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Fréquentiel - Rotation embase carter connexion                                        | 0.03  | M |                |                                        |
| Principale                             | 990 | 1.10       |              |           |                   |        |        |  | Fréquentiel - Boite POE ( 6 boîtes x 9 actionneurs )                                  | 0.01  | M |                |                                        |

## Annexe 7 : Tableau pré-gammes OP 7100 Step 4

| LIGNE 1 - NE PAS MODIFIER OU SUPPRIMER |      |            |              |        |                   |        |        |                                  |                                                                                                          | SVELT          |   | Type d'opération eDM - RG M.L. / M.L.M.                                           |
|----------------------------------------|------|------------|--------------|--------|-------------------|--------|--------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Line                                   | OP   | Cycle Time | Product Side | Height | Ecart TC à gagner | Statut | Type   | Station                          | Assembly sequence in FRENCH                                                                              | Allocated Time |   |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       | Véhicule     | 796    | -0.07             | OK     | Manuel | HABILLAGE eDM                    | Transfert palette ( vers butée amont )                                                                   | 0.14           | A |  |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Lecture RFID ( butée amont )                                                                             | 0.02           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Transfert palette ( butée amont vers butée poste )                                                       | 0.07           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Lecture RFID + endevue palette ( butée poste ) ( temps masqué )                                          | 0.03           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Prise bouchon de vidange (G) + joint culure (G) ( temps masqué )                                         | 0.03           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | N2P joint culure sur le bouchon de vidange ( temps masqué )                                              | 0.02           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Mise en place du bouchon de vidange avec le joint culure sur la palette (G) ( temps masqué )             | 0.02           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Essuyage du réducteur au niveau du bouchon de vidange (G)                                                | 0.05           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Prise 1 obturateur de transport différentiel D (G) et Prise 1 obturateur de transport différentiel G (G) | 0.02           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Mise en place des obturateurs de transport différentiel D et différentiel G sur l'eDM                    | 0.05           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Prise du bouchon Entree d'eau (G) et de l'obturateur Schindler (G)                                       | 0.02           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Mise en place du bouchon Entree d'eau et de l'obturateur Schindler sur l'eDM                             | 0.06           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Prise du bouchon Sortie d'eau (G) et de l'obturateur bouchon de remplissage (G)                          | 0.02           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Mise en place du bouchon Sortie d'eau et de l'obturateur bouchon de remplissage sur l'eDM                | 0.05           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Prise étiquette (G)                                                                                      | 0.02           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Mise en place étiquette eDM                                                                              | 0.05           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Déplacement vers OP 7100 - 3                                                                             | 0.03           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Lecture étiquette ( temps masqué )                                                                       | 0.02           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Débruyement - Boîtes POE et étiquette                                                                    | 0.04           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Desendevue palette + écriture résultat CG et descente butée ( temps masqué )                             | 0.03           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.08       | Véhicule     | 796    | -0.05             | OK     | Auto   | CONTROLE CONFORMITE eDM          | Transfert palette ( vers butée amont )                                                                   | 0.14           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.08       |              |        |                   |        |        |                                  | Lecture RFID ( butée amont )                                                                             | 0.02           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.08       |              |        |                   |        |        |                                  | Transfert palette ( butée amont vers butée poste )                                                       | 0.07           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.08       |              |        |                   |        |        |                                  | Lecture RFID + endevue palette ( butée poste )                                                           | 0.03           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.08       |              |        |                   |        |        |                                  | Contrôle eDM - Boîtiers + Obturateurs + Présence joint du bouchon de vidange                             | 0.46           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.08       |              |        |                   |        |        |                                  | Desendevue palette + écriture résultat CG et descente butée                                              | 0.03           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       | Véhicule     | 796    |                   |        | Manuel | DECHARGEMENT eDM + CHARGEMENT UM | Transfert palette ( vers butée amont )                                                                   | 0.14           | A |  |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Lecture RFID ( butée amont )                                                                             | 0.02           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Transfert palette ( butée amont vers butée poste ) ( temps masqué )                                      | 0.07           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Lecture RFID + endevue palette ( butée poste ) ( temps masqué )                                          | 0.03           | A |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Prise de l'ensemble eDM avec le préhenseur sur la palette                                                | 0.15           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Déplacement vers UM                                                                                      | 0.10           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Mise en place de l'ensemble eDM dans UM                                                                  | 0.15           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Remise des poids de l'UM ( fréquentiel )                                                                 | 0.03           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Zipage eDM dans UM ( fréquentiel )                                                                       | 0.03           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Prise étiquette ( fréquentiel )                                                                          | 0.02           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Mise en place étiquette GALIA sur UM ( fréquentiel )                                                     | 0.02           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Déplacement vers ligne avec manipulateur + vers OP 7100 - 1                                              | 0.07           | M |                                                                                   |
| Mariage                                | 7100 | 1.14       |              |        |                   |        |        |                                  | Desendevue palette + écriture résultat CG et descente butée ( temps masqué )                             | 0.03           | A |                                                                                   |

## Annexe 8 : Plans des 3 implantations envisagées OP910





**Annexe 9 : Plan implantation OP 7100**





---

***Annexe 11 : Photo poste OP 7100 - Step 4***



Type  
d'UC

---

***Annexe 12 : Cotation EWA - OP 910 Step 2***

## Ergonomics Workstation Assessment (EWA)

|  |                                  |                           |  |                                |       |                   |                   |
|--|----------------------------------|---------------------------|--|--------------------------------|-------|-------------------|-------------------|
|  | N° du Poste                      | OP 910                    |  | Somme des TC opérations        | 22,98 | OK! REMPLIR L'EWA | Commentaire Poste |
|  | Intitulé du Poste                | CHARGEMENT PALETTE AU KIT |  | Temps disponible               | 37,02 |                   |                   |
|  | Date de création de l'évaluation | mai-24                    |  | Coefficient de Repos final (%) | 6     |                   |                   |
|  | Date de MAJ de l'évaluation      | mars-25                   |  | Temps de repos nécessaire      | 3,40  | Secondes          |                   |
|  | Hauteur de travail               | 1100                      |  |                                |       |                   |                   |

| Charge Physique Globale               |                            |                           |                                  |                               |
|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Dépense énergétique (dont majoration) | Port de charge (Kg/ heure) | Port de charge (Kg /jour) | Mobilité (nbre de km par équipe) | Mode Auto Sélectionné         |
| 2,90                                  | 2988                       | 20916                     | 5,19                             | Calculs Automatiques $\Delta$ |

### Alertes Contraintes articulaires des Membres Supérieurs

|                   |                  |                    |                 |                                         |
|-------------------|------------------|--------------------|-----------------|-----------------------------------------|
| Contrainte Epaule | Contrainte Coude | Contrainte Poignet | Rachis Cervical | Sollicitations maintenues dans le Temps |
|                   |                  |                    |                 | 0                                       |

| Majorations             | Commentaire |
|-------------------------|-------------|
| Port de charges         | 1           |
| IPE > ou = à 7          | Non         |
| Changement de niveau    | Non         |
| Monter dans le véhicule | Non         |
| Déplacements            | Non         |
| Autre                   | Non         |

car moins de AS que

| Grille d'évaluation du Poste |                                                                                  |                 |          |         |        |               |                    |   |   |   |   |     |                         |                                   |       |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|---------|--------|---------------|--------------------|---|---|---|---|-----|-------------------------|-----------------------------------|-------|
| Attente                      |                                                                                  | 37,02           | R        |         | 1,5    |               |                    |   |   |   |   |     |                         |                                   | 55,53 |
| N° Opération                 | Intitulé Opération                                                               | Temps Opération | Postures | Valeurs | Kg/DaN | Nombre de pas | Hauteur de travail | - | - | - | - | IPE | Majoration IPE > ou = * | Majoration Charge Physique Global | txIPE |
| RG M                         | Déplacement vers meuble différentiel                                             | 2,160           | N        |         | kg     | 6,00          |                    |   |   |   |   | 2   | 0                       |                                   | 4,32  |
| RG M                         | MEP de l'outil méthode sur boîtier différentiel ASS RGM ( anti chute des axes )  | 1,200           | N        |         | kg     |               | 1100               |   |   |   |   | 2   | 0                       |                                   | 2,40  |
| RG M                         | Prise 1 boîtier différentiel ASS RGM dans le casier                              | 0,600           | N        | 4,99    | kg     |               |                    |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 1,80  |
| RG M                         | Déplacement vers ligne                                                           | 2,400           | N        | 4,99    | kg     | 6,0           |                    |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 7,20  |
| RG M                         | MEP boîtier différentiel ASS sur palette                                         | 1,200           | N        | 4,99    | kg     |               | 1100               |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 3,60  |
| RG M                         | Retirer l'outil méthode sur boîtier différentiel ASS RGM ( anti chute des axes ) | 1,200           | N        |         | kg     |               | 1100               |   |   |   |   | 2   | 0                       |                                   | 2,40  |
| RG M                         | Prise des 2 roulements AP (latéral droit sur rack)                               | 0,600           | N        | 2,02    | kg     |               | 1100               |   |   |   |   | 2   | 0                       |                                   | 1,20  |
| RG M                         | MEP des 2 roulements AP sur palette ( 2 sur posage roulement )                   | 1,200           | N        | 2,02    | kg     |               | 1100               |   |   |   |   | 2   | 0                       |                                   | 2,40  |
| RG M                         | Prise des 2 cônes AS en frontal                                                  | 0,600           | I        | 1,62    | kg     |               | 1100               |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 1,80  |
| RG M                         | MEP des 2 cônes AS sur palette                                                   | 1,200           | N        | 1,62    | kg     |               | 1100               |   |   |   |   | 2   | 0                       |                                   | 2,40  |
| RG M                         | Déplacement vers casiers AS                                                      | 0,600           | N        |         | kg     | 1,0           |                    |   |   |   |   | 2   | 0                       |                                   | 1,20  |
| RG M                         | Prise 1 AS                                                                       | 0,600           | N        | 4,30    | kg     |               |                    |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 1,80  |
| RG M                         | Déplacement vers casiers AP                                                      | 0,600           | N        | 4,30    | kg     | 2,0           |                    |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 1,80  |
| RG M                         | Prise 1 AP                                                                       | 0,600           | N        | 5,35    | kg     |               |                    |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 1,80  |
| RG M                         | Déplacement vers ligne                                                           | 1,020           | N        | 5,35    | kg     | 3,0           |                    |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 3,06  |
| RG M                         | MEP 1 AP et 1 AS sur palette                                                     | 1,800           | N        | 5,35    | kg     |               | 1100               |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 5,40  |
| RG M                         | Prise 1 roue de parking dans le meuble (rack)                                    | 0,600           | N        | 0,55    | kg     |               | 1100               |   |   |   |   | 2   | 0                       |                                   | 1,20  |
| RG M                         | MEP 1 roue de parking sur palette                                                | 1,200           | N        | 0,55    | kg     |               | 1100               |   |   |   |   | 2   | 0                       |                                   | 2,40  |
| RG M                         | Déplacement vers casier couronne                                                 | 0,600           | N        |         | kg     | 1,0           |                    |   |   |   |   | 2   | 0                       |                                   | 1,20  |
| RG M                         | Prise 1 couronne dans le casier                                                  | 1,200           | N        | 4,27    | kg     |               |                    |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 3,60  |
| RG M                         | Déplacement vers ligne                                                           | 0,600           | N        | 4,27    | kg     | 1,0           |                    |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 1,80  |
| RG M                         | MEP 1 couronne sur palette                                                       | 1,200           | N        | 4,27    | kg     |               | 1100               |   |   |   |   | 3   | 0                       |                                   | 3,60  |

## Annexe 13 : Cotation EWA - OP 990 Step 2

### Ergonomics Workstation Assessment (EWA)

| Grille                                                                         |  |                             |   |                           |    |                                  |  |                                         |     |                                |                 |                         |     |                           |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------|---|---------------------------|----|----------------------------------|--|-----------------------------------------|-----|--------------------------------|-----------------|-------------------------|-----|---------------------------|------|------|
| N° du Poste                                                                    |  | OP 990                      |   | Somme des TC opérations   |    | 1,01                             |  | OK! REMPLIR L'EWA                       |     | Commentaire Poste              |                 |                         |     |                           |      |      |
| Attention                                                                      |  | Intitulé du Poste           |   | R                         |    | Temps disponible                 |  | 0,09                                    |     | 1,5                            |                 | 0,4                     |     |                           |      |      |
| N° Opération                                                                   |  | Intitulé Opér.              |   | Préparation Carter        |    | Valeurs                          |  | Kg                                      |     | Coefficient de Repos final (%) |                 | 6                       |     | Temps de repos nécessaire |      |      |
| Date de création de l'évaluation                                               |  | Date de MAJ de l'évaluation |   | Postures                  |    | 5,41                             |  | kg                                      |     | 2,0                            |                 | 1100                    |     | Minutes (centièmes)       |      |      |
| Hauteur de travail                                                             |  | N                           |   | 1100                      |    | 5,41                             |  | kg                                      |     | 2,0                            |                 | 1100                    |     | Minutes (centièmes)       |      |      |
| Mise en place carter réducteur                                                 |  | 0,040                       | N | 5,41                      | kg |                                  |  |                                         |     |                                |                 | 3                       | 0   |                           | 0,12 |      |
| Charge Physique Globale                                                        |  |                             |   |                           |    |                                  |  |                                         |     | Majorations                    |                 |                         |     |                           |      |      |
| Dépense énergétique (dont majoration)                                          |  | Port de charge (Kg/ heure)  |   | Port de charge (Kg/ jour) |    | Mobilité (nbre de km par équipe) |  | Mode Auto Sélectionné                   |     | Commentaire                    |                 |                         |     |                           |      |      |
| 3,31                                                                           |  | 1538                        |   | 10766                     |    | 3,00                             |  | Calculs Automatiques ⚠                  |     |                                |                 |                         |     |                           |      |      |
| verrou de park                                                                 |  | 0,020                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           | Port de charges |                         | 2   | 0                         | 0,09 |      |
| Mise en place et                                                               |  |                             |   |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           | IPE > ou = à 7  |                         | 2   | Non                       | 0,10 |      |
| Alertes Contraintes articulaires des Membres Supérieurs                        |  |                             |   |                           |    |                                  |  |                                         |     | Changement de niveau           |                 |                         |     |                           |      |      |
| Contrainte Epaule                                                              |  | Contrainte Coude            |   | Contrainte Poignet        |    | Rachis Cervical                  |  | Sollicitations maintenues dans le Temps |     | 1100                           |                 | Monter dans le véhicule |     | 2                         | Non  | 0,04 |
|                                                                                |  |                             |   |                           |    |                                  |  | 0                                       |     | 1100                           |                 | Déplacements            |     | 3                         | Non  | 0,12 |
| cuvelles roulement DIFF (appro frontal)                                        |  | 0,030                       | N | 2,00                      | kg |                                  |  |                                         |     | 1100                           | Autre           |                         | 2   | Non                       | 0,06 |      |
| Dépose des 2 cuvelles roulement AS et 2 cuvelles roulement DIFF sur la palette |  | 0,030                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,06 |      |
| Déplacement de l'opérateur vers appro carter connexion                         |  | 0,030                       | N |                           |    |                                  |  |                                         | 3,0 | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,06 |      |
| Prise carter connexion                                                         |  | 0,020                       | I | 5,86                      | kg |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 5,5 | 0                         | 0,11 |      |
| Retournement + Déplacement de l'opérateur vers ligne                           |  | 0,030                       | N | 5,86                      | kg |                                  |  |                                         | 3,0 | 1100                           |                 |                         | 3   | 0                         | 0,09 |      |
| Mise en place carter connexion sur palette                                     |  | 0,040                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,08 |      |
| Prise goulotte amenée d'huile (appro frontal)                                  |  | 0,020                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,04 |      |
| Mise en place goulotte dans le carter connexion DCY                            |  | 0,020                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,04 |      |
| Déplacement de l'opérateur vers appro actionneur                               |  | 0,060                       | N |                           |    |                                  |  |                                         | 2,0 | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,02 |      |
| Prise de l'actionneur                                                          |  | 0,020                       | I |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,12 |      |
| Mise en place de l'actionneur sur le dispositif de huilage                     |  | 0,020                       | I |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 3   | 0                         | 0,06 |      |
| Huilage joint de l'actionneur verrou                                           |  | 0,040                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,08 |      |
| Mise en place de l'actionneur dans l'outil de MEP                              |  | 0,040                       | I |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 3   | 0                         | 0,12 |      |
| Appui BI-manuel                                                                |  | 0,050                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,10 |      |
| Prise 3 vis actionneur                                                         |  | 0,020                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,04 |      |
| Mise en place et épinglage 3 vis actionneur                                    |  | 0,090                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,18 |      |
| Prise aimant                                                                   |  | 0,010                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,02 |      |
| Mise en place aimant dans carter BV                                            |  | 0,020                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,04 |      |
| Reprise goulotte amenée d'huile dans le carter connexion                       |  | 0,020                       | I |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 3   | 0                         | 0,06 |      |
| Mise en place goulotte                                                         |  | 0,020                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,04 |      |
| Prise 1 vis goulotte                                                           |  | 0,010                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,02 |      |
| Mise en place et épinglage 1 vis goulotte amenée d'huile                       |  | 0,030                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,06 |      |
| DCY                                                                            |  | 0,010                       | N |                           |    |                                  |  |                                         |     | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,02 |      |
| Déplacement de l'opérateur vers appro carter réducteur                         |  | 0,050                       | N |                           |    |                                  |  |                                         | 2,0 | 1100                           |                 |                         | 2   | 0                         | 0,10 |      |

---

## Annexe 14 : Photos Step 2





**Annexe 15 : Photos Step 3**



## Annexe 16 : RULA – Risques Biomécaniques

### RULA Employee Assessment Worksheet

based on RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, McAtamney & Corlett, Applied Ergonomics 1993, 24(2), 91-99

#### A. Arm and Wrist Analysis

**Step 1: Locate Upper Arm Position:**

Step 1a: Adjust...  
If shoulder is raised: +1  
If upper arm is abducted: +1  
If arm is supported or person is leaning: -1

**Step 2: Locate Lower Arm Position:**

Step 2a: Adjust...  
If either arm is working across midline or out to side of body: Add +1

**Step 3: Locate Wrist Position:**

Step 3a: Adjust...  
If wrist is bent from midline: Add +1

**Step 4: Wrist Twist:**  
If wrist is twisted in mid-range: +1  
If wrist is at or near end of range: +2

**Step 5: Look-up Posture Score in Table A:**  
Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A

**Step 6: Add Muscle Use Score**  
If posture mainly static (i.e. held > 10 minutes), Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

**Step 7: Add Force/Load Score**  
If load < 4.4 lbs (intermittent): +0  
If load 4.4 to 22 lbs (intermittent): +1  
If load 4.4 to 22 lbs (static or repeated): +2  
If more than 22 lbs or repeated or shocks: +3

**Step 8: Find Row in Table C**  
Add values from steps 5-7 to obtain Wrist and Arm Score. Find row in Table C.

#### SCORES

**Table A: Wrist Posture Score**

| Upper Arm | Lower Arm | Wrist Posture |             |             |             |
|-----------|-----------|---------------|-------------|-------------|-------------|
|           |           | Wrist Twist   | Wrist Twist | Wrist Twist | Wrist Twist |
| 1         | 1         | 1             | 2           | 2           | 3           |
| 1         | 2         | 2             | 2           | 2           | 3           |
| 1         | 3         | 2             | 3           | 3           | 3           |
| 1         | 4         | 2             | 3           | 3           | 3           |
| 2         | 1         | 2             | 3           | 3           | 3           |
| 2         | 2         | 3             | 3           | 3           | 3           |
| 2         | 3         | 3             | 4           | 4           | 4           |
| 2         | 4         | 3             | 4           | 4           | 4           |
| 3         | 1         | 3             | 4           | 4           | 4           |
| 3         | 2         | 4             | 4           | 4           | 4           |
| 3         | 3         | 4             | 4           | 4           | 4           |
| 3         | 4         | 4             | 4           | 4           | 4           |
| 4         | 1         | 4             | 4           | 4           | 4           |
| 4         | 2         | 4             | 4           | 4           | 4           |
| 4         | 3         | 4             | 4           | 4           | 4           |
| 4         | 4         | 4             | 4           | 4           | 4           |
| 5         | 1         | 5             | 5           | 5           | 5           |
| 5         | 2         | 5             | 5           | 5           | 5           |
| 5         | 3         | 5             | 5           | 5           | 5           |
| 5         | 4         | 5             | 5           | 5           | 5           |
| 6         | 1         | 6             | 6           | 6           | 6           |
| 6         | 2         | 6             | 6           | 6           | 6           |
| 6         | 3         | 6             | 6           | 6           | 6           |
| 6         | 4         | 6             | 6           | 6           | 6           |

**Table B: Trunk Posture Score**

| Neck | Trunk Posture |      |      |      |      |      |
|------|---------------|------|------|------|------|------|
|      | Legs          | Legs | Legs | Legs | Legs | Legs |
| 1    | 1             | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
| 2    | 2             | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
| 3    | 3             | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| 4    | 4             | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 5    | 5             | 6    | 7    | 8    | 9    | 9    |
| 6    | 6             | 7    | 8    | 9    | 9    | 9    |

**Table C: Neck, trunk and leg score**

| Wrist and Arm Score | Neck, trunk and leg score |   |   |   |   |   |   |
|---------------------|---------------------------|---|---|---|---|---|---|
|                     | 1                         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1                   | 1                         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2                   | 2                         | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 3                   | 3                         | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 4                   | 4                         | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 9 |
| 5                   | 5                         | 6 | 7 | 8 | 9 | 9 | 9 |
| 6                   | 6                         | 7 | 8 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 7                   | 7                         | 8 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| 8                   | 8                         | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |

**Scoring: (final score from Table C)**  
1 or 2 = acceptable posture  
3 or 4 = further investigation, change may be needed  
5 or 6 = further investigation, change soon  
7 = investigate and implement change

Task name: \_\_\_\_\_ Reviewer: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

This tool is provided without warranty. The author has provided this tool as a simple means for applying the concepts provided in RULA.

provided by Practical Ergonomics  
rbarker@ergosmart.com (816) 444-1667

## Annexe 17 : NASA-TLX

*Hart and Staveland's NASA Task Load Index (TLX) method assesses work load on five 7-point scales. Increments of high, medium and low estimates for each point result in 21 gradations on the scales.*

|      |      |      |
|------|------|------|
| Name | Task | Date |
|------|------|------|

**Mental Demand**                      How mentally demanding was the task?

Very Low
Very High

**Physical Demand**                      How physically demanding was the task?

Very Low
Very High

**Temporal Demand**                      How hurried or rushed was the pace of the task?

Very Low
Very High

**Performance**                      How successful were you in accomplishing what you were asked to do?

Perfect
Failure

**Effort**                      How hard did you have to work to accomplish your level of performance?

Very Low
Very High

**Frustration**                      How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed were you?

Very Low
Very High

---

## **Annexe 18 : Trame d'entretien - Questions semi-directrices (à compléter après le retour à chaud)**

### **1. Perception générale**

1. « En quelques mots, comment s'est passée la séquence pour vous ? »  
 -relance : « Qu'est-ce qui vous a le plus marqué ? »

## **2. Approvisionnement et accessibilité**

2. « Avez-vous eu des difficultés pour récupérer les pièces ou accéder aux fournitures ? »  
-prompts : distance, cheminement, encombrement, visibilité des pièces.
3. « Les signaux / étiquettes / indications étaient-ils clairs et fiables ? »  
-relance : « Si non, comment avez-vous géré ? »

## **3. Fréquentiels et tâches annexes**

4. « Quelles opérations annexes (changer paniers, retourner thermoformages, filmage) vous ont pris du temps ? »  
-prompts : fréquence, moment du cycle, impact sur le rythme.
5. « Est-ce que ces tâches sont prévues dans le rythme ou elles viennent s'ajouter ? »

## **4. Aléas, pannes et procédures**

6. « Si un équipement ne fonctionne pas (robot, signal, préhenseur), que faites-vous en premier ? »  
-prompts : qui appeler, comment sécuriser, temps d'attente ressenti.
7. « Avez-vous eu des situations où l'information (qui fait quoi) n'était pas claire ? »

## **5. Effort physique et postures**

8. « Quel geste avez-vous trouvé le plus exigeant physiquement sur cette séquence ? »  
-relance : « Épaules, dos, bras ? Est-ce ponctuel ou répété ? »
9. « Y a-t-il des manipulations que vous faites différemment du prescrit pour aller plus vite ou moins forcer ? »

## **6. Charge cognitive, vigilance et rythme**

10. « Sur quelles étapes avez-vous dû être particulièrement attentif ? »  
-prompts : repérage de pièces similaires, contrôles visuels, gestion du temps.
11. « Avez-vous ressenti une pression temporelle ? Si oui, à quel moment ? »

## **7. Sécurité et environnement**

12. « Avez-vous repéré des risques (glissance, encombrement, visibilité réduite) ? »  
-relance : « Où précisément ? »

## **8. Améliorations et suggestions**

13. « Si vous pouviez changer une chose sur cette séquence pour la rendre plus sûre ou plus simple, que proposeriez-vous ? »  
-relance : « Une idée facile à mettre en place ? Une idée plus structurelle ? »

## **9. Clôture**

14. « Un dernier mot ou une remarque que je n'ai pas demandée et que vous jugez importante ? »

## XV. Références bibliographiques (normes APA)

- Burdorf, A., van der Beek, A. J., & Frings-Dresen, M. H. W. (2005). Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15(3), 252–260.
- Cavazza, N. (2010). Vidéoanalyse des situations de travail : usages et limites. *Le Travail Humain*, 73(1), 29-50.
- Daniellou, F. (2005). L'ergonomie dans la conduite de projets industriels. *Cahiers de notes documentaires*, 199(1), 19-28.
- Engeström, Y. (1987). *Learning by expanding: An activity-theoretical approach to developmental research*. Helsinki: Orienta-Konsultit.
- Falzon, P. (2002). *Ergonomie*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Ford, H. (1926). *Today and Tomorrow*. New York: Productivity Press.
- Hackman, J. R., & Oldham, G. R. (1980). *Work redesign*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- International Ergonomics Association (IEA). (2000). *Definition of ergonomics*. Genève: IEA.
- Leplat, J., & Hoc, J. M. (2006). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 25(1), 49-74.
- Marras, W. S., & Kumar, S. (2004). Workplace and low back pain: The biomechanical link. *Occupational Medicine*, 54(5), 354-359.
- Morin, E. (2006). *Introduction à la pensée complexe*. Paris: Seuil.
- Norman, D. A. (1988). *The psychology of everyday things*. New York: Basic Books.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to see: Value stream mapping to create value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute.
- Taylor, F. W. (1911). *The principles of scientific management*. New York: Harper & Brothers.
- Van Belleghem, L., & Barcellini, F. (2011). L'ergonomie de l'activité dans les projets de conception. *Activités*, 8(1), 20-37.
- Wisner, A. (2007). *Anthropotechnologie: Vers un monde industriel pluriel*. Toulouse: Octarès Éditions.

## **XVI. Résumés**

### **De l'approche technico-centrée à l'approche anthropocentrée : concilier performance industrielle et soutenabilité de l'activité réelle**

Dans le cadre d'une réflexion sur l'évolution des démarches de conception, ce mémoire interroge la transition d'une approche technico-centrée, héritée du taylorisme et du fordisme, vers une approche anthropocentrée, centrée sur l'activité réelle. Réalisée au sein de l'usine Stellantis Valenciennes sur la nouvelle ligne d'assemblage RG Step 4, l'étude met en évidence les limites d'une conception focalisée sur la productivité et les flux, qui tend à réduire la complexité de l'activité humaine à des indicateurs normatifs. L'analyse de l'activité réelle, croisant observations de terrain, retours opérateurs et outils d'évaluation (RULA, NASA-TLX, EWA), révèle les contraintes biomécaniques et cognitives auxquelles sont confrontés les opérateurs, ainsi que leurs stratégies d'adaptation. Trois leviers ressortent pour favoriser une conception soutenable : la reformulation de la demande dès l'amont, l'intégration participative et itérative des opérateurs dans le projet, et la mise en place d'indicateurs combinés articulant performance industrielle et santé au travail. Ce mémoire montre que le passage à une conception anthropocentrée n'est pas une option mais une condition pour concilier robustesse technique, efficacité organisationnelle et bien-être des travailleurs.

**Mots-clés** : Ergonomie, activité réelle, anthropocentrisme, technocentrisme, conception industrielle, participation opérateurs, santé au travail.

---

### **From the technical-centered approach to the anthropocentric approach: reconciling industrial performance and sustainability of real activity**

This thesis examines the transition from a technocentric approach to an anthropocentric, activity-centered perspective in industrial design. Conducted within Stellantis Valenciennes on the new RG Step 4 assembly line, the study highlights the limitations of a conception process primarily focused on productivity and flows, which often reduces the complexity of human activity to quantitative indicators. By combining field observations, operator feedback, and evaluation tools (RULA, NASA-TLX, EWA), the analysis identifies the biomechanical and cognitive constraints faced by operators as well as their adaptive strategies. Three key levers are identified to promote sustainable design: early reformulation of project requirements, iterative and participatory involvement of operators, and the development of combined indicators linking industrial performance and occupational health. The results demonstrate that shifting to an anthropocentric approach is not optional but essential to reconcile technical robustness, organizational efficiency, and worker well-being.

**Keywords**: Ergonomics, real activity, anthropocentrism, technocentrism, industrial design, operator participation, occupational health.