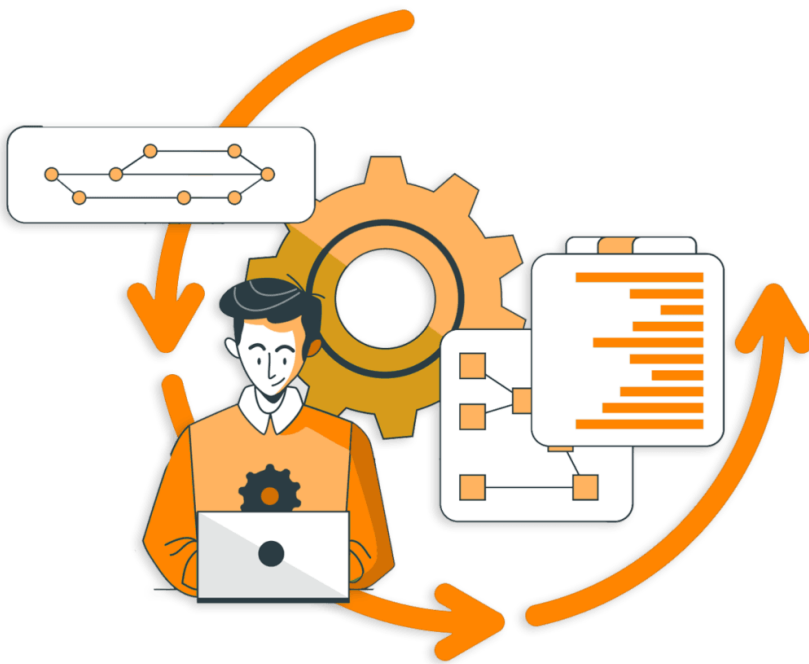


# Projet Systèmes automatisés

10/05/2023  
FISE INFO A4

## Livrable 4 – Electromagnétisme, ergonomie et cobotique



Groupe 1 :

AIDI Mohammed-Ikbal

BONNET Josephine

FALIGOT Clémence

SEURIN Alexis

## Table des matières

1. Electromagnétisme.....	3
Choix de la bande UHF.....	4
Développement d'une démarche de choix du lecteur.....	7
2. Ergonomie et cobotique.....	9
Analyse d'un poste de chargement manuel de la ligne d'assemblage en capot encollé ....	10
Les postures, les gestes de l'opérateur et les risques de TMS.....	10
Etude d'automatisation du poste de travail.....	16
Implantation du poste de travail (encolleuses, bras manipulateur, stock et accessoires) ..	16
Analyse de l'amélioration de la productivité .....	17
Description fonctionnelle du cycle du bras robot .....	18
GrafCET de l'encolleuse pour prendre en compte le rechargement automatique de la colle .....	24
Grafcet <i>point de vue système</i> du fonctionnement normal du bras.....	24
Conclusion.....	29

## Table des figures

Figure 1 - La technologie RFID (source : IoT Journey - Orange) .....	4
Figure 2 - Spectre des fréquences (source : AB&R) .....	6
Figure 3 - Schéma RAIN RFID (source : NFCwork).....	6
Figure 4 - Organisation du spectre des fréquences (source : ANFR – juin 2020).....	7
Figure 5 - Lecteur RAIN RFID qID - R1240IE (source : Neetwk) .....	9
Figure 6 - Ligne d'assemblage d'un poste manuel.....	10
Figure 7 - Mécanique d'un accident (source : SAM Ergonomie CESI) .....	10
Figure 8 - Les parties du corps les plus touchées par les TMS (source : Assurance Maladie) .....	12
Figure 9 - Les TMS en entreprise (source : Assurance Maladie) .....	13
Figure 10 - Score pour l'OSHA .....	14
Figure 11 - Prévention des TMS (source : INRS – Les troubles musculosquelettiques du membre supérieur) .....	15
Figure 12 - Ligne d'assemblage d'un poste automatisé.....	16
Figure 13 - Temps du cycle d'assemblage en secondes .....	16
Figure 14 - Zones de l'espace de travail (source : manuel d'utilisation UR10) .....	17
Figure 15 - Zones de l'espace de travail avant et incliné (source : manuel d'utilisation UR10) .....	17
Figure 16 - GrafCET générique d'un poste de la ligne d'assemblage .....	19
Figure 17 - GrafCET point de vue système d'une encolleuse .....	19
Figure 18 - Schéma du bras robotique .....	21
Figure 19 - Bras robotique UR3.....	22
Figure 20 - Bras robotique UR5.....	22
Figure 21 - Bras robotique UR10.....	23
Figure 22 - Bras robotique UR10 (source : Cowelder) .....	23
Figure 23 - GRAFCET du remplissage automatique de la colle .....	24
Figure 24 - GRAFCET encollage (Partie 1) .....	25
Figure 25 - GRAFCET encollage (Partie 2) .....	26
Figure 26 - GRAFCET encollage (Partie 3) .....	27
Figure 27 - GRAFCET encollage automatique (Partie 4) .....	28

## 1. Electromagnétisme

Dans notre ligne d'assemblage de téléphone, tous les capots de téléphone seront équipés de tags RFID pour assurer la traçabilité des téléphones.

Nous devons choisir le lecteur le plus pertinent avec une antenne intégrée. Afin de choisir celui-ci, nous analyserons la documentation constructeur fournie avec les datasheets et comparons ces trois lecteurs.

Ce lecteur devra répondre aux contraintes suivantes en termes de :

- *Bande et fréquences :*
  - La bande de fréquences du lecteur RFID est la **première bande UHF** située entre 860 MHz et 960 MHz. Les lecteurs RFID en bande LF et HF ne sont pas acceptés.
  - Le lecteur émettra à puissance maximale sur la fréquence 867,50 MHz.
- *Distance maximale lecteur-tag :*
  - Une distance maximale séparant le lecteur du tag est imposée par mesure de sécurité afin d'éviter essentiellement les interférences de types tag-tag, tag-lecteur, etc. En effet, ce type d'interférences peut fausser les informations qui sont sur les tags ou les informations reçues par le lecteur. La distance maximale est prise égale à 2 m.
- *Puissance maximale isotrope rayonnée à la sortie de l'antenne du lecteur :*
  - La PIRE (définie dans la direction de l'antenne où la puissance émise est maximale) du lecteur n'est pas fournie mais c'est la PAR (ERP en Anglais) qui est donnée dans la réglementation :  $ERP_{max}(Lecteur, dBm) = 33 dBm$ .
$$EIRP(dBm) = ERP(dBm) + 2,15 dBi$$
- *Référence du tag*
  - Le choix du tag est déjà fixé. Sa référence est *Monza R6 d'Impinj*. Deux documents techniques concernant ce tag se trouvent sur Moodle.
- *Puissance minimale de réception (Sensibilité) du tag*
  - La sensibilité du tag peut être facilement trouvée sur les documents techniques du tag. Elle est égale à  $-22,1 dBm$  en lecture et à  $-18,8 dBm$  en écriture.
  - La sensibilité du tag doit correspondre à une puissance rayonnée maximale du lecteur
- *Gain du tag*
  - Le gain du tag est donné et vaut 2,15 dBi

Nous étudierons ensuite la liaison lecteur-tag (interrogation du tag par le lecteur). Les calculs s'effectueront dans la deuxième liaison tag-lecteur.

## Choix de la bande UHF

Nous utiliserons la technologie RFID (Radio-frequency identification) qui utilise des ondes radio pour transmettre des données entre un lecteur et une « étiquette-radio » RFID (tag RFID).

On distingue plusieurs types d'étiquette-radio :

- Tags passifs (aucune batterie ou pile nécessaire) ;
- Tags semi-passifs (pile nécessaire uniquement pour l'émission d'ondes) ;
- Tags actifs (alimentation pour le tag et l'émission d'ondes).

Une étiquette RFID est un support d'identification électronique qui se compose d'une puce électronique, d'une antenne et d'un lecteur.

La puce permet l'identification et le stockage des données, comme l'identifiant. L'antenne est utilisée pour la communication à la puce électronique RFID, ce qui permet de recevoir toutes les ondes radio du lecteur et de transmettre les données. Enfin, le lecteur sert à l'émission, à la réception d'ondes électromagnétiques et décode les informations transportées par l'onde incidente grâce à un décodeur.

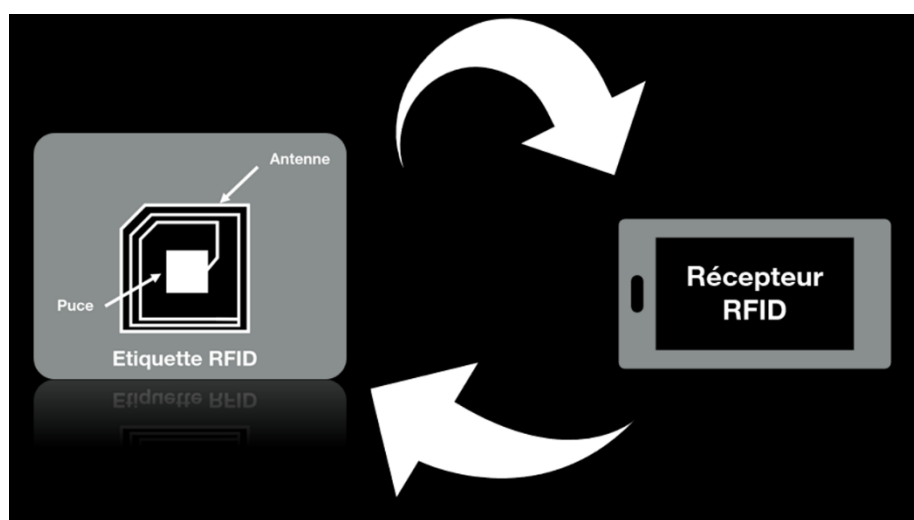


Figure 1 - La technologie RFID (source : IoT Journey - Orange)

Les systèmes RFID utilisent des bandes de fréquence différentes. Les plus utilisées sont LF (basse fréquence), HF (haute fréquence) et UHF (ultrahaute fréquence).

Un système RFID à basse fréquence a une capacité de transmission de données inférieure contrairement à un système avec une fréquence plus haute où les données seront transmises plus rapidement, la distance sera plus grande mais les interférences aussi.

	Bande LF	Bande HF	Bande UHF
Fréquences	30 kHz à 300 kHz	3 à 30 MHz	300 MHz à 3 GHz
Fréquences RFID conventionnelles	125 kHz ou 134 kHz	13,56 MHz	UHF active : 433 MHz UHF passive : 860 à 960 MHz (norme UHF Gen2*)

			Utilisation dans l'UE : Entre 865 et 868 MHz
Plages de lecture	Lectures à courte distance (environ 10 cm)	10 cm à 1 m	Jusqu'à 12 m
Interférences	Résiste aux interférences externes	Les interférences affectent modérément	Sensible aux interférences
Vitesse de lecture	Lente ( $< 10\text{ kb/s}$ )	Plutôt rapide ( $< 100\text{ kb/s}$ )	Très rapide ( $< 200\text{ kb/s}$ )
Utilisation	Contrôle des accès et aux animaux	Billetterie, paiements et transferts de données	Identification de médicaments pour leur protection
Avantage	Utilisé dans le monde entier sans différence de fréquence	Un seul lecteur peut lire plusieurs balises en même temps	Les tags UHF sont peu coûteux
Inconvénient	Absence de lecture multiple	Il ne peut pas lire de nombreuses étiquettes	Différence entre les trois bandes de fréquences

\*Le standard Gen2 est le référentiel mondial pour le marquage RFID des produits manufacturés.

Nous avons choisi les tags UHF car ils sont plus faciles à fabriquer et plus rentables comparés aux LF et aux HF. Grâce à leurs vitesse de lecture rapide, les tags peuvent identifier rapidement des objets.

Par ailleurs, RAIN est le nom de marque de l'UHF (ultra haute fréquence passive) Technologie RFID utilisée par l'alliance industrielle RAIN Alliance. Il s'agit d'une infrastructure basée sur le cloud où les données RFID sont stockées et gérées sur Internet.

La technologie RFID utilise cinq plages de fréquences communes :

- Basse fréquence (125-134 KHz)
- Haute fréquence et NFC (13,56 MHz)
- UHF active (433 MHz)
- UHF passive (860-960 MHz)
- Four micro-onde (2,45-5.8 GHz)

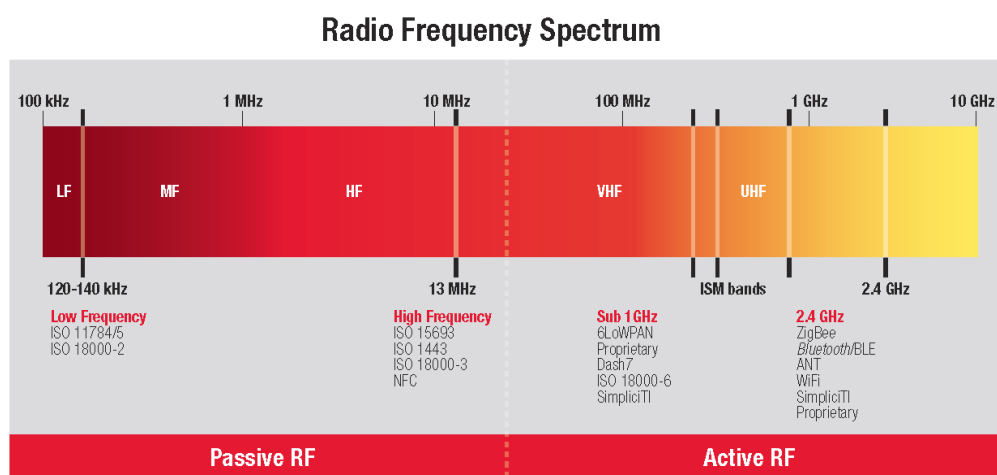


Figure 2 - Spectre des fréquences (source : AB&R)



Figure 3 - Schéma RAIN RFID (source : NFCwork)

Les RFID certifiés RAIN connecte le système complet via son interface de communication RAIN Reader (RCI), ce qui permet de fabriquer des étiquettes RFID quel que soit le lecteur. Ainsi, les déploiements peuvent se faire sur plusieurs types de lecteurs.

L'avantage principal de RAIN RFID est son utilisation pour la gestion des stocks, le suivi des actifs et la vérification de l'expédition. Sa norme est l'UHF Gen 2 ISO/IEC 18000-63:2021<sup>1</sup>.

Par ailleurs, on peut aussi identifier minutieusement un article individuel, localiser des objets dans un rayon de quelques centimètres à plusieurs mètres, automatiser l'inventaire et le suivi.

Les ondes électromagnétiques sont représentées dans ce spectre et plus particulièrement la bande UHF comprenant le RFID (cf. flèche rouge).

<sup>1</sup> <https://www.iso.org/fr/standard/78309.html>

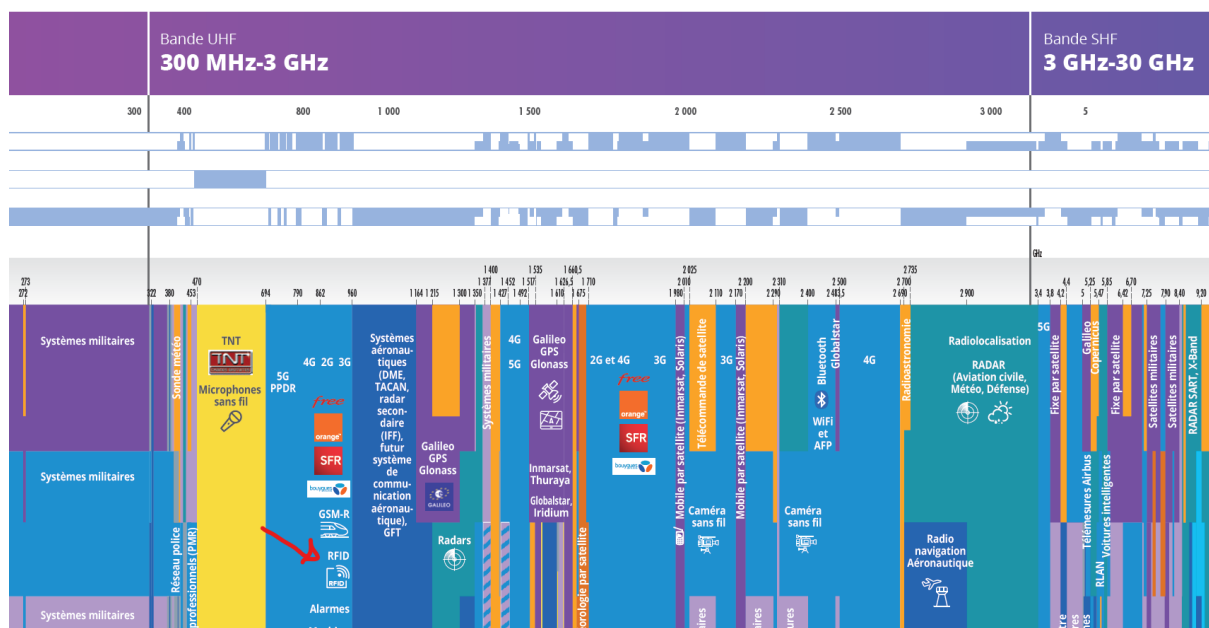


Figure 4 - Organisation du spectre des fréquences (source : ANFR – juin 2020)

La technologie RFID UHF est la plus appropriée pour la logistique et la gestion des stocks au sein de l'industrie. Les code-barres se font remplacer de part leurs limitations techniques. Cela permet d'augmenter la distance de lecture à plusieurs mètres puisque la communication s'effectue avec des ondes radiofréquences, d'ajouter des informations grâce à la puce RFID qui embarque une mémoire dynamique, d'avoir une lecture rapide et surtout d'avoir une étiquette résistant aux chocs, à la chaleur et à l'humidité.

## Développement d'une démarche de choix du lecteur

L'objectif est alors de trouver le lecteur RFID qui sera capable de lire la puce RFID à distance (2 m). Nous avons donc le choix entre trois modèles :

- TRF7963A
- V780-HMD68-ETN-EU
- qID - R1240IE

Modèle	TRF7963A	V780-HMD68-ETN-EU	qID - R1240IE
Sensibilité / Puissance programmable en sortie	20 dBm ou 23 dBm	17 à 27 dBm	18 niveaux entre 8 dBm et 25 dBm
Fréquences utilisées	13,56 MHz	4 canaux : 865,7 MHz 866,3 MHz 866,9 MHz 867,5 MHz	Plusieurs canaux entre 865,6 MHz et 867,6 MHz
Distance maximale	?	2 m (Optimale)	1,5 (Optimale)



		4,44 m (Lecture max) 3,82 (Écriture max)	7 à 8 m selon les paramètres
--	--	---------------------------------------------	------------------------------

Le RFID Monza R6 communique sur des ultra-hautes fréquences, entre 860 et 960 MHz. Ainsi, le capteur TRF7963A est éliminé d'office, celui-ci communiquant sur la très haute fréquence 13,56 MHz. Nous allons devoir avoir les valeurs de la puissance dont l'étiquette RFID va avoir besoin pour pouvoir communiquer avec le lecteur. Ainsi, nous devons poser **l'équation de Friis** qui va nous permettre de déterminer l'équation du PIRE. Cette équation nous permettra alors de connaître la puissance qu'il faudra à l'antenne isotrope du lecteur RFID.

$$P_{tag}(dBm) = P_{lecteur}(dBm) + G_{tag}(dBi) + G_{lecteur}(dBi) - 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot D \cdot f}{c}\right)$$

Avec  $D$  la distance en  $m$ ,  $f$  la fréquence en  $Hz$  et  $c$  la vitesse de la lumière dans l'air en  $m \cdot s^{-1}$  ( $3 \cdot 10^8$ ).

$$PIRE = P_{lecteur}(dBm) + G_{lecteur}(dBi) = P_{tag}(dBm) - G_{tag}(dBi) + 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot D \cdot f}{c}\right)$$

Pour pouvoir appliquer la formule, il faut que nous choisissons une fréquence commune dans les intervalles des fréquences du Monza R6 [860 ; 960], du qID - R1240IE [865,6 ; 867,6] et du V780-HMD68-ETNEU [865,7 ; 866,3 ; 866,9 ; 867,5]. Nous choisissons donc la fréquence commune de 867.5 MHz.

**PIRE en lecture :**

$$PIRE = -22,1 - 2,15 + 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \times 2 \times (867,5 \cdot 10^6)}{3 \cdot 10^8}\right) = 12,98 \text{ dBm}$$

**PIRE en écriture :**

$$PIRE = -18,8 - 2,15 + 20 \log\left(\frac{4\pi * 2 * (867,5 \cdot 10^6)}{3 \cdot 10^8}\right) = 16,28 \text{ dBm}$$

Ainsi, le lecteur RFID doit pouvoir produire un intervalle de puissances intégrant les valeurs trouvées ci-dessus, 12,98 dBm et 16,28 dBm. Afin de déduire quel modèle entre le qID - R1240IE et le V780-HMD68-ETNEU est le plus cohérent à utiliser pour communiquer avec le Monza R6, il faut réaliser les calculs du PIRE au minimum et au maximum qui vont nous permettre de déterminer l'intervalle dans lequel les deux lecteurs fonctionnent.

**PIRE minimal du modèle qID - R1240IE :**

$$PIRE_{min}(dBm) = P_{lecteur}(dBm)_{min} + 2,15 \text{ dBi} = 8 + 2,15 = 10,15 \text{ dBm}$$

**PIRE maximal du modèle qID - R1240IE :**

$$PIRE_{max}(dBm) = P_{lecteur}(dBm)_{max} + 2,15 \text{ dBi} = 25 + 2,15 = 27,15 \text{ dBm}$$

**PIRE minimal du modèle V780-HMD68-ETNEU :**

$$PIRE_{min}(dBm) = P_{lecteur}(dBm)_{min} + 2,15 \text{ dBi} = 15 + 2,15 = 15,15 \text{ dBm}$$

**PIRE maximal du modèle V780-HMD68-ETNEU :**

$$PIRE_{max}(dBm) = P_{lecteur}(dBm)_{max} + 2,15 \text{ dBi} = 27 + 2,15 = 29,15 \text{ dBm}$$

Ainsi nous pouvons comparer nos résultats :

Modèle	Monza R6	qID - R1240IE	V780-HMD68-ETNEU
Minimum	12,98 <i>dBm</i>	10,15 <i>dBm</i>	15,15 <i>dBm</i>
Maximum	16,28 <i>dBm</i>	27,15 <i>dBm</i>	29,15 <i>dBm</i>

Nous pouvons donc en conclure que c'est le lecteur **qID - R1240IE** qui est le plus adapté à notre situation à la suite de ces résultats. Toutefois, nous remarquons que ce modèle ne respecte pas la contrainte de la distance de 2 *m*, en effet la distance optimale est de 1,5 *m* sur ce modèle. Cependant, nous pouvons imaginer que la lecture du Monza R6 peut se faire lorsque le bras robotique lève le capot, ce qui peut réduire la distance.



Figure 5 - Lecteur RAIN RFID qID - R1240IE (source : Neetwk)

La condition supplémentaire que doit satisfaire le lecteur afin de garantir une bonne réception du message qui lui sera transmis par le tag est de connaître la distance maximale séparant le lecteur du tag. Elle est indispensable pour que la lecture du tag soit possible.

## 2. Ergonomie et cobotique

Nous souhaitons intégrer l'encolleuse à notre ligne d'assemblage. Dans ce contexte, nous étudierons les thématiques suivantes : l'ergonomie, la cobotique et les TMS (troubles musculosquelettiques).

Les situations étudiées sont celles d'un poste de chargement manuel lié à notre ligne d'assemblage et d'un poste automatisé.

## Analyse d'un poste de chargement manuel de la ligne d'assemblage en capot encollé

Les postures, les gestes de l'opérateur et les risques de TMS

Ligne d'assemblage - Poste **manuel**

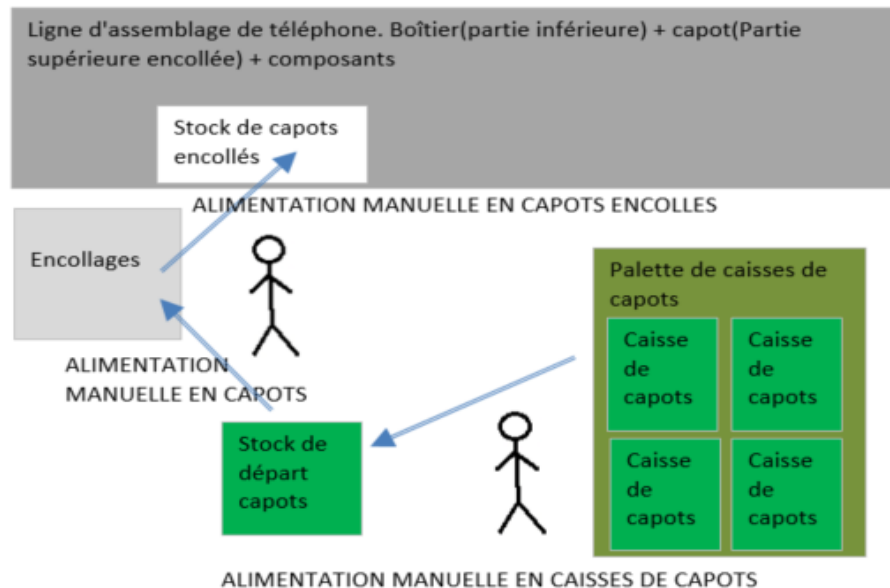


Figure 6 - Ligne d'assemblage d'un poste manuel

### Analyse de l'environnement de travail

Les différentes parties de la ligne d'assemblage semblent être proches des unes des autres, donc les deux salariés ne devraient pas avoir des problèmes d'accessibilité et de mobilité.

En revanche, les gestes répétitifs qu'ils effectuent durant leur travail risquent d'affecter leur santé physique et psychologique.

La mécanique d'un accident peut arriver suite à un facteur déclenchant et amener à l'accident comme visible sur la figure ci-dessous.

### Mécanique d'un accident

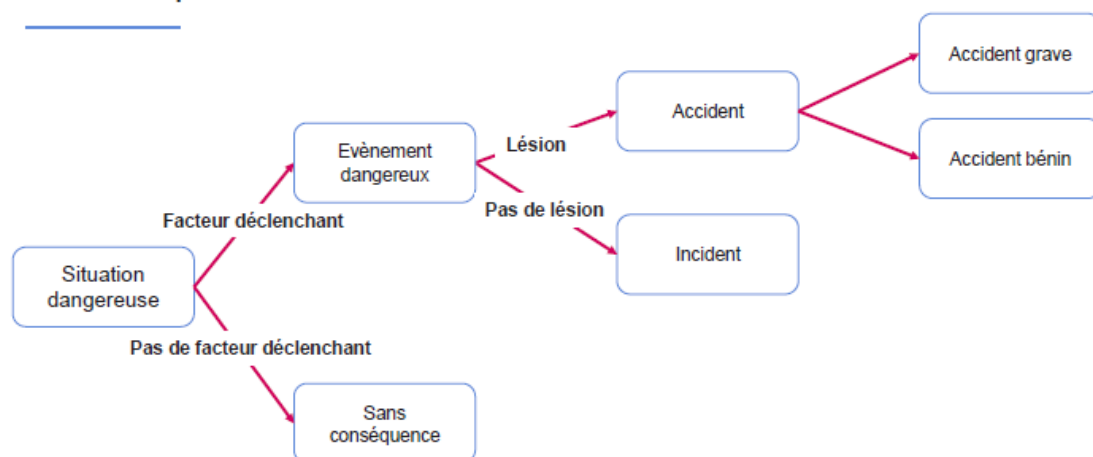


Figure 7 - Mécanique d'un accident (source : SAM Ergonomie CESI)

## *Analyse du poste de travail*

Le poste de travail est constitué d'une palette contenant des caisses de capots, d'un stock de capots qui est régulièrement renouvelé à partir de la palette par un salarié.

Le poste d'encollage est manuellement alimenté en capots par un deuxième salarié à partir du stock de départ. Ce même employé alimente ensuite manuellement un stock de capots encollés qui se trouve sur une autre ligne d'assemblage.

Encore une fois, on observe des problèmes de répétitivité des tâches sur cette ligne d'assemblage.

## *Analyse des gestes de l'opérateur, des tâches effectuées et des risques (TMS, etc.)*

Le poste manuel de la ligne d'assemblage exige pour les employés de transporter des caisses de capots. Leur tâche exige des efforts pour transporter des charges lourdes. Les gestes de l'opérateur sont répétitifs. De plus, ils sont obligés de prendre des postures inconfortables sur une longue période, compte tenu de la répétitivité du transport des caisses.

Nous pouvons lister les facteurs de risque possibles :

- Biomécaniques
  - Charge physique
  - Répétitivité
  - Efforts
  - Gestes précis et fins
  - Postures inconfortables et/ou maintenues sur une longue période
- Organisationnelles
  - Management
  - Standardisation
- Personnels
  - Âge
  - Genre
  - Santé générale
  - Capacités
- Psychosociaux
  - Charge mentale
  - Temps
  - Soutien
  - Reconnaissance
  - Perspectives professionnelles

Parmi ces maladies, les troubles musculosquelettiques (TMS) se distinguent. Ils englobent diverses affections touchant principalement les muscles, les tendons, les nerfs et les articulations. Les TMS sont directement liés aux conditions de travail, et les symptômes se manifestent lorsque les travailleurs dépassent leurs capacités fonctionnelles sans bénéficier d'un temps de récupération adéquat. Plusieurs facteurs de risque peuvent contribuer à leur apparition, notamment quatre paramètres principaux. La posture peut entraîner une tension ou une compression des structures, la force (position articulaire et distance de prise), la répétition des tâches et la durée de l'activité. Afin de prévenir l'apparition des TMS, il est essentiel de prendre en compte l'ergonomie des postes de travail.

Les salariés risquent de développer des troubles musculosquelettiques favorisés par les facteurs biomécaniques mentionnés ci-dessus, en particulier aux mains (38 %), aux coudes

et aux épaules, notamment à cause du soulèvement de charges lourdes (les caisses contenant les capots, encollés ou non).

### Les parties du corps les plus touchées par les TMS

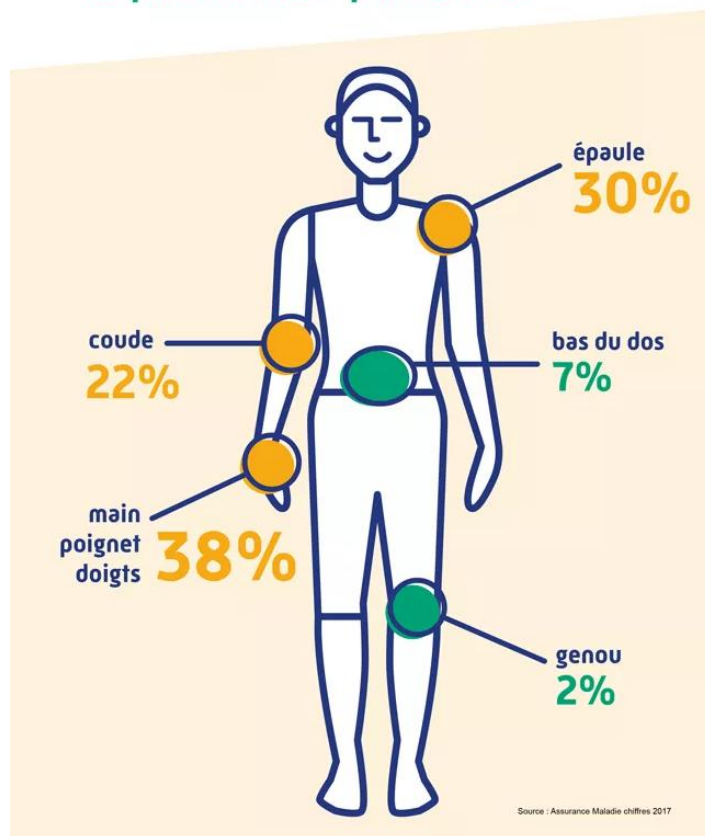


Figure 8 - Les parties du corps les plus touchées par les TMS (source : Assurance Maladie)

Par ailleurs, on notera que 87 % des maladies professionnelles reconnues par l'Assurance Maladie sont des TMS. Il s'agit d'une part très importante.



Figure 9 - Les TMS en entreprise (source : Assurance Maladie)

Dans cette optique, nous avons mené une étude sur le poste d'encolleur qui consiste à appliquer de la colle sur les cadres avant de les placer sur la chaîne de production. Nous avons demandé à une personne immergée dans une simulation de la chaîne de production grâce à un casque de réalité virtuelle de reproduire cette tâche, afin d'étudier sa posture à l'aide d'une application capable de détecter les positions corporelles. Cette application a mis en évidence les zones les plus sollicitées et susceptibles de favoriser l'apparition de TMS.

Nous constatons que les articulations du cou et des bras sont les plus sollicitées, ce qui est compréhensible car la table utilisée dans la simulation était relativement basse par rapport à la personne testée. Les TMS qui peuvent apparaître au niveau du poignet sont des syndromes canaux, tandis qu'au niveau de la main, des tendinites peuvent se développer. Avec le développement de l'électronique, de l'informatique et de la robotique/cobotique, certains postes particulièrement pénibles ont été remplacés par des robots. Ainsi, les tâches humaines se limitent désormais à la maintenance et à la vérification.

Dans notre cas, l'étape de collage manuel est remplacée par l'utilisation d'une encolleuse, un robot chargé d'appliquer la colle sur le châssis, et d'un bras mécanique, un cobot qui assure la liaison entre l'encolleuse et le reste de la chaîne de production.

#### *Les situations à améliorer*

Il faudrait lancer des mesures vérifier si les deux salariés sont affectés physiquement par la pénibilité des tâches qu'ils réalisent tous les jours.

Vibration	<i>objet vibrant, tel qu'un outil électrique énergisé</i>				
	2 Etre assis ou debout sur une surface vibrante (sans amortissement des vibrations)	1	2		
Environnement	1. Eclairage (éclairage insuffisant-éblouissement) <i>Impossibilité de voir distinctement (reflets sur un écran d'ordinateur par exemple)</i>	1	2		
	2. Basses températures <i>Mains exposées à une température de l'air inférieure à 15°C dans le cas d'un travail léger, à – 6°C dans le cas d'un travail modéré à pénible ; air froid soufflé sur les mains</i>	0	1		
Maîtrise des cadences de travail	1. Pas de maîtrise des cadences de travail <i>Cadence de la machine, travail payé au rendement, surveillance constante ou délais impératifs quotidiens.</i> <i>Attribuer 1 point si présence d'un élément de non-maîtrise des cadences, 2 points si deux éléments ou plus</i>				
Score (faire le total des 2 pages)					17

Figure 10 - Score pour l'OSHA

Nous avons qu'un score montre que le poste est à risque quand il est supérieur à 5. De ce fait, le score total de 17 que nous avons obtenu est considéré comme moyen. Il existe des facteurs de risques biomécaniques. Il y a un haut niveau de pénibilité pour ce poste.

Nous observons que les facteurs les plus élevés et à risque sont :

- Répétitivité
  - o Mouvements identiques ou comparables effectués à intervalles de quelques secondes
- Effort manuel
  - o Préhension d'une charge de plus de 5 kg
  - o Prise digitale avec un effort de plus de 1 kg
- Postures contraignantes
  - o Epaules : membre supérieur sans appui ou coude plus haut que le milieu du torse
  - o Poignet : flexion / extension

Chacun de ces facteurs ont une note égale à 3.

Suite à cela, nous allons déterminer un plan d'action pour limiter l'impact. Nous pouvons réorganiser l'espace de travail du collaborateur en prenant en compte de :

- l'ergonomie préventive : action avant l'apparition d'un problème, créer de bonnes conditions de travail ;
- l'ergonomie curative : réaménager l'espace car il y a un problème avec un salarié sur son poste ;
- l'ergonomie prospective : anticipation des besoins futurs
- (poste de travail, outil, formation, sensibilisation...).

Nous constatons que les problèmes sont liés à une forte intensité du travail lié à la répétitivité du travail, aux charges et aux postures contraignantes. Cela impacte la santé du salarié au quotidien.

Les solutions que nous pouvons mettre en perspective sont :

- Assistance robotique à l'opérateur ;
- L'utilisation d'un exosquelette pour porter des charges lourdes.

Tout d'abord, il existe des questionnaires de l'OSHA pour évaluer la criticité des risques encourus.

Il existe aussi une série de vidéos d'auscultations réalisées dans le cadre du protocole européen clinique SALTSA, permettant de dépister de manière précoce les TMS des membres supérieurs<sup>2</sup>. Il pourrait être utilisé comme outil de surveillance et de prévention.

Dans la perspective d'automatiser, il faudrait une surveillance constante et bien appliquer les recommandations de l'AMDEC (les règles de sécurité, la formation sur les machines, ...).

Cependant, nos préconisations ont des limites puisque nous ne sommes pas ergonomes ou spécialistes des TMS en entreprise ou dans le milieu industriel.

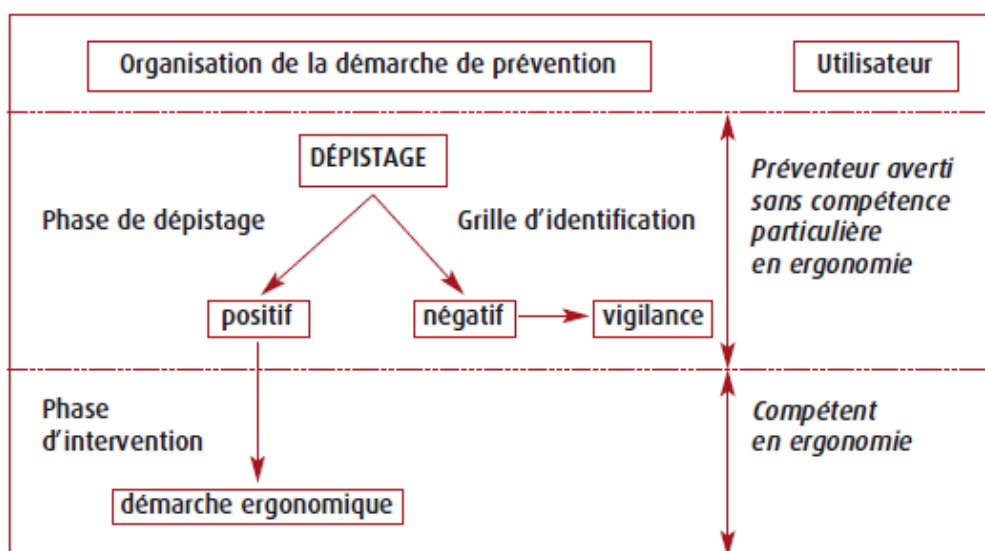


Figure 11 - Prévention des TMS (source : INRS – Les troubles musculosquelettiques du membre supérieur)

<sup>2</sup> <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil15>



## Etude d'automatisation du poste de travail

Ligne d'assemblage - Poste automatisé

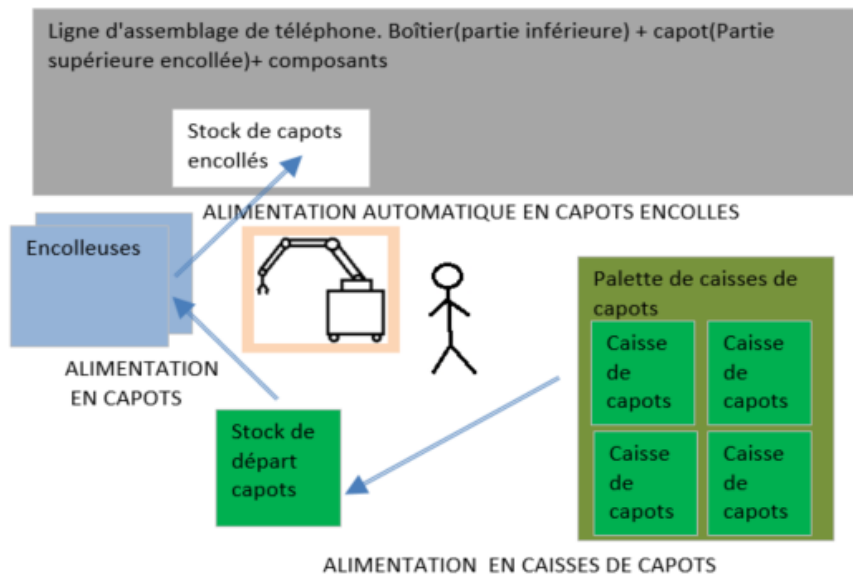


Figure 12 - Ligne d'assemblage d'un poste automatisé

### Implantation du poste de travail (encolleuses, bras manipulateur, stock et accessoires)

La vitesse maxi conseillée pour les axes des encolleuses est de 500 mm/mn. Au-delà, on ne garantit plus la qualité.

D'après les informations que l'on peut extraire des ressources, le temps moyen maximum entre deux capots encollés demandé par la ligne est d'environ 6 minutes (cf. fichier Excel Assemblage).

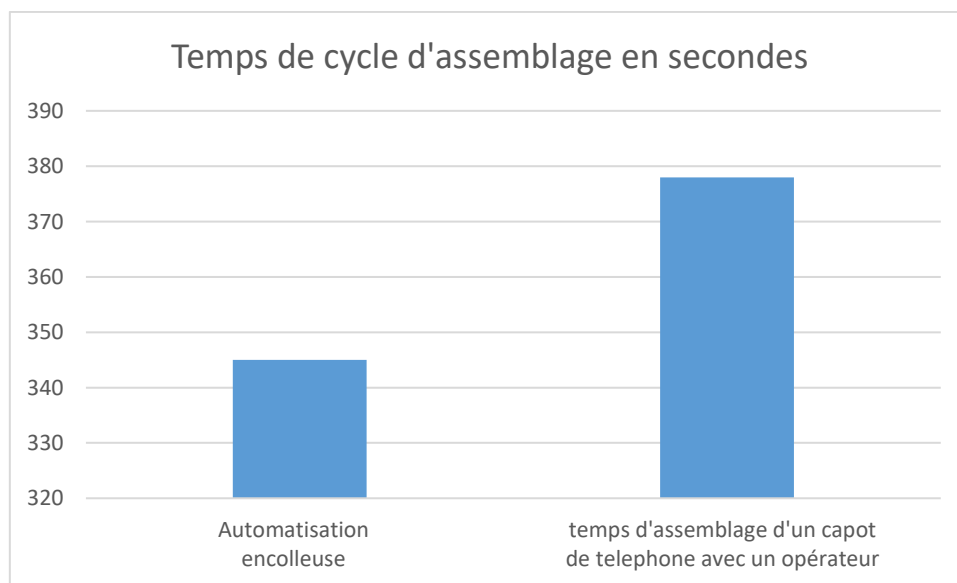


Figure 13 - Temps du cycle d'assemblage en secondes

Une encolleuse ne suffit pas, il nous en faudrait au moins deux encolleuses.

Selon le manuel d'utilisation : « Le déplacement du robot à proximité du volume cylindrique doit être évité dans la mesure du possible, car il provoque le déplacement rapide des articulations même si l'outil se déplace lentement »<sup>3</sup>. De ce fait, il faudra faire attention aux déplacements du bras robotique.

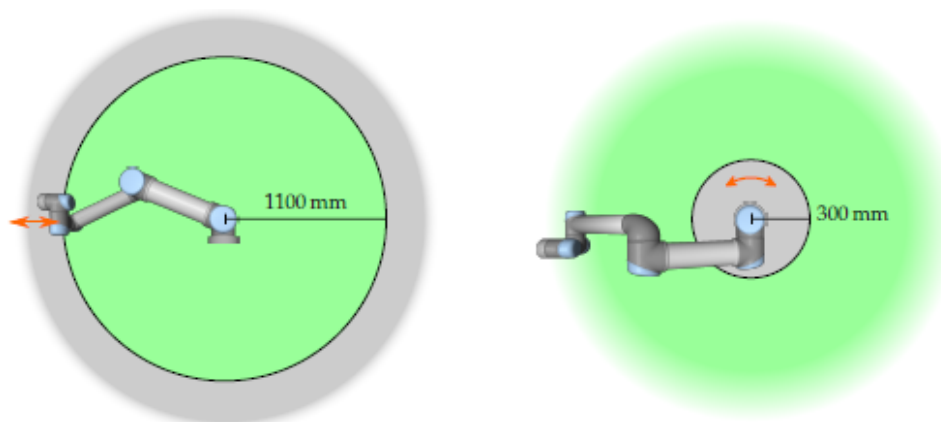


FIGURE 2.1 – Certaines zones de l'espace de travail doivent faire l'objet d'une attention particulière concernant les dangers de pincement, en raison des propriétés physiques du bras du robot. Une zone est définie pour les mouvements radiaux, lorsque l'articulation du poignet 1 est à une distance d'au moins 1100 mm de la base du robot. L'autre zone est à 300 mm de la base du robot, lorsqu'il se déplace dans la direction tangentielle.

Figure 14 - Zones de l'espace de travail (source : manuel d'utilisation UR10)

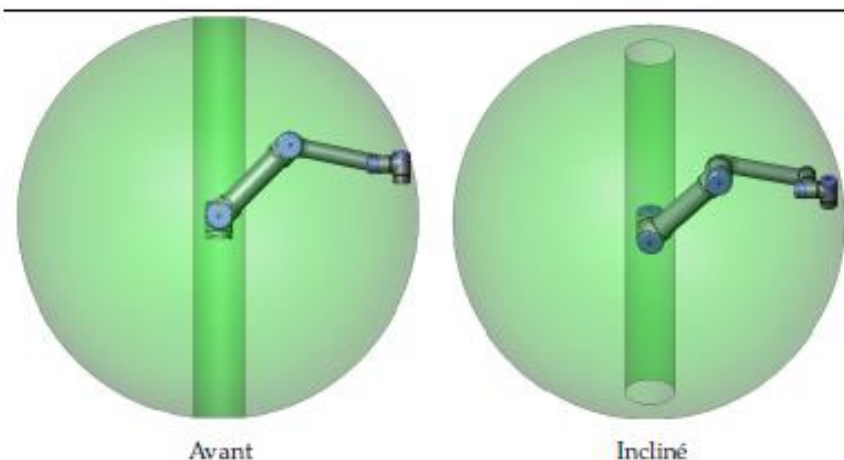


Figure 15 - Zones de l'espace de travail avant et incliné (source : manuel d'utilisation UR10)

## Analyse de l'amélioration de la productivité

Les cobots permettent une automatisation accrue des processus d'assemblage, ce qui peut accélérer la production et réduire les erreurs humaines.

Les cobots sont conçus pour collaborer avec les travailleurs humains, ce qui permet une plus grande flexibilité dans l'organisation du travail et la possibilité de réaliser des tâches variées.

<sup>3</sup> 4.2 Espace de travail du robot - Manuel d'utilisation UR10/CB3 Universal Robots (Page I-23)

Les cobots sont équipés de capteurs de sécurité avancés qui leur permettent de détecter la présence humaine et de s'arrêter ou de ralentir en cas de proximité, réduisant ainsi les risques d'accidents.

### *Avantages*

Les cobots peuvent travailler plus rapidement que les humains et sont capables de fonctionner 24 heures sur 24, ce qui peut augmenter la productivité globale de la ligne d'assemblage.

L'utilisation des cobots peut réduire les coûts de main-d'œuvre, car ils peuvent effectuer des tâches répétitives et exigeantes physiquement sans avoir besoin de pauses ou de congés.

Les cobots sont précis et constants dans leur travail, ce qui permet d'améliorer la qualité des capots de téléphone assemblés en réduisant les défauts et les erreurs de manipulation.

### *Inconvénients*

L'acquisition et l'installation de cobots peuvent représenter un coût initial important, ce qui est un inconvénient pour les petites entreprises ou celles avec des ressources limitées.

Les travailleurs doivent subir une formation spécifique pour travailler efficacement avec les cobots, ce qui peut nécessiter du temps et des ressources supplémentaires.

Les cobots ont des capacités techniques limitées et peuvent ne pas être adaptés à toutes les tâches d'assemblage. Certains processus complexes ou délicats peuvent nécessiter une intervention humaine.

## Description fonctionnelle du cycle du bras robot

Le bras robot est chargé de transporter les capots non encollés vers les postes d'encollage, puis et de les transporter à nouveau vers le stock de capots encollés d'une autre ligne d'encollage. Il sert à la fois à optimiser la chaîne de production et à limiter les mouvements de l'opérateur.

Ce bras est un cobot. La différence entre un cobot et un robot industriel est qu'un cobot est conçu pour travailler en collaboration avec un employé humain, tandis que le robot industriel effectue les tâches qui lui sont assignées à la place des humains. Un cobot est utile pour effectuer des tâches trop dangereuses, pénibles ou fastidieuses pour que les employés humains puissent les réaliser seuls. La mise en place du bras robotique renforce ainsi la sécurité sur la ligne d'assemblage, sans pour autant supprimer les emplois impliqués dans la fabrication du produit.

Cependant, contrairement à un être humain, le bras robotique est moins flexible dans certaines situations complexes et imprévisibles qui modifient son champ d'action. Comme par exemple quand des pièces tombent au sol en cas de mauvaise manipulation.

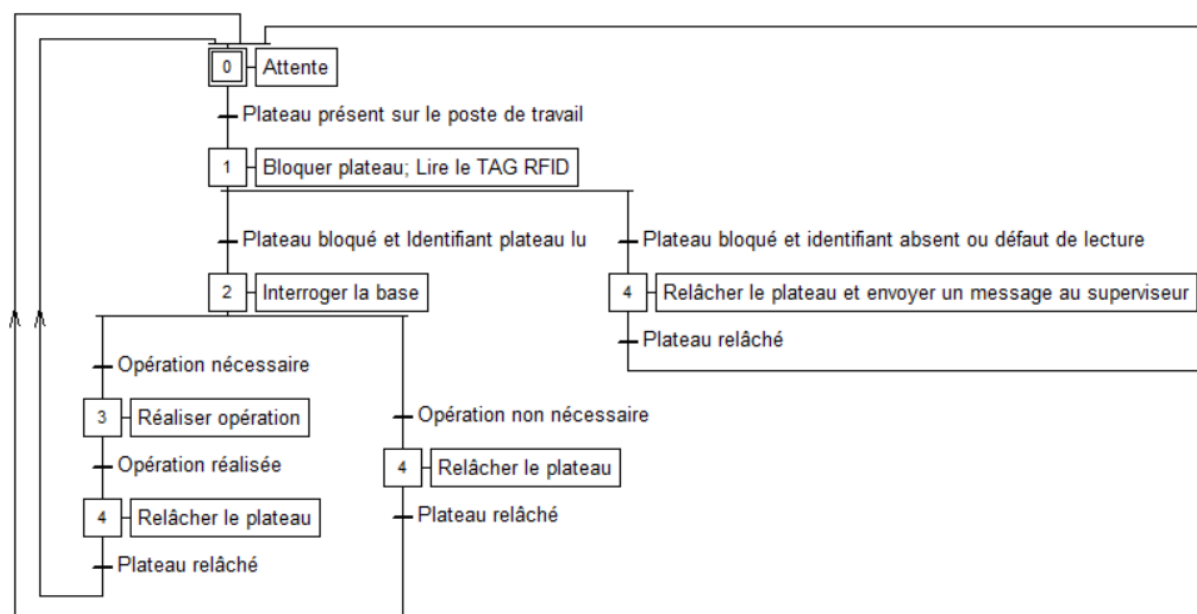


Figure 16 - GrafCET générique d'un poste de la ligne d'assemblage

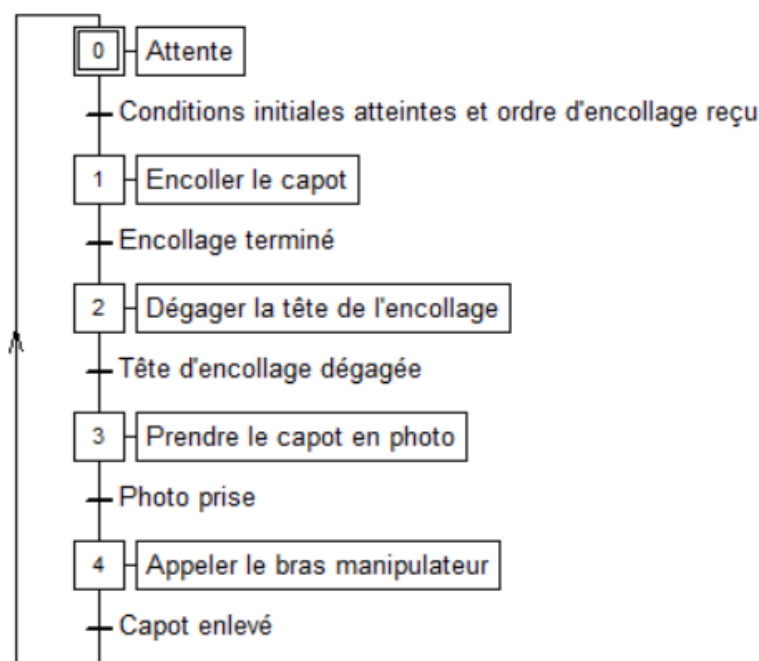


Figure 17 - GrafCET point de vue système d'une encolleuse

## Choix du bras robotique

Afin d'automatiser au maximum la chaîne de production, il est nécessaire d'avoir un bras robotique pour déposer les capots sur le plan de travail de l'encolleuse et puis de les transporter, une fois ceux-ci encollés, sur une autre ligne de production, le tout sans intervention humaine. Nous avons le choix entre trois bras robotisés de la marque *Universal Robots*, un fabricant de cobots : UR3, UR5 et UR10.

Nous avons réalisé un tableau comparatif de ces trois modèles.

Modèle	UR3	UR5	UR10
Charge maximale	3 kg	5 kg	10 kg
Portée	500 mm	850 mm	1300 mm
Encombrement	118 mm	149 mm	190 mm
Plages d'articulation	+/- 360° sur le dernier axe	+/- 360° sur toutes les articulations	+/- 360° sur toutes les articulations
Vitesse	3 axes du poignet : $360^{\circ} \cdot s^{-1}$ Autres axes : $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ Outil : Généralement $1 m \cdot s^{-1}$	Articulation : Maximum $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ Outil : environ $1 m \cdot s^{-1}$	Base et épaule : $120^{\circ} \cdot s^{-1}$ Coude, Poignet 1, Poignet 2, Poignet 3 : $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ Outil : Environ $1 m \cdot s^{-1}$

Tous les bras robotiques, y compris le modèle UR3, possèdent une charge maximale suffisante pour transporter les caisses de capots. Notre choix s'est donc joué à la portée des différents bras robotiques.

Nous avons accès à une simulation de l'usine dans laquelle nos encolleuses seront intégrées. Ainsi, nous pouvions tester l'efficacité des différents bras robotiques cités ci-dessus dans des conditions presque réelles.

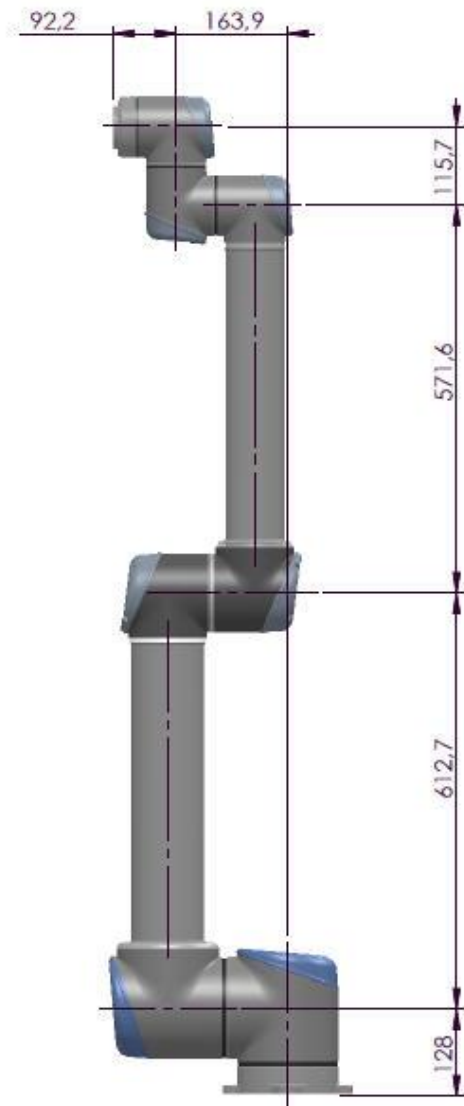


Figure 18 - Schéma du bras robotique

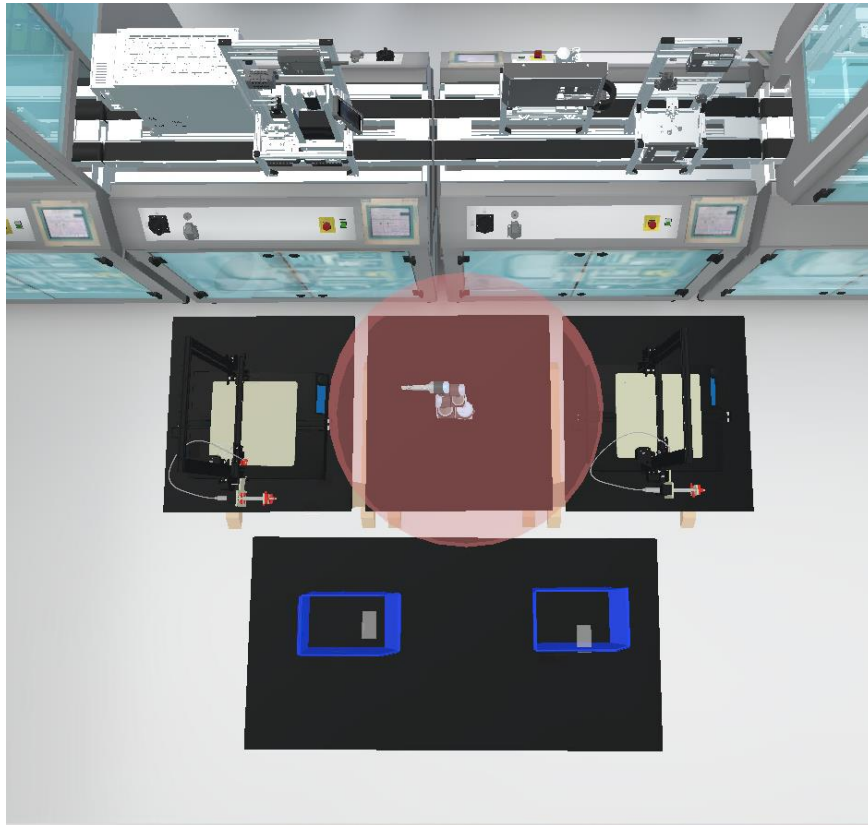


Figure 19 - Bras robotique UR3

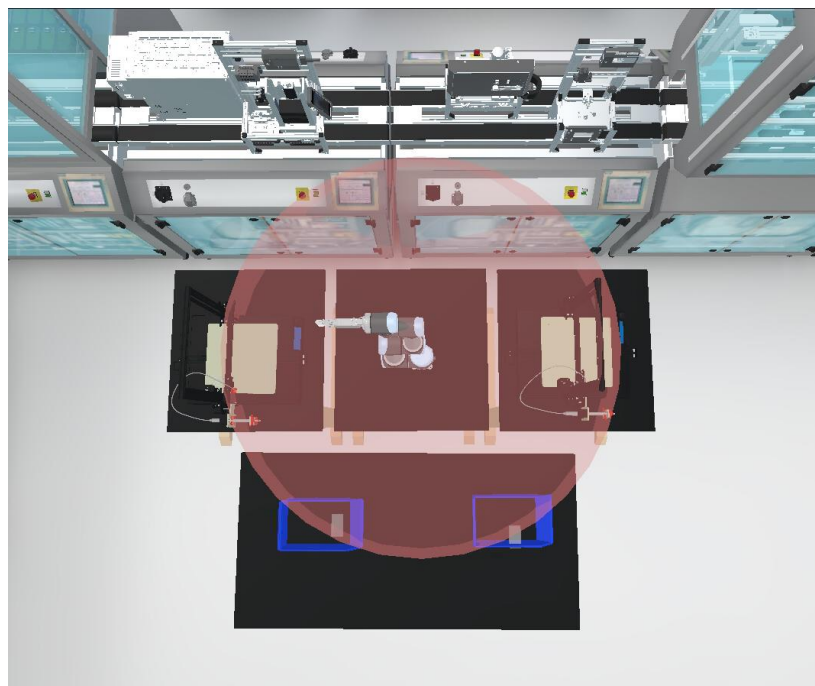


Figure 20 - Bras robotique UR5

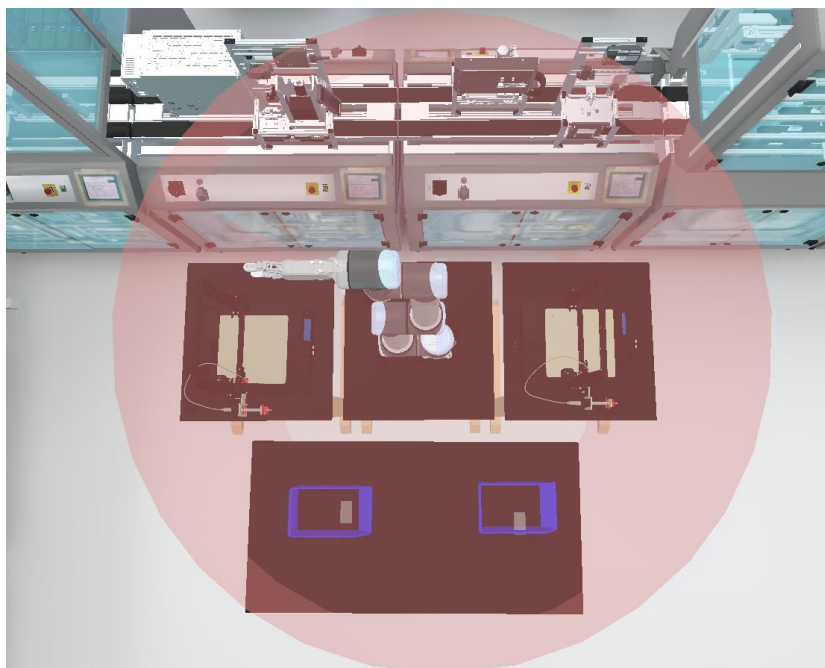


Figure 21 - Bras robotique UR10

En observant les trois figures ci-dessus, on constate que seul le bras robotique UR10 a une portée suffisante (1,3 m) pour accéder à la fois aux stocks de capots et à la ligne de production. En effet, ce cobot a été conçu pour pouvoir se déplacer dans un périmètre très grand et d'effectuer des tâches comme par exemple de l'emballage.

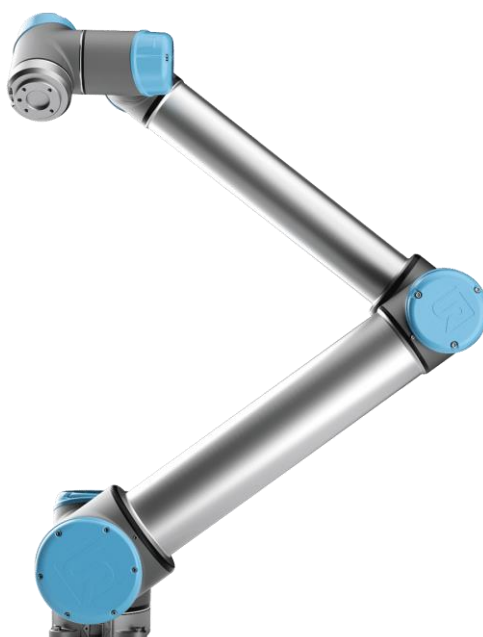


Figure 22 - Bras robotique UR10 (source : Cowelder)

De plus, ce bras robotisé a six axes, ce qui permet d'effectuer diverses des tâches répétitives et pénibles, libérant par conséquent les opérateurs et réduisant les TMS. Nos salariés pourront donc se consacrer à des travaux qui ont moins de risques sur leur santé physique.



GrafCET de l'encolleuse pour prendre en compte le rechargement automatique de la colle

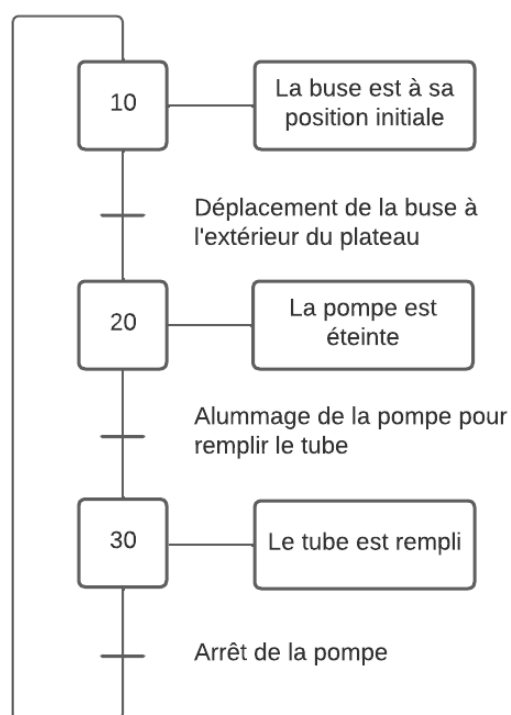


Figure 23 - GRAFCET du remplissage automatique de la colle

Grafcet point de vue système du fonctionnement normal du bras

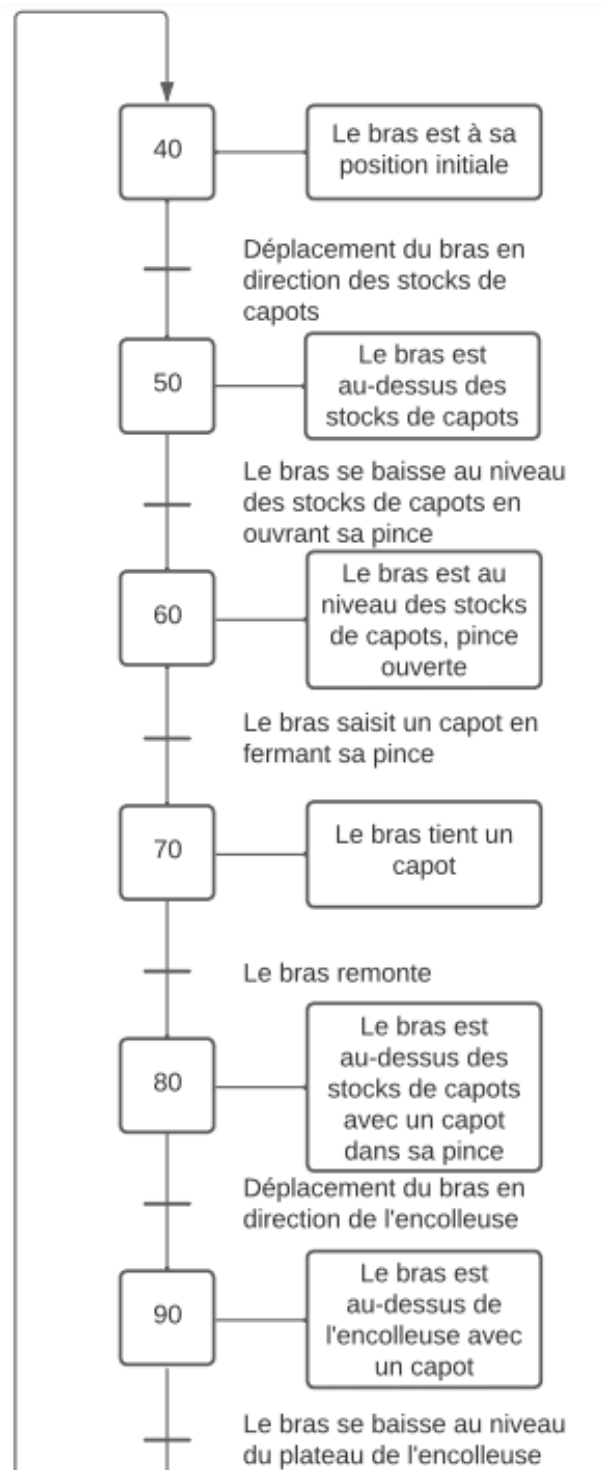


Figure 24 - GRAFCET encollage (Partie 1)

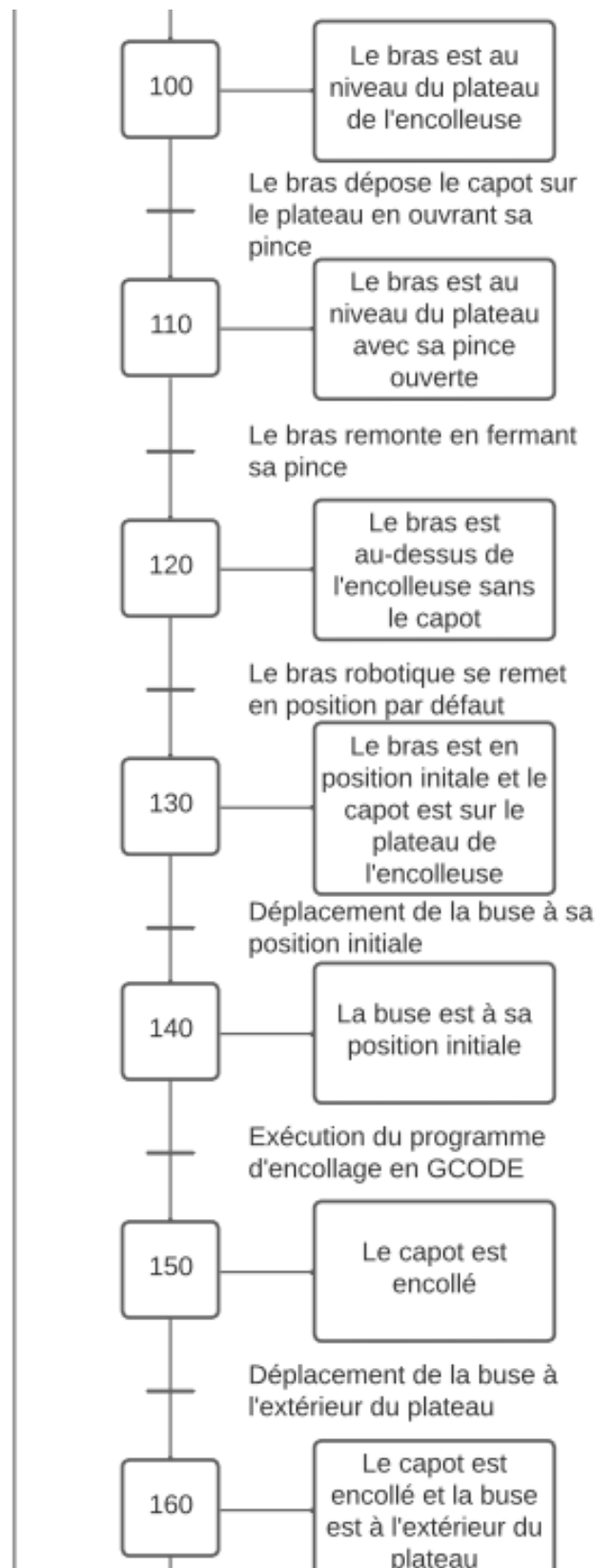


Figure 25 - GRAFCET encollage (Partie 2)

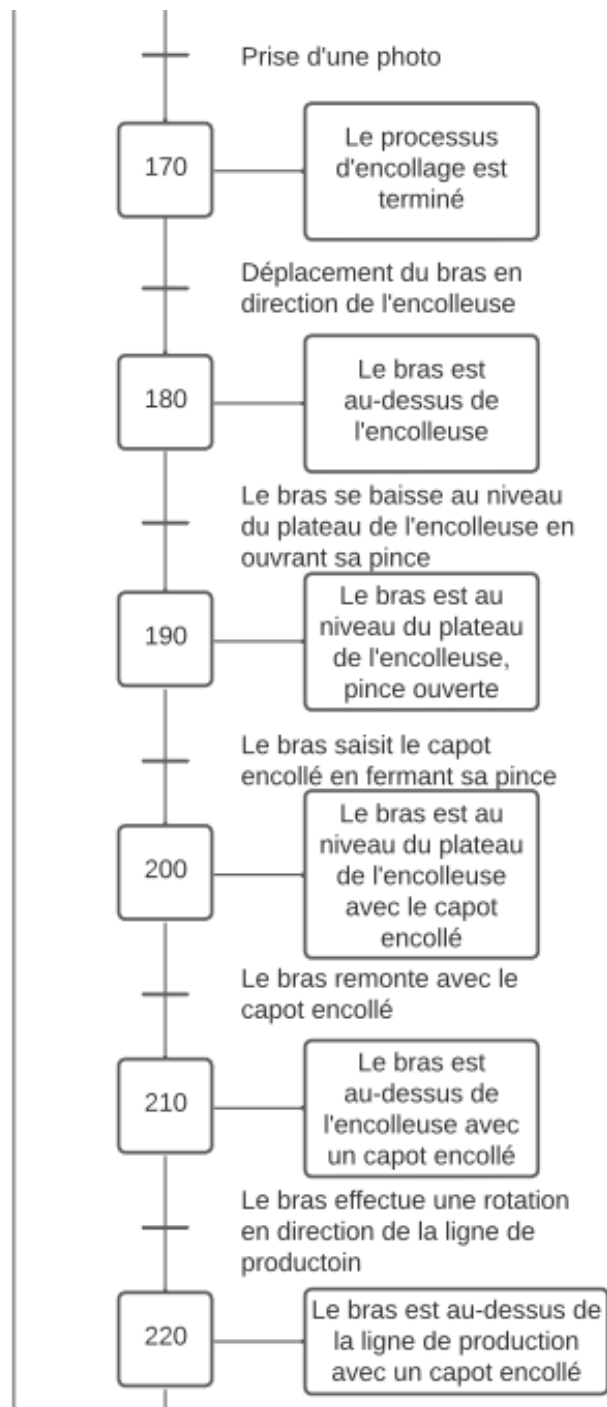


Figure 26 - GRAFCET encollage (Partie 3)

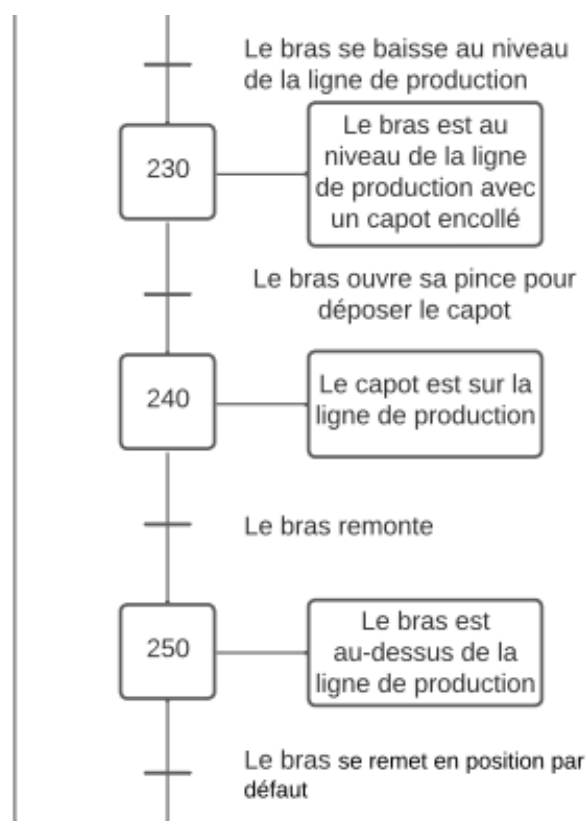


Figure 27 - GRAFCET encollage automatique (Partie 4)

## Explication du GrafCET

1. Purge de la buse
  - a. Déplacement de la buse le plus à l'extérieur du plateau
  - b. Lancement de la pompe pour remplir le tube
  - c. Arrêt de la pompe une fois le tube rempli
2. Prise du capot sur la ligne de production
  - a. Le bras robotique effectue une rotation en direction des stocks de capots
  - b. Le bras robotique se baisse au niveau des stocks de capots
  - c. Le bras robotique saisit un capot
  - d. Le bras robotique remonte avec le capot
3. Déplacement du capot vers le plateau de l'encolleuse
  - a. Le bras robotique effectue une rotation en direction du plateau de l'encolleuse
  - b. Le bras robotique se baisse au niveau du plateau
  - c. Le bras robotique dépose le capot
  - d. Le bras robotique remonte sans le capot
  - e. Le bras robotique se remet en position par défaut
4. Lancement de l'encollage
  - a. Déplacement de la buse à sa position par défaut
  - b. Exécution du programme GCODE
  - c. Déplacement de la buse le plus à l'extérieur du plateau
  - d. Prise d'une photo
5. Déplacement du capot encollé vers la ligne de production
  - a. Le bras robotique effectue une rotation en direction du plateau de l'encolleuse

- b. Le bras se baisse au niveau du plateau
- c. Le bras robotique saisit le capot
- d. Le bras robotique remonte avec le capot
- e. Le bras robotique effectue une rotation en direction de la ligne de production
- f. Le bras robotique se baisse au niveau de la ligne de production
- g. Le bras robotique dépose le capot
- h. Le bras robotique remonte sans le capot
- i. Le bras robotique se remet en position par défaut

Les étapes 2 à 5 seront exécutées en boucle, tandis que l'étape 1 ne sera réalisée qu'une seule fois. En effet, une fois le tube purgé la pompe peut fonctionner en permanence jusqu'à épuisement du stock de colle.

### Conclusion

Nos recherches en ergonomie, en cobotique et en électromagnétisme nous ont permis de comprendre et d'analyser en quoi il était nécessaire d'automatiser certaines de nos lignes d'assemblage en installant des bras robotiques qui travailleraient aux côtés des opérateurs.

Ce travail nous a aussi permis de nous sensibiliser aux maladies physiques que risquaient les opérateurs en raison de la pénibilité et de la répétitivité de leur travail via l'utilisation de la démarche OSHA.

Nous avons choisi le lecteur RFID le plus pertinent pour notre ligne d'assemblage et effectué des calculs en utilisant notamment l'équation de Friis dans le cas de l'antenne du lecteur RFID.

De plus, les GrafCET nous ont permis de schématiser les différentes étapes de notre ligne de production et les simulations nous ont aussi permis de connaître le périmètre de déplacement de notre bras robotique. Par ailleurs, le choix des emplacements optimaux pour les encolleuses et les stocks de capots ont été très importants à réaliser.