الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Département : Génie électrique Et Informatique Industrielle

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en **Automatique**

Spécialité

Automatique et informatique industrielle

Conception et validation HILS de programmes PLC pour une cellule d'assemblage robotisée

Réalisé par

LAKHDARI Amel

BOUHALI Amina

Les membres de Jury :

KHOUMERI El Hadi	M.C.B	ENST	Président
GAHAM Mehdi	M.R.B	CDTA	Promoteur
MAMOU Mohamed Amine	M.C.B	USTHB	Co-promoteur
DROUICHE Imane	M.C.B	USTHB	Examinateur
BOUTOUTA Dalila	M.A.A	ENST	Examinateur

Alger, le 06/07/2022

Année universitaire 2021-2022

Dédicaces

A Dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé, le courage et la volonté à réaliser ce travail. J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail :

Aux deux personnes très chères à mon cœur qui ont partagé mes joies et mes peines, qui ont été toujours à mes côtés, qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

Ma confidente chère maman Fatima, et le plus respectueux des pères, mon cher papa Kamel. Je prie le bon Dieu de vous bénir, de veiller sur en espérant que vous seriez toujours fiers de moi.

A mes adorables sœurs, chères oncles et tantes de m'avoir soutenue, encouragé durant tout mon parcours d'étude, je vous souhaite tout le bonheur du monde, merci.

A tous ceux qui j'apprécie et je n'ai pas mentionné mais que je n'ai pas oublié.

Amel

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes parents pour leurs efforts, leur soutien et confiance durant toutes années d'étude.
A ma sœur et mes frères pour leurs présences et encouragement pour affronter tous les obstacles.
Je dédie aussi à tous mes amis et collègues.

Amina

Remerciements

Avant tout, on remercie DIEU le tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'études et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.

Nos plus sincères remerciements vont à nos tuteurs : **M. Mehdi GAHAM** responsable de ce projet au niveau du centre de développement des technologies avancées et **M. Mohammed Amine MAMOU** notre encadrant académique pour leurs judicieux conseils, soutien et le temps consacré et sans qui ce mémoire et ce projet n'auraient jamais vu le jour.

Nos gratitudes vont au **corps professoral et administratif** du **Département génie Electrique et Informatique Industrielle** d'avoir enrichi de maintes connaissances et d'un jargon technique qui nous a facilité la confrontation au monde du travail avec les compétences nécessaires, de sérieux et de responsabilité.

Nos remerciements vont également aux membres de jury pour le regard critique et pertinent qu'il sera porté sur notre travail. Cela nous apportera un éclairage enrichissant, permettra d'hiérarchiser nos interrogations et d'orienter ainsi notre réflexion.

Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Table des matières

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I:

INTRODUCTION…..... 3

I.1 GENERALITES SUR L'AUTOMATISATION ET LES SYSTEMES AUTOMATISES 3

I.1.1 L'automatisation 3

I.1.2 Les avantages de l'automatisation : 3

I.1.3 Les systèmes automatisés 3

I.2 GENERALITES SUR LES AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS (API) 6

I.2.1 Généralités 6

I.2.2 Structure d'un automate programmable industriel 6

I.2.3 Les langages de programmation API 7

I.3 INDUSTRIE 4.0 8

I.3.1 Généralités 8

I.3.2 Les technologies de l'industrie 4.0 10

CONCLUSION…… 14

CHAPITRE II:

INTRODUCTION…… 15

II.1 PRESENTATION DE LA CELLULE D'ASSEMBLAGE ROBOTISEE 15

II.2 IDENTIFICATION DES ELEMENTS DE LA CELLULE EXISTANT DANS LE LABORATOIRE 16

II.2.1 Partie opérative 16

II.2.2 Partie commande 20

II.3 DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DE LA CELLULE REELLE 25

II.4 CAHIER DES CHARGES 31

II.5 LOGICIEL DE SIMULATION FACTORY I/O 31

II.5.1 Critères de choix du logiciel Factory I/O 31

II.5.2 Présentation du logiciel Factory/IO 32

II.5.3 Présentation de l'interface du logiciel Factory/IO 32

II.6 DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DE LA CELLULE VIRTUELLE 37

II.6.1 Les composants de la cellule virtuelle 38

II.6.2 Fonctionnement de la cellule virtuelle 42

CONCLUSION…….. 43

CHAPITRE III:

INTRODUCTION…. 44

III.1 MISE EN SERVICE VIRTUELLE 44

III.2 LOGICIEL DE PROGRAMMATION TIA PORTAL 45

III.2.1 Description du logiciel TIA PORTAL 45

III.3 PLCSIM ADVANCED V4.0 SP1 45

III.4 COMMUNICATION ENTRE PLCSIM ADVANCED ET LE LOGICIEL TIA PORTAL 46

III.4.1 Configuration du S7-PLCSIM Advanced avec TIA PORTAL 46

III.4.2 Démarrage de TIA PORTAL et configuration de l'instance active 47

III.4.3 Connexion des Entrées/Sorties de FACTORY/IO avec S7-PLCSIM 48

III.5 PROGRAMMATION DE LA CELLULE VIRTUELLE 50

III.5.1 Langage de programmation CONT (schéma à contacts) 50

III.5.2 L'écriture et la lecture des données du lecteur RFID 51

III.5.3 Le fonctionnement des stations Pick & Place 55

CONCLUSION..... 64

CHAPITRE IV:

INTRODUCTION.....65
IV.1 GENERALITES SUR LA SUPERVISION 65
IV.2 LOGICIEL DE SUPERVISION WINCC 65
IV.3 CONFIGURATION RESEAU 66
IV.4 VARIABLES IHM.....66
IV.5 PRESENTATION DES DIFFERENTES VUES DU PROJET.....67
IV.5.1 La vue « ACCUEIL ».....67
IV.5.2 La vue « MENU_PRINCIPAL ».....68
IV.5.3 La vue « DONNEES_RFID ».....69
IV.5.4 La vue « PARAMETRES_IHM ».....70

CONCLUSION.....70

CONCLUSION GENERALE.....71

REFERENCES

Liste des figures

Liste des figures

CHAPITRE I :

Figure I- 1: Structure d'un système automatisé industriel 4
Figure I- 2: Les actionneurs 5
Figure I- 3: Les capteurs 5
Figure I- 4: L'API 6
Figure I- 5: Structure d'un automate programmable industriel 7
Figure I- 6: Illustration des quatre types des révolutions industrielles 8
Figure I- 7: Les piliers de l'industrie 4.0 9
Figure I- 8: Les différentes technologies de l'industrie 4.0 11
Figure I- 9: Explication des deux concepts VC et DT 12
Figure I- 10: Différent type des tags RFID pour différentes applications 13
Figure I- 11: La collaboration Homme-Machine 14

CHAPITRE II:

Figure II- 1: La cellule d'assemblage robotisée réelle 15
Figure II- 2: Le robot KUKA LBR 16
Figure II- 3: Le robot industriel (GT_6A) 17
Figure II- 4: Le robot MOTOMAN 17
Figure II- 5: Un convoyeur présent sur FACTORY I/O 18
Figure II- 6: SIMATIC RF380R 18
Figure II- 7: Etiquette RFID 19
Figure II- 8: Le capteur photoélectrique présent sur FACTORY I/O 20
Figure II- 9: L'API S7-1500 21
Figure II- 10: La configuration matérielle de la station S7-1500 22
Figure II- 11: La figure représentative de la CPU 1515-2 PN vue de face 22
Figure II- 12: Vue de la CPU 1515-2 PN (sans volet frontal) face avant 23
Figure II- 13: Bilan de consommation de la CPU 1515-2PN 23
Figure II- 14: IHM de gamme TP1500 Comfort 24
Figure II- 15: Logigramme du fonctionnement de la cellule d'assemblage robotisée ..31
Figure II- 16: Interface d'utilisation de Factory I 33
Figure II- 17: Barre de tache de Factory I/O 33
Figure II- 18: Les différents composants de la palette 34
Figure II- 19: Les scènes prédéfinis sur Factory I/O 35
Figure II- 20: Liste des drivers 35
Figure II- 21: Lecteur RFID sur Factory I/O 36
Figure II- 22: Représentation de la cellule d'assemblage robotisé virtuelle 37
Figure II- 23: Vue du poste 01 39
Figure II- 24: Vue du poste 02 40
Figure II- 25: Vue du poste 03 41
Figure II- 26: Vue du poste 04 42

CHAPITRE III:

Figure III- 1: Schéma explicatif de la mise en service virtuelle 44
Figure III- 2: S7-PLCSIM Advanced V4.0 SP1 46
Figure III- 3: Panneau de configuration PLCSIM Advanced 47
Figure III- 4: Vue du projet sur TIA Portal 47
Figure III- 5: Aperçu du chargement du programme 48
Figure III- 6: Sélection de l'option Drivers 48
Figure III- 7: Choix du driver sur Factory I/O 49

Figure III- 8: Fenêtre de configuration du driver SIEMENS S7 PLCSIM sur Factory I/O 49
Figure III- 9: Fenêtre indiquant la réussite de connexion entre l'API et le Factory I/O 50
Figure III-10: Affectation des différentes valeurs dans les variables pour faire l'écriture…….…...52
Figure III- 11 : L'exécution de la commande d'écriture…….....52
Figure III- 12: L'arret de la commande…….…….... 53
Figure III- 13: La libération du premier poste……..……
543 Figure III- 14 : Le transfert des valeurs pour définir l'indice et le type de commande …….....54
Figure III- 15: L'exécution de la lecture……....54
Figure III- 16: L'arret de l'opération de lecture……55
Figure III- 17: Logigramme de la station Pick & Place 01……..….57
Figure III- 18: Logigramme de la station Pick & Place 03…….....59
Figure III- 19: Logigramme de la station Pick & Place 04……61
Figure III- 20: La mise en marche du Grab……..……....61
Figure III- 21: L'arret du Grab ……...……...62
Figure III- 22: Le déplacement selon l'axe X du P&P04…… ……62
Figure III- 23: Le retour au point initial sur l'axe X ……..……62

CHAPITRE IV :

Figure IV- 1: Liaison PROFINET entre l'API S7-1500 et l'IHM.....66
Figure IV- 2: Table de variables IHM.....66
Figure IV- 3: Le modèle IHM.....67
Figure IV- 4: La vue ACCUEIL.....68
Figure IV- 5: La vue MENU PRINCIPAL.....69
Figure IV- 6: La vue DONNEES RFID.....69
Figure IV- 7: La vue PARAMETRES IHM.....70

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1:Caractéristiques techniques du SIMATIC RF380R 19
Tableau 2:Caractéristiques techniques de l'IHM TP1500 Comfort 24
Tableau 3: Les différents états du RFID Reader Status 36
Tableau 4: Les différents états du RFID Reader Command..... 37

Liste des abréviations

Liste des abréviations :

API : Automates Programmables Industriels
CDTA : *Centre de Développement des Téchnologies Avancées*
Cobotique : *robot collaboratif*
CONT : *Schéma à contacts*
CPS : *Cyber Physical Systems*
CPU *Central Processing Unit*
DI : *Digital Input*
DQ : *Digital Output*
DT : *Digital Twin*
E/S : Entrées/Sorties
FBD : Function Block Diagram
HILS : *Hardware in the Loop Simulation*
IHM : *Interface Homme Machine*
IL *Instruction List*
IOS : Internet Of Services
IoT : *Internet Of Things*
IP : *Internet Protocol*
KUKA LBR IIWA : Leicht Bau Roboter Intelligent Industrial Work Assistant
LD : *Ladder Diagram*
LED : Light emitting Diode
M2M : *Machine To Machine*
OPC : Open Platform Communication
P&P : *Pick and Place*
PC : Partie Commande
PN PROFINET
PO : Partie Opérative
PR : *Partie Relation*
R&D : Recherche et Développement
RFID : Radio Frequency Identification
RS : *Recommended Standard*
RT : RunTime
SFC Sequential Function Chart
SPA : Société Par Action
ST Structured Text
TCP : Transmission Control Protocol
TIA : Totally Integrated Automation
TOR : *Tout Ou Rien*
VC *Virtual Commissioning*
VDC : Tension Continue en Volt
Wi-Fi : *Wireless Fidelity*

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur industriel est important pour l'économie de chaque pays et demeure un moteur de croissance et emploi.

Aujourd'hui, le paysage industriel est en train de se transformer vers la quatrième étape. En effet, avec l'amélioration des robots autonomes, automatisation contemporaine, les systèmes cyber-physiques, l'internet des objets, l'internet des services et les robots industriels, qui sont l'un des principaux moteurs de l'industrie 4.0, ont considérablement évolués depuis les dernières décennies du 20e siècle. Ils sont de plus en plus productifs, flexibles, versatiles, plus sécurisés, créant ainsi un niveau de valeur sans précédent dans l'ensemble de l'écosystème. [1]

Siemens produit des automates programmables (PLC) dans une "usine intelligente" ultramoderne où les systèmes de gestion des produits, la fabrication et les systèmes d'automatisation sont intégrés. Ce travail est issu d'une collaboration entre le Centre Algérien de Développement des Technologies Avancées et Siemens Algérie qui ont lancé des plans pour construire la première "Smart Manufacturing Platform" dédiée à l'Industrie 4.0.

La plateforme sera un cadre approprié pour accompagner les industriels et les entreprises innovantes face aux nouvelles mutations mondiales déclenchées par la Quatrième Révolution Industrielle ou Industrie 4.0. Cette dernière s'incarne à travers le concept d'usines numériques connectées, qui propose une nouvelle manière d'organiser les systèmes de production. L'objectif est d'intégrer les technologies et les paradigmes de la révolution numérique pour une plus grande adaptabilité de la production et une allocation plus efficace des ressources, ouvrant la voie à de nouvelles industries plus compétitives et personnalisées. Dans ce but le thème : « Conception et validation HILS de programmes PLC pour une cellule d'assemblage robotisé » a été proposé dans le cadre du projet R&D qui fait partie de la convention entre le CDTA et SIEMENS SPA.

La cellule d'assemblage robotisée présente au niveau du CDTA est contrôlée par une architecture de commande. Nous allons faire une modélisation de cette cellule ainsi que l'architecture de commande en utilisant le logiciel TIA PORTAL V16 afin d'implémenter un programme qui va être utiliser pour faire la mise en service virtuelle en contrôlant le jumeau numérique de la cellule que nous allons créer dans un Logiciel d'automatisation 3D, le Factory I/O 2.5.1, ce qui permet un fonctionnement proche de la cellule réelle.

Ce mémoire est devisé en quatre chapitre, organisé comme suit :

Le premier chapitre est consacré, en premier lieu, aux aspects généraux de l'automatisations, les systèmes automatisés et les automates programmables industriels. Ensuite, la nouvelle industrie dite « industrie 4.0 » et ces différents piliers et technologies sera présentée.

Le deuxième chapitre est dédié comprend aux différentes descriptions et au principe de fonctionnement de la cellule d'assemblage robotisée réelle et son jumeau numérique réalisé avec le logiciel de simulation dit « Factory I/O ».

Le troisième chapitre arborera la communication adoptée entre le Factory I/O et le PLCSIM Advanced v4.0 SP1 du TIA PORTAL v16 et l'implémentation du programme de commande et de contrôle de la cellule virtuelle.

Le dernier chapitre est consacré à la réalisation d'une interface homme machine (IHM) pour la supervision de la cellule d'assemblage robotisée.

Chapitre I

Etat de l'art : Industrie 4.0

INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous présenterons des généralités sur l'automatisation, les systèmes automatisés et les automates programmables industriels, ensuite nous illustrerons l'industrie 4.0 et ces différentes révolutions industrielles au long des années. Nous présenterons aussi les technologies de cette révolution industrielle dont des parties feront l'objet de notre travail qui est articulé sur leur utilisation pour le pilotage centralisé d'une cellule d'assemblage robotisée.

I.1 Généralités sur l'automatisation et les systèmes automatisés

I.1.1 L'automatisation

L'automatisation est la technique qui consiste à faire fonctionner automatiquement un appareil, un procédé ou un système. Elle comprend la capacité de traitement de tout système.

Le processus d'automatisation rend les choses quotidiennes plus faciles, plus rapides, meilleures et même libèrent les êtres humains du travail et de la monotonie des tâches répétitives. Parmi les technologies d'automatisation les plus avancées de l'industrie automobile, citons la vision machine, l'intelligence artificielle pour les voitures autonomes/sans conducteur, l'informatique cognitive dans les voitures connectées IoT et les robots collaboratifs.

L'automatisation a déjà été mise en œuvre dans le secteur manufacturier, en particulier maintenant sous la forme de la technologie « Industrie 4.0 ». [2]

I.1.2 Les avantages de l'automatisation :

L'automatisation permet d'ajouter des éléments supplémentaires à la valeur ajoutée du système. Ces éléments peuvent être exprimés sous forme d'objectifs de la manière suivante : [3]

• Renforcer et améliorer la productivité (rentabilité) du système.

• Améliorer la flexibilité de la production et la qualité des produits.

• S'adapter à des tâches physiques ou intellectuelles difficiles à accomplir pour l'humain (manipulation de charges lourdes, tâches parallèles répétitives, etc.).

• Augmenter la sécurité.

I.1.3 Les systèmes automatisés

Un système automatisé est un système dans lequel un processus est exécuté par une machine sans l'intervention directe de l'être humain. L'automatisation est réalisée à l'aide d'un programme d'instructions associé à un système de contrôle qui exécute les instructions. La puissance est nécessaire pour piloter les processus et exécuter les programmes et les systèmes de contrôle. [4]

Un système automatisé se compose de trois éléments de base :

- ✓ L'alimentation pour faire fonctionner le système.
- ✓ Un programme d'instructions pour diriger le processus.
- ✓ Un système de commande pour actionner les instructions.

Les systèmes d'automatisation utilisés dans le secteur industriel ont la même structure de base. Ils sont constitués de plusieurs parties plus ou moins complexes reliées entre elles : [5]

- ✓ Partie opérative (PO).
- ✓ Partie commande (PC).
- ✓ Partie relation (pupitre de dialogue) (PR).

La figure ci-dessous montre la structure d'un système automatisé industriel :

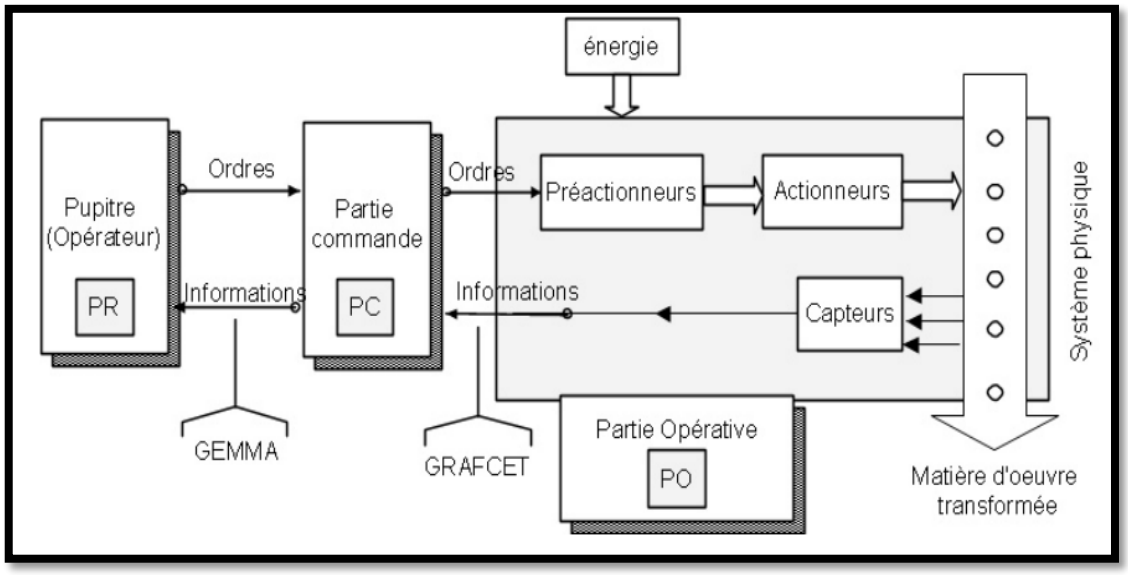


Figure I- 1: Structure d'un système automatisé industriel [5]

A. La partie commande (PC) :

Elle donne les ordres et reçoit les informations de l'extérieur ou de la partie opérative. Elle peut se présenter sous 3 manières différentes : un boîtier de commande, un microprocesseur (cerveau électronique), ou un ordinateur. [6]

Elle transmet les ordres aux actionneurs à partir :

- ✓ Du programme qu'elle contient.
- ✓ Des informations reçues par les capteurs.
- ✓ Des consignes données par l'utilisateur ou l'opérateur.

B. La partie opérative (PO) :

C'est la partie qui reçoit les ordres de la partie commande et qui les exécute.

Elle comporte les capteurs et les actionneurs : [6]

- **Un actionneur** est un élément de la partie opérative qui est capable de produire une action physique tel qu'un déplacement, un dégagement de chaleur, une émission de lumière ou de son à partir de l'énergie qu'il a reçu.

La figure ci-dessous montre quelques exemples des actionneurs :

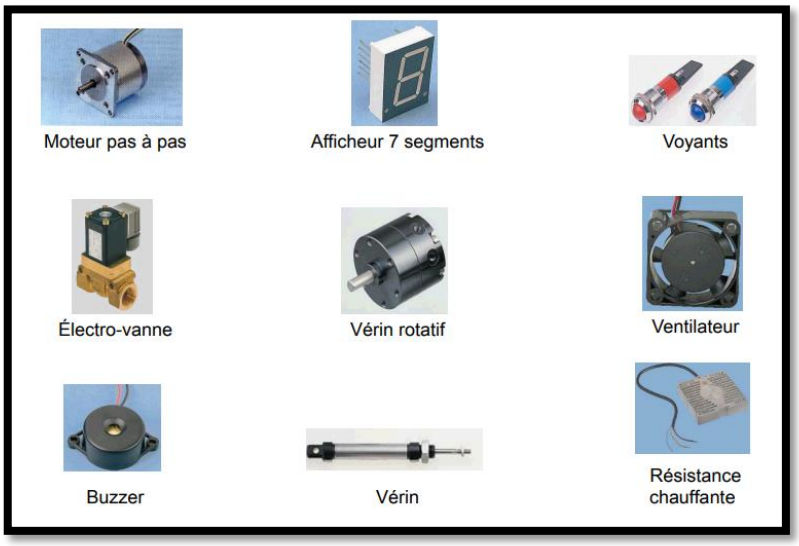


Figure I- 2: Les actionneurs [6]

- **Un capteur** est un élément de la partie opérative qui permet de recueillir des informations et de les transmettre à la partie commande. Les capteurs sont choisis en fonction des informations qui doivent être recueillies (température, son, lumière, déplacement, position).

La figure suivante montre les différents capteurs :



Figure I- 3: Les capteurs [6]

C. La partie relation (PR) :

Il regroupe les différentes commandes nécessaires au bon fonctionnement du procédé: marche-arrêt, arrêt d'urgence, marche automatique... [5]

I.2 Généralités sur les automates programmables industriels (API)

I.2.1 Généralités

Les automates programmables industriels (API) ou Programmable Logic Controller (PLC) en anglais), sont apparu aux Etats-Unis vers 1969 dans le but de répondre aux besoins des industries de l'automobile de développer des chaînes de fabrication automatisées qui pourraient suivre l'évolution des technologies et des modèles fabriqués.

L'API est une forme particulière de contrôleur à microprocesseur qui utilise une mémoire programmable pour stocker les instructions et qui implémente différentes fonctions, qu'elles soient logiques, de séquencement, de temporisation, de comptage ou arithmétiques, pour commander les machines et les processus (voir la figure I- 4).

Les dispositifs d'entrées (capteurs) et de sorties (moteurs) du système sont connectés à l'API.

L'opérateur saisit un ensemble d'instructions, le programme, dans la mémoire de l'API. L'automate surveille ensuite les entrées et les sorties conformément aux instructions du programme et met en œuvre les régies de commande définies. [7]

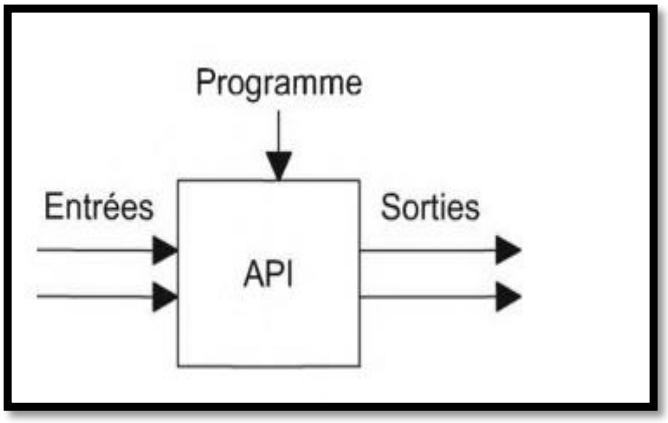


Figure I- 4: L'API [7]

I.2.2 Structure d'un automate programmable industriel

De manière générale, un API est structuré autour de plusieurs éléments de base que sont l'unité de traitement, la mémoire, l'unité d'alimentation, les interfaces d'entrées-sorties, interface de communication et le périphérique de programmation.

La figure ci-dessous représente la structure d'un API :

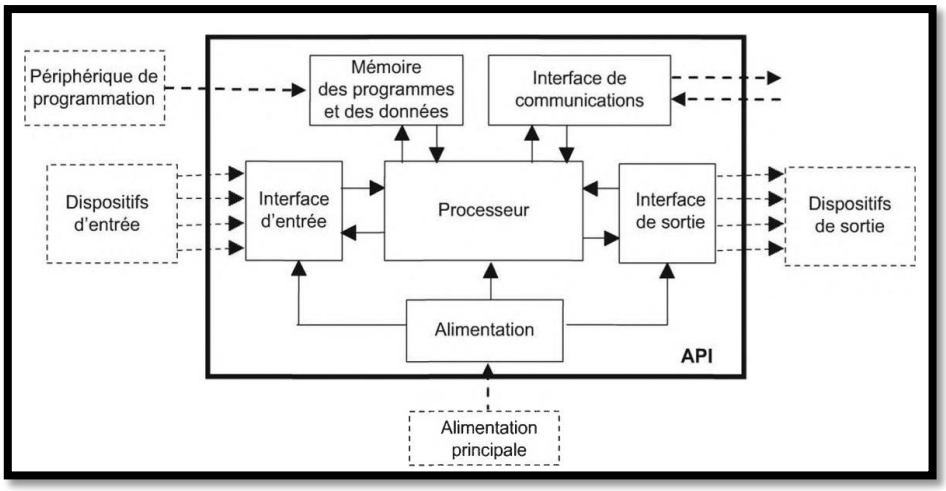


Figure I- 5: Structure d'un automate programmable industriel [7]

1) **Le processeur ou unité centrale de traitement (CPU, Central Processing Unit) :** contient le microprocesseur. La CPU interprète les signaux d'entrée et effectue les actions de commande conformément au programme stocke en mémoire, en communiquant aux sorties les décisions sous forme de signaux d'action.
2) **L'unité d'alimentation :** est indispensable puisqu'elle convertit une tension alternative en une basse tension continue (5 V) nécessaire au processeur et aux modules d'entrées-sorties.
3) **Le périphérique de programmation :** est utilisé pour entrer le programme dans la mémoire du processeur. Ce programme est développé sur le périphérique, puis transféré dans la mémoire de l'API.
4) **La mémoire :** contient le programme qui définit les actions de commande effectuées par le microprocesseur. Elle contient également les données qui proviennent des entrées en vue de leur traitement, ainsi que celles des sorties.
5) **Les interfaces d'entrées-sorties :** permettent au processeur de recevoir et d'envoyer des informations aux dispositifs extérieurs. Les entrées peuvent être des interrupteurs, ou d'autres capteurs, des sondes de température, des débit mètres, etc. Les sorties peuvent être des bobines de moteur, des électrovannes, etc.
6) **L'interface de communication :** est utilisée pour recevoir et transmettre des données sur des réseaux de communication qui relient l'AP1 a d'autres API distants. Elle est impliquée dans des opérations telles que la vérification d'un périphérique, l'acquisition de données, la synchronisation entres des applications et la gestion de la connexion.

I.2.3 Les langages de programmation API

➢ **Les langages graphiques :**

- LD : Ladder Diagram (Diagrammes échelle)
- FBD: Function Block Diagram (Logigrammes)

- SFC: Sequential Function Chart (Grafcet)

➢ **Les langages textuels :**

- IL : Instruction List (Liste d'instructions).
- ST: Structured Text (Text structuré). [8]

I.3 Industrie 4.0

I.3.1 Généralités

L'industrie 4.0 est actuellement une priorité pour plusieurs entreprises, centres de recherche et universités. Elle a un impact économique énorme, car Industrie 4.0 promet une efficacité opérationnelle considérablement accrue ainsi que le développement de modèles d'affaires et de services.

Cette révolution industrielle a été précédée par trois autres révolutions industrielles. La première révolution industrielle a été l'introduction d'installations de production mécanique à partir du XVIIIe siècle et être intensifié tout au long du XIXe siècle. Des années 1870, l'électrification et la division du travail (i.e. taylorisme) ont conduit à la deuxième révolution industrielle. La troisième révolution industrielle, aussi appelée « révolution numérique », s'est amorcée vers les années 1970, lorsque l'électronique avancée et les technologies de l'information ont perfectionné l'automatisation des processus de production (Voir la figure suivante). [9]



Figure I- 6: Illustration des quatre types des révolutions industrielles [10]

Le projet Industrie 4.0 a été lancé en 2010 lors du salon des technologies industrielles de Hanovre ("CeBIT").

Cette industrie, également connue sous le nom d'Internet industriel des objets, repose sur la numérisation via l'IoT et les réseaux virtuels. Cette révolution est exponentielle, et non linéaire, et conduira à la création d'usines, d'industries et de processus plus intelligents, ce qui se traduira par une grande flexibilité, une productivité accrue et une meilleure utilisation des matériaux et des ressources humaines. [11]

Elle repose sur de nombreux piliers essentiels qui se rejoignent pour créer une usine connectée où les machines peuvent communiquer entre elles et prendre des décisions de manière autonome.

Ces principaux piliers sont résumés dans la figure ci-dessous : [12]

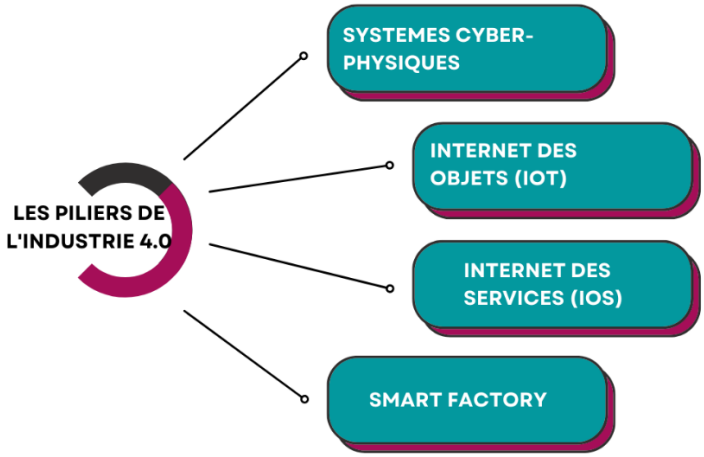


Figure I- 7: Les piliers de l'industrie 4.0

1) **Systèmes cyber-physiques :** Les systèmes cyber-physiques sont des intégrations de calculs et de processus physiques. Les ordinateurs et les réseaux intégrés surveillent et contrôlent les processus physiques, habituellement avec des boucles de rétroaction où les processus physiques affectent les calculs et vice versa.

Le développement des CPS est caractérisé par trois phases :

✓ la 1ère génération :Les technologies d'identification comme étiquettes RFID, qui permettent une identification unique. Le stockage et l'analyse doivent être fournis comme un service centralisé.

✓ La 2ème génération : Capteurs et actionneurs avec une gamme de fonctions limitée.

✓ Les CPS de la troisième génération peut stocker et analyser des données, sont équipés de plusieurs capteurs et actionneurs (compatibles avec le réseau).

2) **Internet des objets (IoT)** : L'IoT peut être défini comme un réseau dans lequel les CPS coopèrent entre eux à travers des schémas d'adressage uniques.

3) **Internet of Services :** L'IOS se compose de participants, une infrastructure pour les services, les modèles d'affaires et les services eux-mêmes. Les services sont offerts

et combinés en services à valeur ajoutée par divers fournisseurs ; ils sont communiqués aux utilisateurs ainsi qu'aux consommateurs et sont accessibles par eux par divers canaux.

Cette évolution permet un nouveau mode de variation dynamique de la répartition des activités de la chaîne de valeur individuelle.

4) **Smart Factory** : Smart factory ou l'usine intelligente peut être définie comme une usine où les CPS communiquent à travers l'IoT et surveillent les personnes et les machines pendant l'exécution de leurs tâches.

L'ensemble des piliers présentées sont celles ayant permis la viabilité de l'Industrie 4.0. En d'autres termes, ce sont celles qui permettent de donner naissance à de nouvelles tendances comme la cobotique, digital twin, etc.

Pour accompagner ces quatre piliers, on trouve des principes fondamentaux auxquels l'industrie 4.0 adhère : [13]

- **L'interconnexion :** c'est la capacité de communication entre différentes machines utilisant l'IoT.
- **La transparence de l'information :** représente la capacité à fournir et à présenter de manière compréhensible une quantité importante de données (Big Data) pour faciliter la prise de décision.
- **L'assistance technique :** c'est la capacité à permettre aux machines cyber-physiques d'assister dans des tâches qui peuvent être pénibles, dangereuses ou chronophages pour un opérateur humain.

I.3.2 Les technologies de l'industrie 4.0

Parmi les principales technologies sur lesquelles on se base l'industrie 4.0, nous citons (Voir la figure I- 8) :

- ✓ La mise en service virtuelle (Virtual Commissioning).
- ✓ L'identification par radiofréquence ou radio-Frequency identification (RFID).
- ✓ L'interconnexion des machines.
- ✓ La Cobotique (collaboration homme-robot).



Figure I-8: Les différentes technologies de l'industrie 4.0

I.3.2.1 La mise en service virtuel (Virtual Commissioning)

La mise en service virtuelle est la pratique d'utiliser la technologie de simulation pour tester le comportement du système avec un modèle de machine virtuelle avant de le connecter au système réel.

Le but ultime de l'utilisation de la mise en service virtuelle pour un constructeur de machines-outils est d'effectuer plusieurs validations partielles de la conception et de l'ingénierie de la machine dans un environnement virtuel, en minimisant les erreurs et en améliorant la détection des pannes lors de l'intégration et de la configuration finale. [14]

Les avantages de la mise en service virtuelle sont principalement les essais peuvent être effectués sans la dépendance de l'installation réelle et aussi avant la mise en service réelle, avec moins de pression temporelle, d'une autre manière elle offre aux équipes des projets la possibilité de travailler de manière collaborative plus tôt dans le projet avant même que le process industriel soit lancé en réalisation .Elle permet aussi permet de détecter les erreurs plus tôt dans la phase de conception, lorsque la correction est généralement plus de temps- et donc rentable.

Actuellement, les principaux obstacles à une utilisation de la mise en service sont l'effort de modélisation exigeant et le savoir-faire requis pour développer de tels modèles de simulation.

Le Virtual Commissioning fait partie du monde de l'industrie depuis plus de vingt ans et c'est avec les jumeaux numériques (Digital Twin) qu'il prend aujourd'hui tout son sens. [15]

- **Les jumeaux numériques (Digital Twin) :**

C'est une représentation numérique dynamique d'un système réel. Il désigne une description physique et fonctionnelle ainsi que toutes les données opérationnelles disponibles d'un composant, produit ou système par un ensemble de modèles exécutables. [14] [16]

Les jumeaux numériques se caractérisent par : [16]

- ✓ La liaison aux données d'ingénierie, des données d'exploitation et des descriptions de comportement via plusieurs modèles de simulation. Ces derniers composant le Digital Twin sont spécifiques à leur usage prévu et appliquent la fidélité adaptée au problème à résoudre.
- ✓ L'évolution avec le système réel tout au long du cycle de vie et intègre les connaissances actuellement disponibles du système.
- ✓ Le jumeau numérique n'est pas utilisé pour décrire comportement, mais aussi pour trouver des solutions pour le système réel.

Et parmi les avantages de cette technologie, nous citons :

- ✓ La création de plusieurs modèles de simulation qui ont un but défini et une plage de validité.
- ✓ La fourniture de données et d'informations descriptives qui sont utiles pour les différents intervenants.
- ✓ La réalisation de l'interconnexion de tous les objets numériques par les technologies sémantiques.
- ✓ Le lien entre le monde réel et numérique en appliquant la synchronisation des mesures, parfois le big data et la représentation virtuelle.

La figure suivante représente explique les deux technologies :

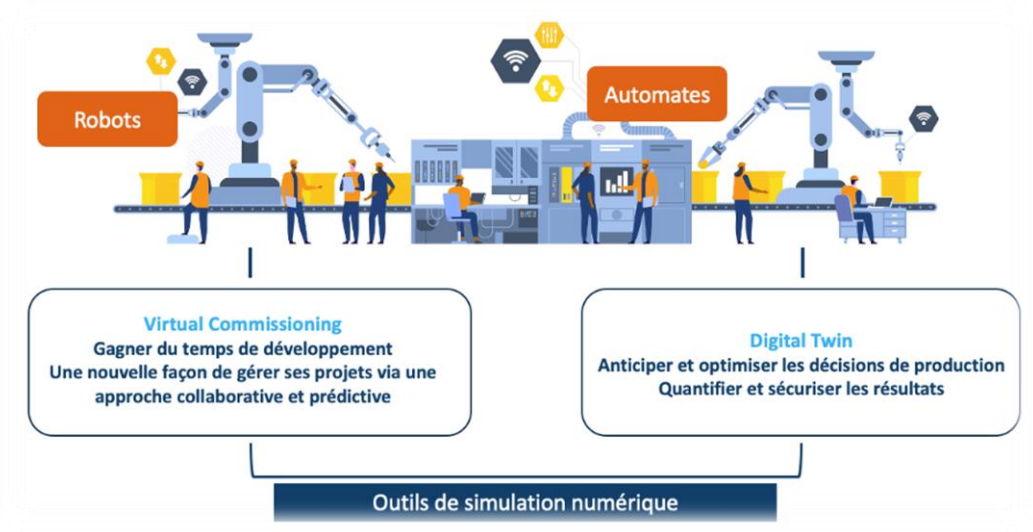


Figure I- 9: Explication des deux concepts VC et DT

I.3.2.2 L'identification par radiofréquence ou Radio-Frequency Identification (RFID)

Les technologies RFID pour l'identification par radiofréquence font aujourd'hui l'objet d'un engouement sans précédent. La RFID (de l'anglais : radio frequency identification) est basée sur l'échange d'information véhiculées par des codes électromagnétiques entre une étiquette « tag » et un lecteur. [17]

D'une manière plus simple, c'est une technologie de communication sans fil utilisée pour saisir les données, qui peut être liée à différents attributs d'identification (numéro de série, position, couleur, date d'achat, etc.) des entités portant des étiquettes (RFID tags). Le processus de collecte des données est basé sur un échange d'ondes électromagnétiques entre les étiquettes RFID et les interrogateurs RFID (lecteurs).

La technologie RFID consiste en une combinaison d'étiquettes et de lecteurs. Les étiquettes stockent et transmettent des données aux lecteurs à l'aide d'ondes radio. Les lecteurs recueillent des données des différentes étiquettes et les relaient au serveur pour analyse et traitement ultérieurs. [18]

La RFID est utilisée dans des milliers d'applications : aujourd'hui, principalement autour de domaines tels que la sécurité (contrôle d'accès), la traçabilité, l'identification, et dans le futur la réalisation des capteurs sans fil ou encore des systèmes de localisation courte portée (Voir la figure I- 13). [17]

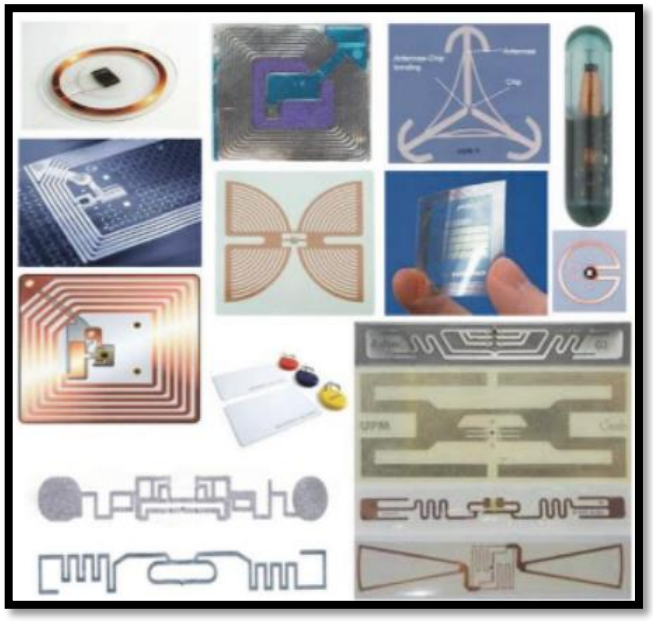


Figure I-10: Différent type des tags RFID pour différentes applications [17]

I.3.2.3 L'interconnexion des machines

M2M, machine à machine, est le terme décrivant les technologies utilisées par les machines pour communiquer entre elles sans intervention humaine directe.

Elle permet d'automatiser les tâches, indispensable au développement des villes intelligentes (smart cities), de l'Industrie 4.0 et de la robotique.

Son objectif est de d'alléger la charge de travail manuelle de nombreuses opérations et inspections redondantes et répétitives, tout en réduisant le nombre d'erreurs. [19]

Les principaux composants d'un système M2M comprennent des capteurs, la RFID , une liaison de communication Wi-Fi ou cellulaire et un logiciel informatique autonome programmé pour aider un appareil réseau à interpréter les données et à

prendre des décisions. Ces applications M2M traduisent les données, ce qui peut déclencher des actions préprogrammées et automatisées. [20]

I.3.2.4 La Cobotique

Les robots travaillaient de manière autonome et isolée, le besoin de réaliser des tâches variées et changeantes a fait émerger une nouvelle discipline dans le champ des sciences robotiques du nom de robotique collaborative (cobotique).

La cobotique est un champ de la robotique en pleine expansion, [21] elle fait référence aux dispositifs robotiques conçus, fabriqués et utilisés pour interagir et collaborer avec les humains. [22]

Le cobot est un robot qui est dédié à la manipulation d'objets en collaboration avec un opérateur humain. Ils sont équipés de nombreux capteurs et de logiciels qui n'ont pas besoin d'être séparés des travailleurs humains (Voir la figure I- 11). [11]



Figure I-11: La collaboration Homme-Machine [23]

CONCLUSION

Nous avons abordé dans ce chapitre les généralités de l'automatisation, les systèmes automatisés ainsi que les API et nécessairement les modalités de la technologie innovante « industrie 4.0 » qui sera en revanche l'élément indispensable à la conception du modèle prévu à être programmer suite aux chapitres à venir.

Dans le prochain chapitre nous allons présenter le système sur lequel se base notre travail qui a été conçu de manière à intégrer les technologies de cette nouvelle industrie.

Chapitre II

Chapitre II : Conception et modélisation de la cellule d'assemblage robotisée

INTRODUCTION

Le système sur lequel on se base dans ce projet est une cellule d'assemblage robotisée développée au niveau du laboratoire « Systèmes robotisés de production » de la division robotique et productique dans le centre de développement des technologies avancées (CDTA).

Ce chapitre consiste en premier lieu à présenter la cellule d'assemblage robotisée réelle puis à développer une plateforme virtuelle en utilisant le logiciel de simulation 3D FACTORY I/O.

II.1 Présentation de la cellule d'assemblage robotisée

Dans ce projet, nous nous intéressons sur une cellule d'assemblage robotisée présente au niveau de CDTA qui a été conçu de manière à pouvoir intégrer des technologies de l'industrie 4.0.

La cellule contient principalement :

- ✓ Le robot collaboratif (KUKA LBR IIWA).
- ✓ Le robot industriel (GT6).
- ✓ Le robot MOTOMAN
- ✓ Quatre (4) convoyeurs.
- ✓ Un automate programmable industriel central S7-1500.
- ✓ Un système d'identification par radiofréquence : RF380R et un module de communication RF180C.
- ✓ Des capteurs photoélectriques.
- ✓ Une Interface Homme-Machine, IHM.

Ces éléments sont répartis sur quatre postes différents (voir la figure II- 1), chaque poste lui ait affecté une tâche particulière durant un cycle d'assemblage.

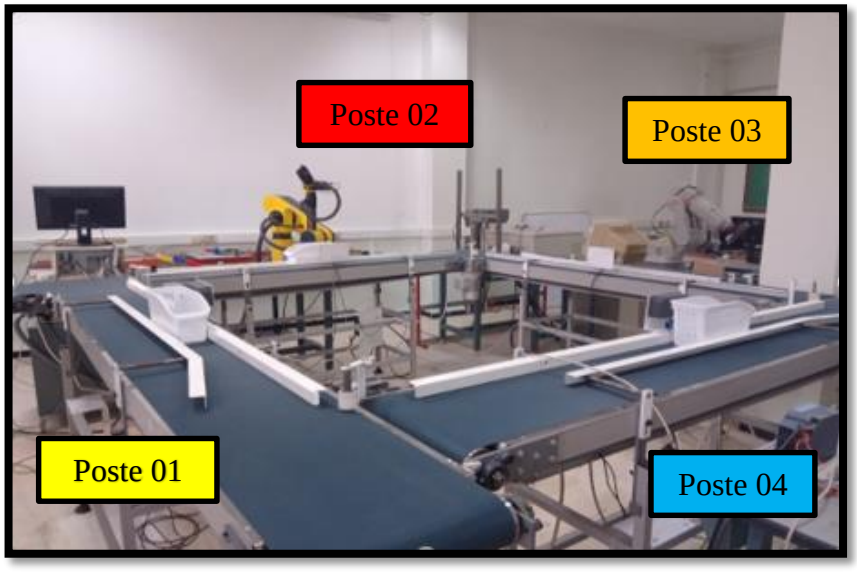


Figure II- 1: La cellule d'assemblage robotisée réelle

II.2 Identification des éléments de la cellule existant dans le laboratoire

Dans cette partie nous allons décrire chaque composant présent dans cette cellule ainsi que son rôle.

II.2.1 Partie opérative

II.2.1.1 Les robots

- **Le robot collaboratif (KUKA LBR IIWA) :**

Un robot collaboratif est un robot qui est conçu pour travailler en coopération directe avec un humain dans un espace de travail défini.

Le robot collaboratif utilisé dans la cellule d'assemblage concernant notre projet est **KUKA LBR IIWA**. LBR signifie « Leichtbauroboter » (robot léger), IIWA signifie « intelligent industrial work assistant ».

Le LBR IIWA est le premier robot sensitif, et donc apte à la collaboration homme-robot, fabriqué en série. C'est un robot articulé et collaboratif, existe en deux versions avec des charges de 7 et 14 kilogrammes.

LBR IIWA est un bras robotisé à 7 axes conçu pour une collaboration homme-robot en toute sécurité dans l'espace de travail. Il est composé d'un contrôleur et d'une alimentation électrique.

Il dispose de capteurs de couple articulaire dans tous les axes pour se déplacer avec précision et détecter le contact avec les humains et les objets.

Il manipule les pièces fragiles sans risques de pincement et de cisaillement trop prononcés grâce à la régulation de position et de compliance (Voir figure II- 2). [24]

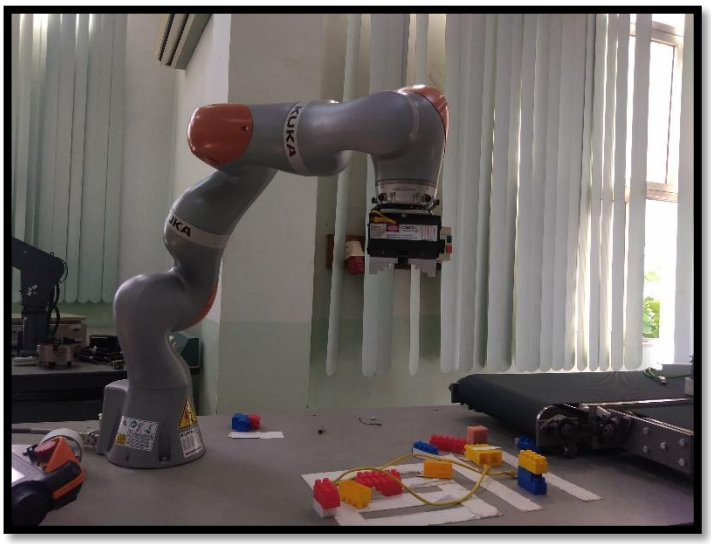


Figure II-2 : Le robot KUKA LBR

- **Le robot industriel (GT_6A) :**

Le robot industriel est une machine capable d'effectuer des tâches dès lors que l'on manipule sa programmation. Trois composants le caractérisent : une partie

mécanique, une autre électronique, faite de capteurs dans le système de commande, et le dernier informatique qui permet de le relier à l'utilisateur et à son environnement (Voir la figure II- 3). [25]



Figure II-3 : Le robot industriel (GT_6A)

- **Le robot MOTOMAN :**

La figure ci-dessous montre le robot présent dans la cellule réelle au niveau du poste 03 :

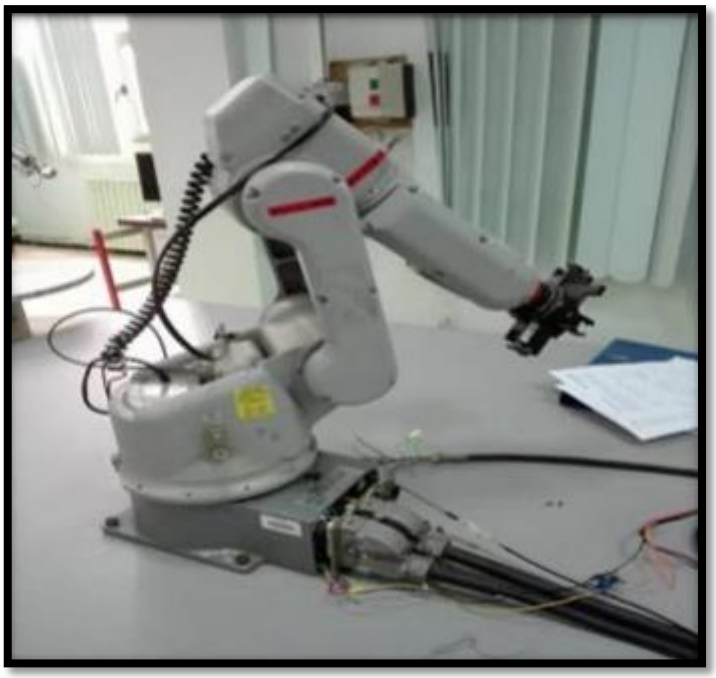


Figure II-4 : Le robot MOTOMAN

II.2.1.2 Le convoyeur

L'évolution de l'industrie a incité les fabricants à s'engager dans la recherche technologique pour faciliter l'activité et la rendre rentable. Parmi ces achèvements, un premier convoyeur a été créé, ce qui a donné naissance à d'autre convoyeurs selon le besoin du client.

Un équipement mécanique permettant d'assurer l'acheminement de matières premières, de produits finis ou semi-finis d'un poste à un autre. Il permet d'assurer, sans intervention des opérateurs, la manutention en continu et le transfert sur des distances très réduites de produits seuls ou en lot.

Notre cellule est composée principalement de quatre convoyeurs simples et d'autres incurvés sur lesquels se déplacent les paniers (palettes).

L'ensemble de tous ces convoyeurs forment un convoyeur principal sous forme d'un carré. Son sens de rotation est unidirectionnel du poste 01 vers le poste 04.

La figure suivante montre un convoyeur présent dans le logiciel de simulation :



Figure II- 5 : Un convoyeur présent sur FACTORY I/O

II.2.1.3 Un système d'identification par radiofréquence

Le système RFID utilisé dans la cellule d'assemblage provient de Siemens. Il se compose de plusieurs composants dont trois lecteurs RF380R et deux modules de communication RF180C ainsi que des étiquettes (tags) RF300.

✓ **RF380R :**

SIMATIC RF380R est un lecteur RFID à hautes performances. Il est utilisé dans les tâches d'identification sur les lignes d'assemblage dans les environnements industriels difficiles. (Voir la figure II- 6).

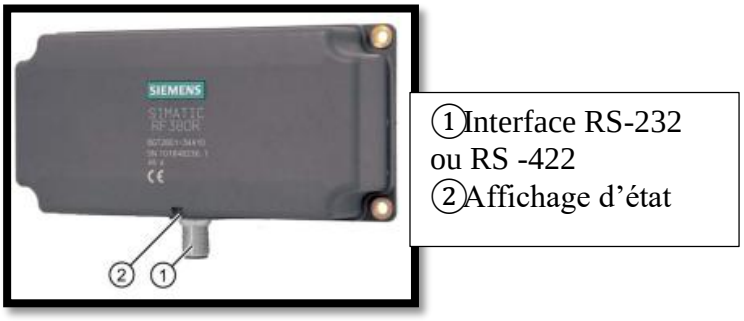


Figure II- 6: SIMATIC RF380R [26]

Ci-dessous un tableau représentatif de quelques caractéristiques techniques du SIMATIC RF380R : [26]

Tableau 1: Caractéristiques techniques du SIMATIC RF380R

Caractéristiques techniques	**Informations général**
Désignation du type de RF	SIMATIC RF380R
Fréquence de fonctionnement	13,56 MHz
Tension d'alimentation	24 VDC
Consommation de courant	160 mA
Portée maximale	200 mm
Valeur maximale de transmission radio (Lecture/Ecriture)	106 kiloBit/second
Dimensions (L x W x H)	160 x 80 x 41 mm
Poids	600 g
Interfaces de communication	RS-232/RS-422 (3964R protocol)
Antenne	Intégré

✓ **RF180C :**

L'intégration du système d'identification RF dans des automates/systèmes d'automatisation est assurée via un module de communication RF180C. [26]

✓ **Etiquettes RFID :**

Les étiquettes RFID (tags) sont équipées d'une puce connectée à une antenne qui permet à la puce de transmettre des informations (numéro de série, poids, les données, etc.) lisibles à l'aide d'un lecteur émetteur-récepteur (Voir la figure II- 7). [27]

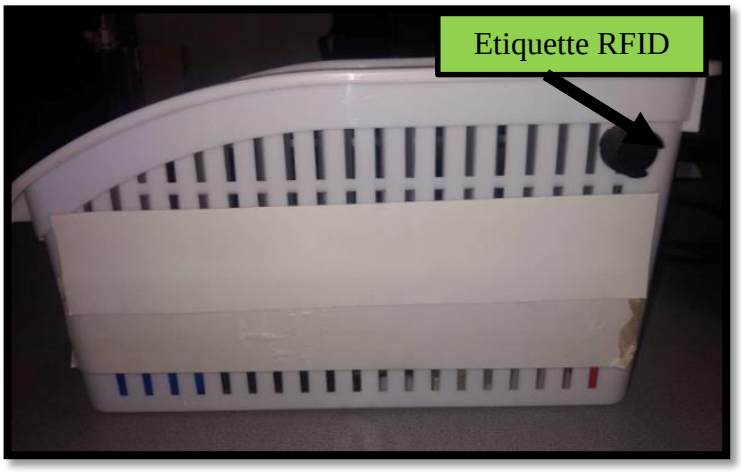


Figure II-7 : Etiquette RFID

II.2.1.4 Les capteurs photoélectriques

Parmi les capteurs utilisés au niveau de la cellule, on trouve les capteurs photoélectriques.

Un capteur photoélectrique détecte une cible, qui peut être un objet ou une personne, au moyen d'un faisceau lumineux. Ils sont principalement constitués d'émetteurs de lumière associés à des récepteurs photosensibles. [28]

Ils fonctionnent selon le principe transmissif, dans lequel l'objet détecté coupe un faisceau lumineux, généralement un rayonnement infrarouge et l'empêche d'atteindre le détecteur. Ou selon le principe réflectif, dans lequel l'objet détecté reflète un faisceau lumineux vers le détecteur. [7]

Dans notre cas, on l'utilisé au niveau de la cellule pour détecter la présence du panier (palette). (Voir la figure II- 8)

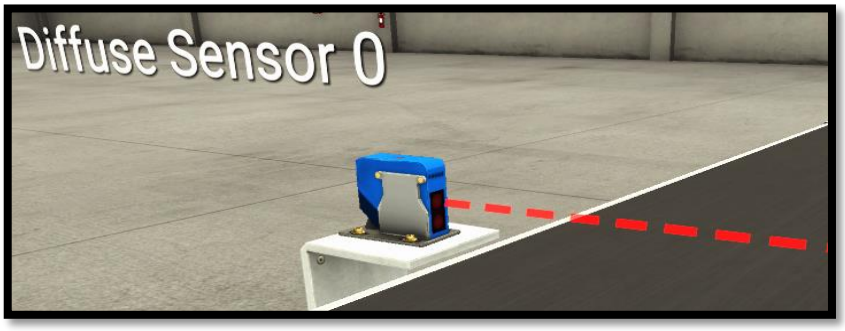


Figure II-8 : Le capteur photoélectrique présent sur FACTORY I/O

II.2.2 Partie commande

La cellule d'assemblage sur laquelle on s'intéresse est doté d'un automate S7-1500 est muni d'une CPU 1515-2PN avec d'autres modules complémentaires.

On commence par la présentation du matériel ainsi que la détermination de leurs caractéristiques :

II.2.2.1 Présentation de l'automate programmable industriel S7-1500

L'automate Siemens S7-1500 sorti le 27 novembre 2012 est la nouvelle génération d'automates et constitue une avancée majeure dans la technologie des automatismes industriels destiné pour les machines moyenne et haute de gamme.

Cette nouvelle génération de contrôleurs est caractérisée par une haute performance et une haute efficacité. Il comporte une multitude de fonctions intégrées en standard, y compris le Motion Control, les fonctions sécurité pour une sécurité maximale en production et en développement. Les fonctions de diagnostic configurables permettent de superviser l'état de l'installation, son intégration dans portail TIA permet de concevoir de simplement des projets en optimisant les couts de développement. [29]

➢ **Le S7-1500 est composé :**

- D'une alimentation électrique ①,
- D'une CPU avec écran intégré ②
- Des modules d'entrées/sorties pour les signaux TOR et analogiques ③.
- Si nécessaire aussi des processeurs de communication et des modules fonctionnels pour des tâches spéciales comme la commande de moteur pas à pas. Les 32 modules (maximum) sont montés sur un profilé-support avec un rail DIN symétrique intégré ④. (Voir la figure II- 9)

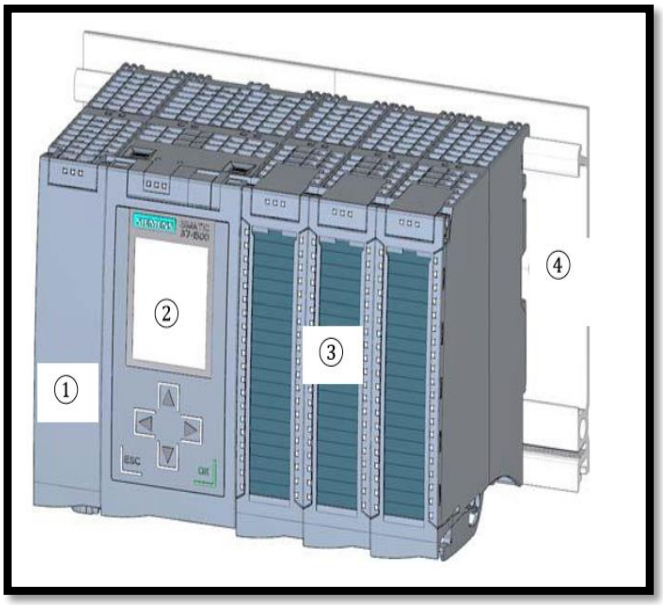


Figure II- 9: L'API S7-1500 [30]

La personnalisation et configuration de l'automate peut se faire dans le portail Totally Integrated Automation avec STEP 7 Professional.

La configuration matérielle de la station S7-1500 de la cellule d'assemblage robotisée est la suivante :

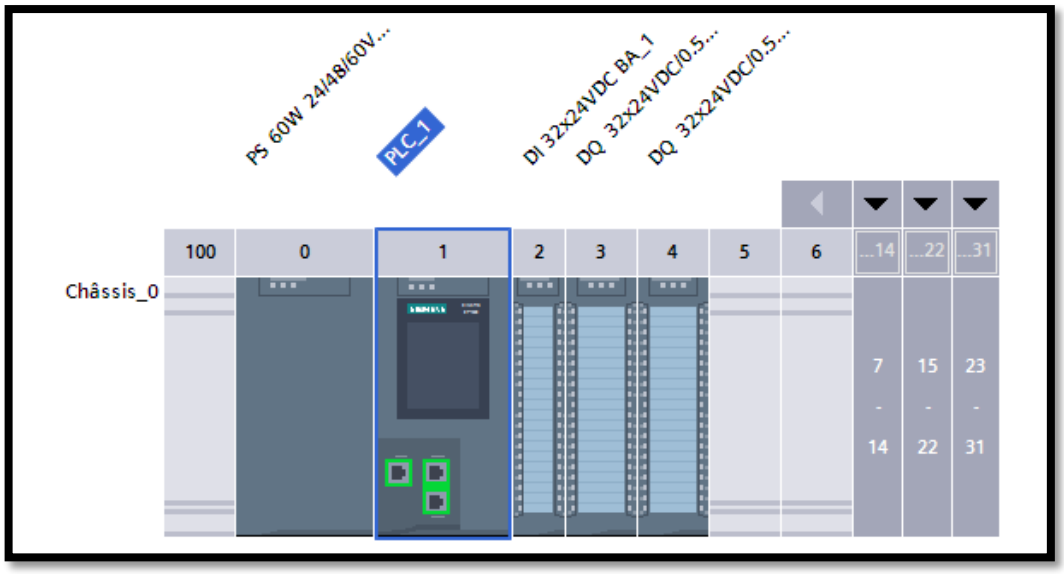
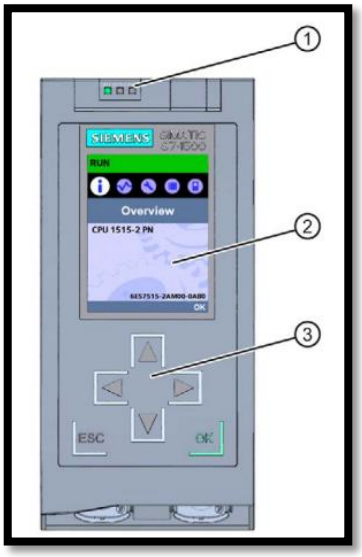


Figure II- 10 : La configuration matérielle de la station S7-1500

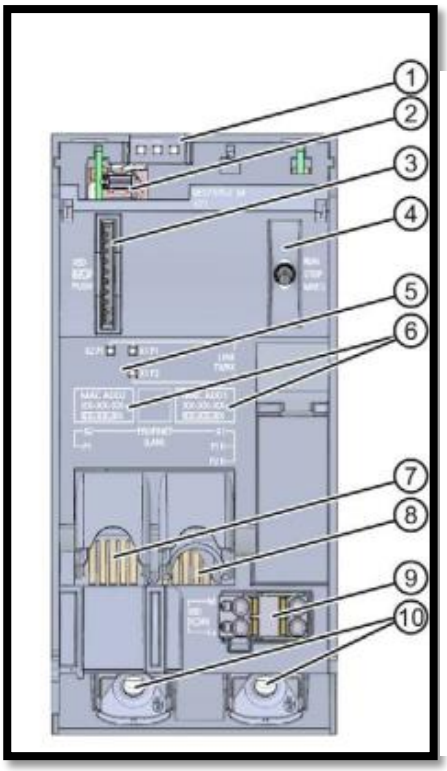
La figure suivante représente la CPU 1515-2 PN vue de face :



①LED de signalisation pour l'état de fonctionnement et l'état de diagnostic actuels de la CPU
② Ecran
③ Touches de fonction

Figure II- 11: La figure représentative de la CPU 1515-2 PN vue de face [30]

La figure suivante montre les éléments de commande et de raccordement de la CPU 1515-2 PN :



① LED de signalisation pour l'état de fonctionnement et l'état de diagnostic actuels de la CPU
② Raccordement écran
③ Logement de la carte mémoire SIMATIC
④ Sélecteur de mode
⑤ LED de signalisation pour les 3 ports des interfaces PROFINET X1 et X2
⑥ Adresses MAC des interfaces
⑦ Interface PROFINET (X2) avec 1 port
⑧ Interface PROFINET IO (X1) avec 2 ports
⑨ Raccordement de la tension d'alimentation
⑩ Vis de fixation

Figure II- 12: Vue de la CPU 1515-2 PN (sans volet frontal) face avant [30]

- **Modules d'entrées/sorties :**

Les modules d'entrées/sorties sont des interfaces pour les signaux tout ou rien de l'automate, ces modules permettent de raccorder les capteurs et les actionneurs tout ou rien à l'automate S7-1500.

✓ **Module d'entrée TOR DI32 x DC24V :**

Il permet à l'automate de recevoir des informations provenant des capteurs (Tout ou Rien).

✓ **Modules de sorties TOR DQ32 x DC24V / 0,5A :**

Le module de sorties assure le raccordement de l'automate aux différents actionneurs et pré-actionneurs tels que les moteurs et les relais. [31]

- **Bilan de consommation :**

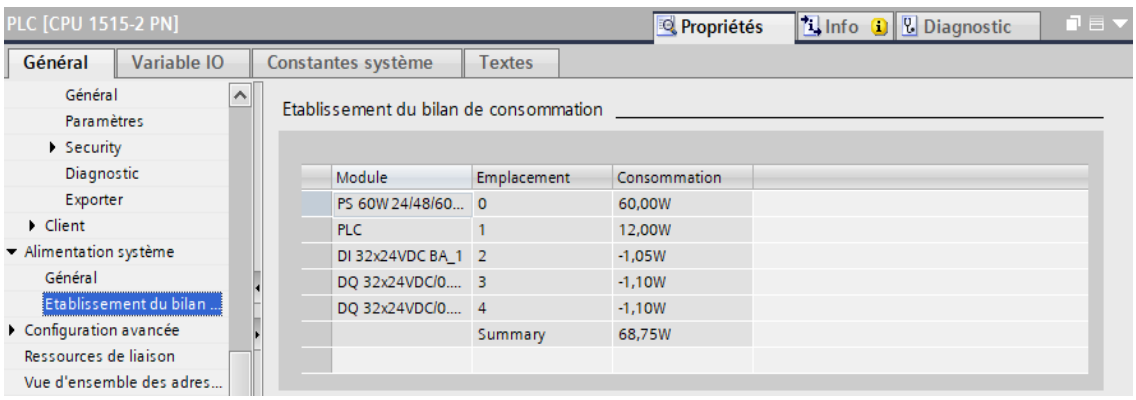


Figure II- 13 : Bilan de consommation de la CPU 1515-2PN

II.2.2.2 Une Interface Homme-Machine (IHM) :

Un système IHM (Interface Homme Machine) est une interface utilisateur ou un panneau de commande qui relie une personne à une machine, un système ou un dispositif.

Bien que le terme puisse techniquement s'appliquer à tout affichage permettant à l'utilisateur d'interagir avec un dispositif, l'IHM (Interface Homme Machine) est le plus souvent utilisée dans le contexte des processus industriels qui contrôlent et surveillent les machines de production.

L'IHM communique avec des automates programmables (PLC) et des capteurs d'entrée/sortie pour récupérer et afficher des informations à la disposition des utilisateurs. De même, ils peuvent être utilisés pour une seule fonction, comme la surveillance et le suivi, ou pour d'autres opérations, comme l'arrêt des machines ou l'augmentation de la vitesse de production, selon la façon dont ils sont mis en œuvre. [32]

Dans notre projet, on a utilisé une interface IHM de gamme TP1500 Comfort (Figure ci-dessous)



Figure II- 14: IHM de gamme TP1500 Comfort

Ci-dessous un tableau représentatif de quelques caractéristiques techniques de l'IHM TP1500 Comfort [33]:

Tableau 2: Caractéristiques techniques de l'IHM TP1500 Comfort

Caractéristiques techniques	**Informations général**
Tension d'alimentation	24V

Type d'écran	écran tactile TFT 15,4 pouces colorés avec 1280*800 pixels
Couleurs	16 M
Dimensions	415 x 310 x 75 mm
Mémoire embarquée	24 MB
Interfaces de communication	MPI/PROFIBUS DP, PROFINET/Industrial Ethernet et USB.

II.3Description du fonctionnement de la cellule réelle

Le fonctionnement de la cellule d'assemblage réelle suit les étapes suivantes :

1. L'opérateur met le panier sur le premier convoyeur, le panier contient une étiquette (Tag) RFID.
2. Si le panier est en face du capteur photoélectrique, ce dernier va être activé.
3. L'opérateur sélectionne le type de produit souhaité et confirme sa sélection via l'IHM, puis lance le démarrage du cycle.
4. Le lecteur RFID effectue deux tâches principales dans cette étape : l'écriture des données concernant le type du produit (nombre de pièces à assembler) et la lecture du numéro de série.
5. Le premier poste libère le panier et donc le convoyeur principal sera mis en marche, cela permet de déplacer le panier du poste 01 au poste 02.
6. Si le panier est au niveau du 2ème poste, et précisément en face du capteur photoélectrique ce dernier s'active, le convoyeur principal sera mis à l'arrêt.
7. Le lecteur RFID du poste 02 fait une lecture de l'étiquette présente au niveau du panier venant du poste 01 puis il fait un transfert des données reçues concernant le type du produit et le nombre de pièces qu'il faut pour chaque produit vers la CPU. Le robot GT6 fait le chargement des pièces dans le panier (en tenant compte du nombre et de type des composants) selon le type du produit.

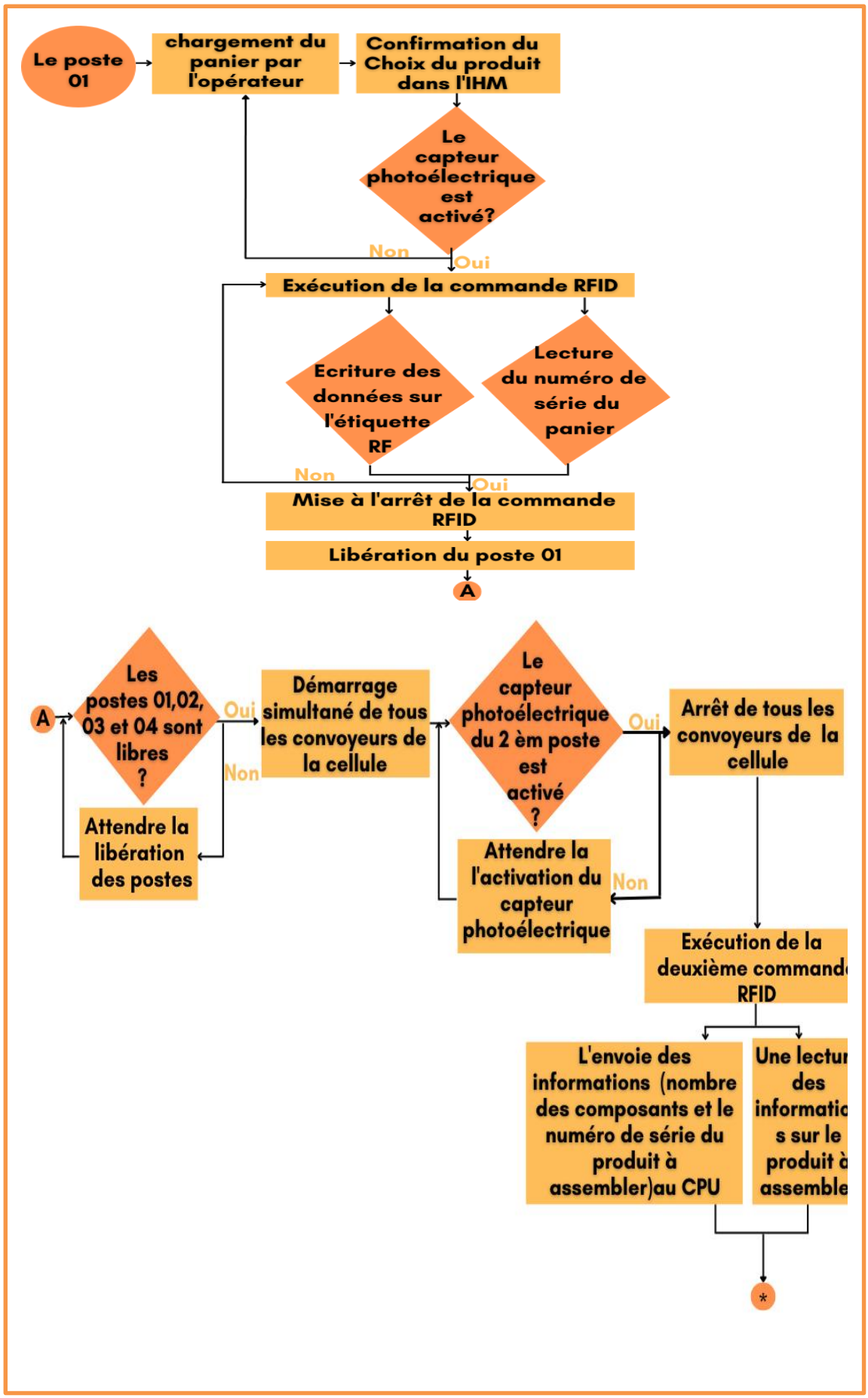
Exemple sur l'alimentation en pièce par le robot GT6 :

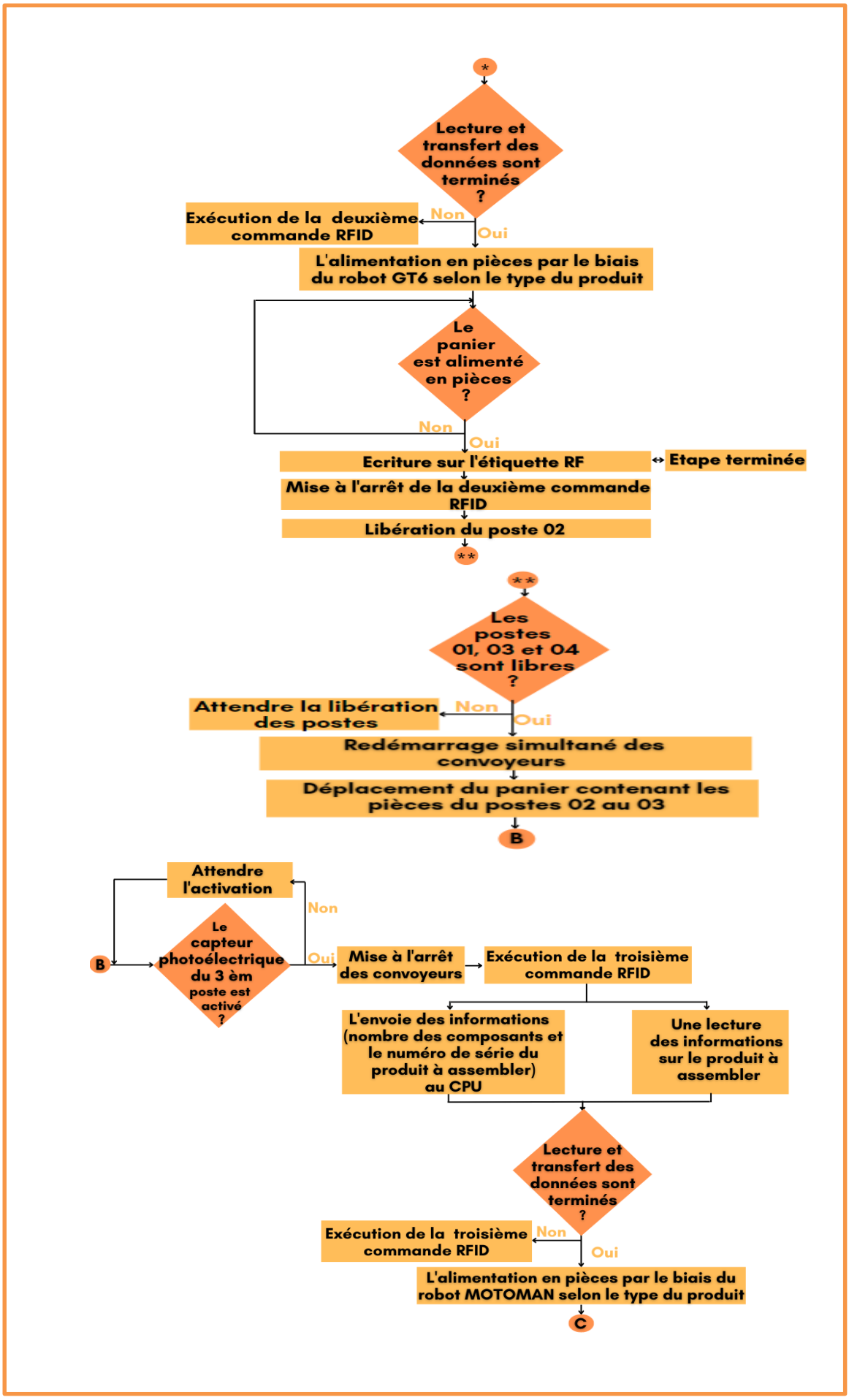
Si le produit qu'on veut assembler est substitué de deux pièces. Le robot prend le premier composant et il le met dans le panier puis il prend le deuxième et le met dans le panier aussi.

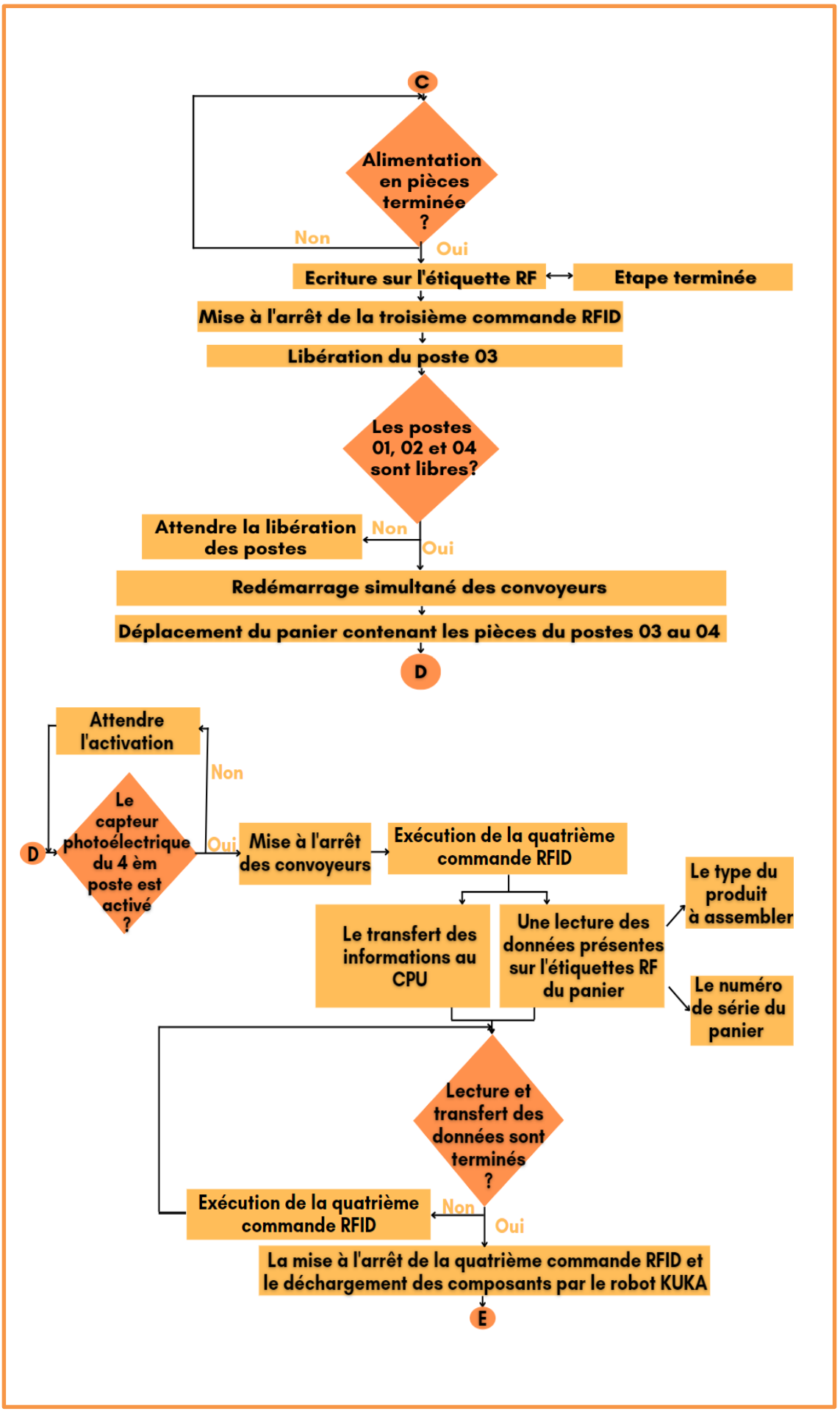
8. Si le panier est alimenté en pièces, une écriture (que cette étape est terminée et les convoyeurs sont prêts pour redémarrer) est effectuée sur l'étiquette RFID.

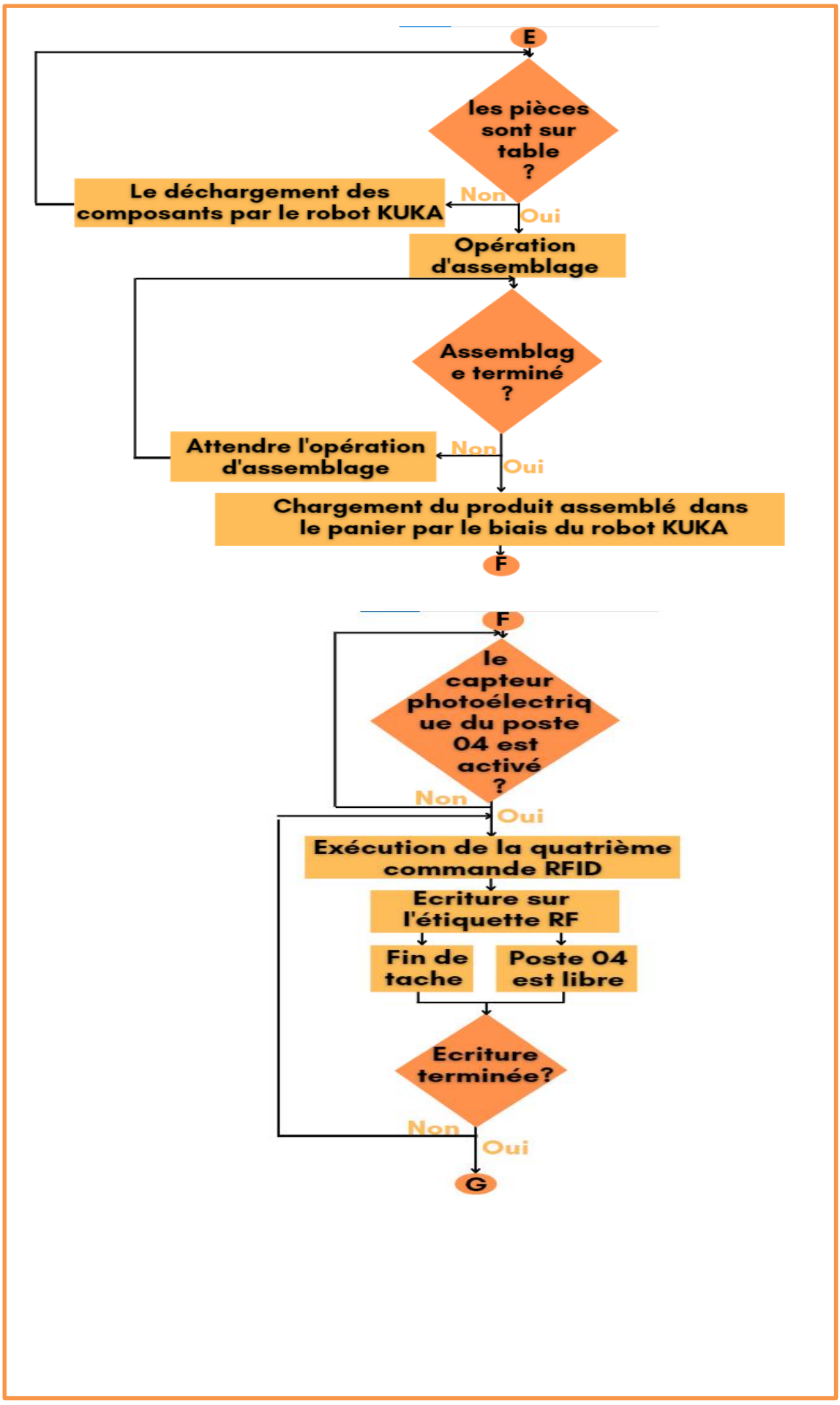
9. Une fois la tâche est effectuée et que les pièces sont chargées, une information sera écrite sur l'étiquette du lecteur RFID pour dire que la mission est accomplie et aussi le reste des postes sont libres, le convoyeur principal sera mis en marche.
10. Le panier va se déplacer du poste 02 au poste 03.
11. Une fois arrivé au niveau du poste 03 et le panier est en face du capteur photoélectrique il s'active et le convoyeur principal sera mis à l'arrêt.
12. Le lecteur RFID présent à ce poste effectue une lecture de l'étiquette puis il fait un transfert des données reçues concernant le type du produit et le nombre de pièces pour chaque produit vers la CPU. Le robot MOTOMAN fait le chargement des pièces dans le panier.
13. Si cette tâche est terminée et qu'aucun obstacle ne s'est présenté à ce poste ou sur le reste des postes une information sera écrite sur l'étiquette RFID une autre fois pour dire que la tâche est terminée et que le convoyeur principal est prêt à se mettre en marche.
14. Le panier se déplace du poste 03 au poste 04.
15. En arrivant au poste 04 une opération d'assemblage sera effectuée à ce niveau.
16. Si le panier alimenté en pièce arrive à ce poste, le capteur photoélectrique est activé et donc la mise en arrêt du convoyeur principal.
17. Le lecteur RFID effectue une lecture de l'étiquette puis il fait un transfert des données reçues concernant le numéro de série et le type du produit à assembler vers la CPU.
18. Une mise à l'arrêt de la commande RFID lors de la transmission des données, ainsi qu'un déchargement du panier par le robot KUKA LBR IIWA.
19. Ce robot prend le panier alimenté en pièces et le dépose sur la table pour réaliser une opération d'assemblage.
20. L'opérateur à son rôle prend les pièces et les dispose sur la table d'assemblage.
21. Une fois l'opération d'assemblage est terminée le robot prend le produit assemblé et le dépose une autre fois dans le panier pour le remettre sur le convoyeur principal.
22. Le panier est en face du 4ème capteur photoélectrique, ce dernier s'active. Ainsi que tous les autres postes sont libres et ils signalent aucun obstacle, le convoyeur principal va se mettre en marche pour son évacuation.
23. L'opérateur récupère le panier au niveau du poste 01, cela explique la fin du premier cycle.

Dans le but de résumé le fonctionnement de la cellule d'assemblage réelle, nous présentons ci-dessous le logigramme détaillé des quatre postes :


Le poste 01
chargement du panier par l'opérateur
Confirmation du Choix du produit dans l'IHM
Le capteur photoélectrique est activé?
Non
Oui
Exécution de la commande RFID
Ecriture des données sur l'étiquette RF
Lecture du numéro de série du panier
Non
Oui
Mise à l'arrêt de la commande RFID
Libération du poste 01
A
A
Les postes 01,02, 03 et 04 sont libres ?
Oui
Non
Attendre la libération des postes
Démarrage simultané de tous les convoyeurs de la cellule
Le capteur photoélectrique du 2 èm poste est activé ?
Oui
Non
Attendre la l'activation du capteur photoélectrique
Arrêt de tous les convoyeurs de la cellule
Exécution de la deuxième command RFID
L'envoie des informations (nombre des composants et le numéro de série du produit à assembler)au CPU
Une lectur des informatio s sur le produit à assemble
*


*
Lecture et transfert des données sont terminés ?
Non
Exécution de la deuxième commande RFID
Oui
L'alimentation en pièces par le biais du robot GT6 selon le type du produit
Le panier est alimenté en pièces ?
Non
Oui
Ecriture sur l'étiquette RF
Etape terminée
Mise à l'arrêt de la deuxième commande RFID
Libération du poste 02
**
**
Les postes 01, 03 et 04 sont libres ?
Attendre la libération des postes
Non
Oui
Redémarrage simultané des convoyeurs
Déplacement du panier contenant les pièces du postes 02 au 03
B
Attendre l'activation
Non
B
Le capteur photoélectrique du 3 èm poste est activé ?
Oui
Mise à l'arrêt des convoyeurs
Exécution de la troisième commande RFID
L'envoie des informations (nombre des composants et le numéro de série du produit à assembler) au CPU
Une lecture des informations sur le produit à assembler
Lecture et transfert des données sont terminés ?
Exécution de la troisième commande RFID
Non
Oui
L'alimentation en pièces par le biais du robot MOTOMAN selon le type du produit
C


C
Alimentation en pièces terminée ?
Non
Oui
Ecriture sur l'étiquette RF
Etape terminée
Mise à l'arrêt de la troisième commande RFID
Libération du poste 03
Les postes 01, 02 et 04 sont libres?
Attendre la libération des postes
Non
Oui
Redémarrage simultané des convoyeurs
Déplacement du panier contenant les pièces du postes 03 au 04
D
Attendre l'activation
Non
D
Le capteur photoélectrique du 4 èm poste est activé ?
Oui
Mise à l'arrêt des convoyeurs
Exécution de la quatrième commande RFID
Le transfert des informations au CPU
Une lecture des données présentes sur l'étiquettes RF du panier
Le type du produit à assembler
Le numéro de série du panier
Lecture et transfert des données sont terminés ?
Exécution de la quatrième commande RFID
Non
Oui
La mise à l'arrêt de la quatrième commande RFID et le déchargement des composants par le robot KUKA
E


E
les pièces sont sur table ?
Non
Oui
Le déchargement des composants par le robot KUKA
Opération d'assemblage
Assemblage terminé ?
Non
Oui
Attendre l'opération d'assemblage
Chargement du produit assemblé dans le panier par le biais du robot KUKA
F
F
le capteur photoélectrique du poste 04 est activé ?
Non
Oui
Exécution de la quatrième commande RFID
Ecriture sur l'étiquette RF
Fin de tache
Poste 04 est libre
Ecriture terminée?
Non
Oui
G

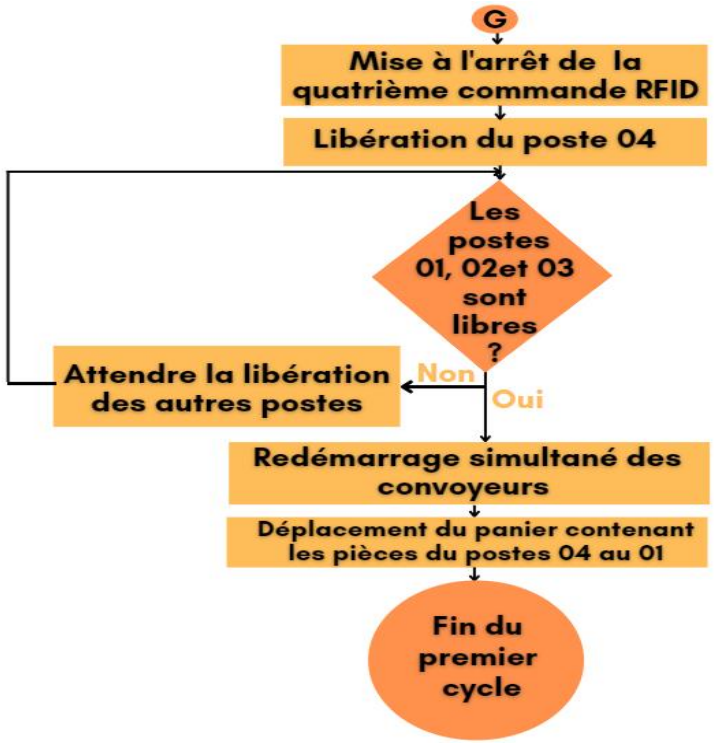


Figure II- 15 : Logigramme du fonctionnement de la cellule d'assemblage robotisée

II.4Cahier des charges

Pour décrire clairement la démarche de notre projet, on définit le cahier des charges comme suit :

- ✓ Conception d'une plateforme virtuelle proche de la cellule réelle pour faire apparaitre la notion des jumeaux numériques (Virtual Twins).
- ✓ Pilotage centralisé contrôlé par un automate programmable industriel S7-1500 en implémentant un programme qui répond au besoin du client.
- ✓ La mise en service virtuelle de la cellule conçue sur le logiciel Factory IO en communicant entre ce dernier avec le logiciel de programmation TIA PORTAL à l'aide de l'interface de communication PLCSIM Advanced V4.0 SP1.
- ✓ Supervision de la cellule virtuelle.

II.5Logiciel de simulation Factory I/O

FACTORY I/O est la nouvelle génération de logiciel de simulation 3D de systèmes industriels pour la formation aux automates programmables industriels (API) et aux technologies de l'automatisation. [34]

II.5.1Critères de choix du logiciel Factory I/O

- ✓ La possibilité de construire ses propres installations à partir d'une bibliothèque de composants standards que l'on trouve dans le monde industriel.

- ✓ L'intégration des E/S logiques et analogiques. Il est par exemple possible de peser des objets ou de mesurer le niveau d'une cuve.
- ✓ Ce logiciel intègre aussi des drivers de communication permettant de s'interfacer directement avec des Automates Programmables Industriels (API de marque SIEMENS, Allen-Bradley, Schneider Electric), avec des simulateurs d'automates au travers une connexion Modbus TCP ou un serveur OPC (Codesys), tout autre type de matériel (API, microcontrôleur…) au travers des boitiers d'E/S logiques ou analogiques.
- ✓ La présence d'un automate programmable logiciel (soft PLC), CONTROL I/O, permettant de construire de façon graphique ses propres contrôleurs, sans avoir besoin d'une partie commande matérielle ou logicielle externe. [35]

II.5.2Présentation du logiciel Factory/IO

Factory I/O est une simulation d'usine 3D pour l'apprentissage des technologies d'automatisation. Conçu pour être facile à utiliser, il permet de construire rapidement une usine virtuelle en utilisant une sélection de pièces industrielles courantes.

Il comprend également de nombreuses scènes inspirées d'applications industrielles typiques, allant du niveau de difficulté débutant au niveau avancé.

Le scénario le plus courant consiste à utiliser Factory I/O comme plate-forme de formation API, car les API sont les contrôleurs les plus courants dans les applications industrielles. Cependant, il peut également être utilisé avec des microcontrôleurs, SoftPLC, Modbus, parmi de nombreuses autres technologies.

Avec Factory IO l'utilisateur peut :

- ✓ Créer des systèmes en utilisant une bibliothèque intégrée de pièces industrielles basées sur ce qui se trouve couramment dans les installations industrielles typiques, apportant un nouveau niveau de réalisme qui ne pourrait jusqu'ici pas exister dans les salles de classe.
- ✓ Avec une interface simple et intuitive, les utilisateurs peuvent rapidement construire des systèmes par simple glissé-déposé des pièces désirées dans la scène et ensuite tester leurs capteurs et actionneurs immédiatement en exécutant la simulation à tout moment pendant le processus.
- ✓ Les utilisateurs peuvent construire un système à partir de zéro ou utiliser l'un des systèmes disponibles préconstruits pour commencer.
- ✓ L'utilisation des systèmes de simulation donne aux utilisateurs un environnement sans risque très motivant qui stimule l'apprentissage naturel et permet d'éviter les dommages liés à la mise en œuvre d'équipements industriels dangereux.

II.5.3Présentation de l'interface du logiciel Factory/IO

L'interface du logiciel est assez simple et dispose de 3 menus et plusieurs boutons permettant de gérer les caméras, d'afficher la palette, d'afficher les capteurs, d'afficher les actionneurs, d'effectuer une simulation etc…

II.5.3.1 Barre de tache de Factory I/O :

Les figures suivantes illustrent l'interface d'utilisation et la barre de tâches :

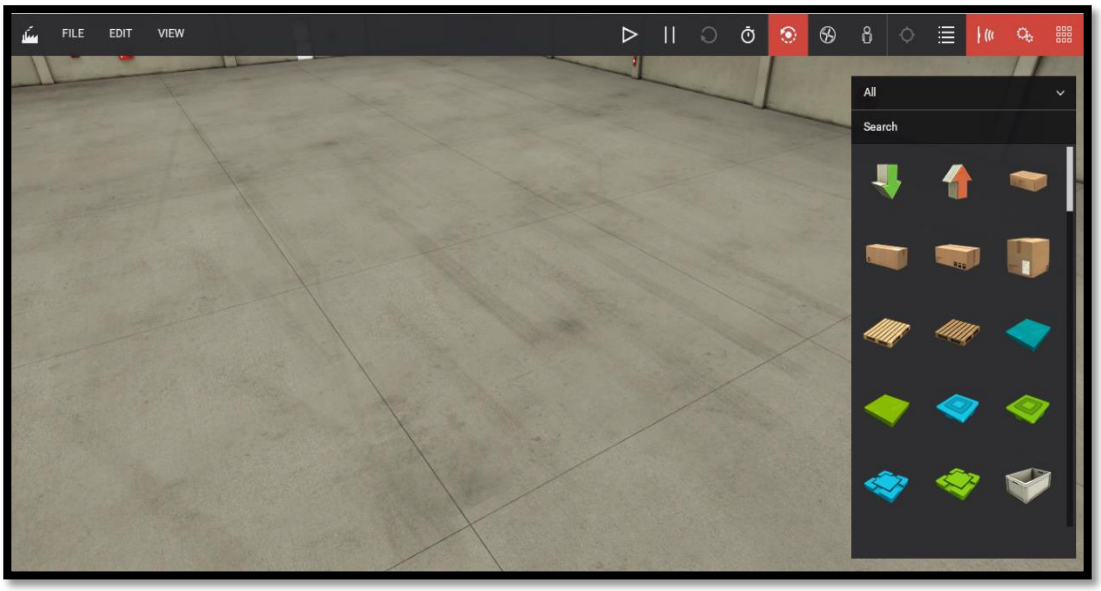


Figure II- 16: Interface d'utilisation de Factory I/O

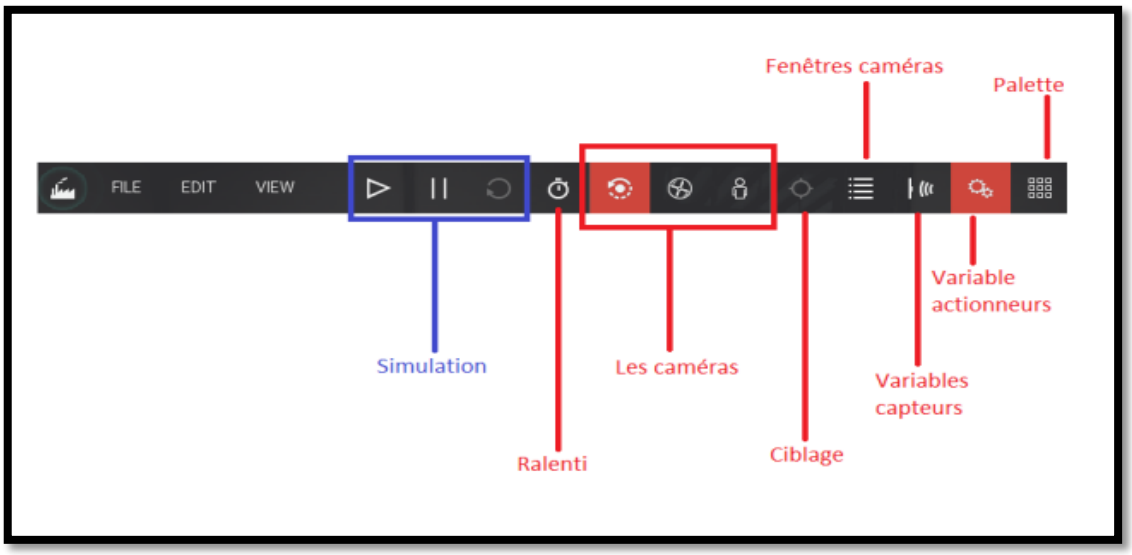


Figure II-17 : Barre de tache de Factory I/O

II.5.3.2 Les caméras :

Il y'a principalement 3 caméras :

- ✓ **Le Fly camera :** La caméra Fly est utilisée pour se déplacer librement dans l'espace 3D. Cette caméra entre en collision avec des parties de la scène mais n'est pas détectée par les capteurs.
- ✓ **L'Orbit camera :** La caméra Orbit a été conçue pour faciliter les actions d'édition, devenant ainsi la plus appropriée lors de la création de scènes.

- ✓ **Le first person camera :** représente une personne de 1,8 m (~ 5,9 pieds) de hauteur. Il doit être utilisé lors de la simulation d'une personne dans une usine. Il entre en collision avec des parties de la scène, mais il n'est pas détecté par les capteurs.

Pour manipuler ces différentes caméras, on a à utiliser les deux boutons de la souris, la molette et les touches directions du clavier.

II.5.3.3 La palette :

Au niveau de la palette se trouve les différents composants permettant de concevoir brique par brique le système automatisé. Au niveau de la palette on peut retrouver des tapis roulants, des boutons poussoirs, des voyants etc.. , comme le montre cette figure :

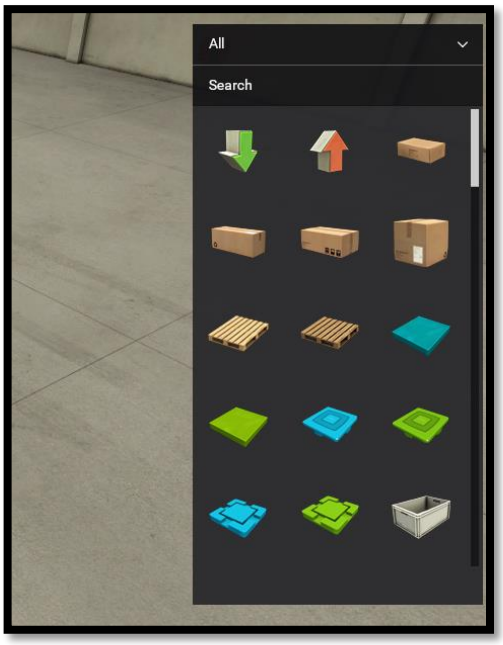


Figure II- 18: Les différents composants de la palette

II.5.3.4 Les scènes :

Pour un débutant sur le logiciel, il peut s'aider des scènes prédéfinis qui sont des systèmes déjà conçus qui nous permettront de découvrir comment fonctionne le logiciel. (Voir la figure suivante)

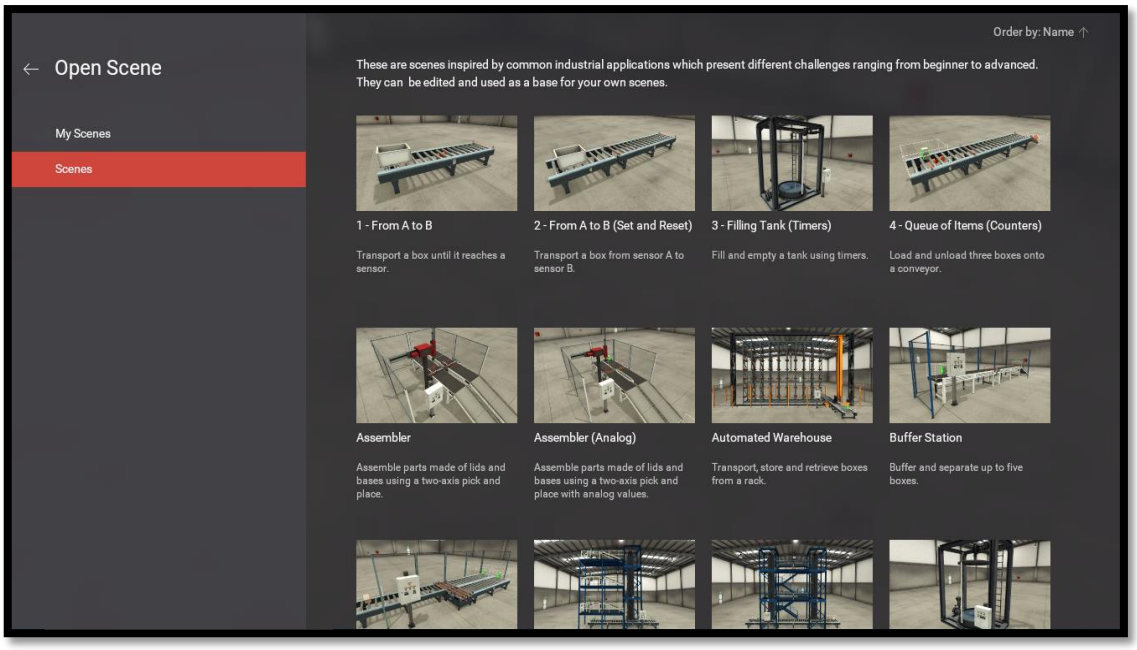


Figure II- 19: Les scènes prédéfinis sur Factory I/O

II.5.3.5 Les drivers :

Les drivers permettent de contrôler le système automatisé conçu via l'interface d'édition.

Il existe plusieurs types de drivers :

✓ Les drivers pour les automates Siemens, Schneider, Rockwell etc...

✓ Le driver Connect I/O qui est l'automate logiciel intégré à Factory I/O.

Pour activer un driver donné, on clique sur le coin inférieur droit du logiciel (voir la figure ci-dessous).

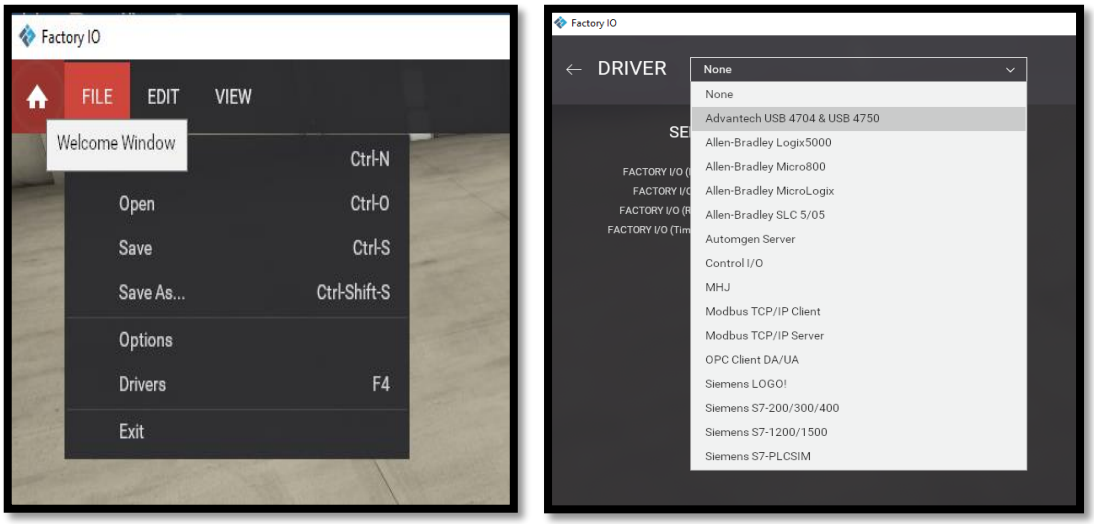


Figure II- 20: Liste des drivers

II.5.3.6 Variable Capteurs/ Actionneurs :

Cette fonction permet d'afficher ou de cacher les tags correspondants aux capteurs/actionneurs présents sur l'interface d'édition.

✓ **Capteur RFID dans Factory I/O :**

- **Le lecteur RFID :**

Le lecteur RFID peut être utilisé pour la lecture/écriture des données des tags (étiquettes) RFID. Il implémente une conception de communication à déclenchement unique où le contrôleur envoie une commande au lecteur et reçoit une réponse. Les tags RFID sont détectés dans un rayon de 0,5 m lorsqu'elles sont devant le lecteur. Il ne peut détecter qu'un seul tag.



Figure II- 21: Lecteur RFID sur Factory I/O

Les couleurs suivantes du lecteur RFID indiquent :

- Voyant vert : inactif
- LED orange : exécution de la commande
- LED rouge : erreur [36]

Le lecteur RFID virtuel dispose de :

- **Trois entrées qui sont les suivantes :**

✓ RFID Reader Status : Il représente l'état du lecteur après l'exécution de la commande par l'affichage de l'un des chiffres (de 0 à 4), le tableau ci-dessous décrit les différents états :

Tableau 3: Les différents états du RFID Reader Status

Etat	Description
0	Succès
1	ErrorNoTag
2	ErrorTooManyTags
3	ErrorInvalidIndex
4	InvalidCommand

✓ RFID Reader Read Data : Il fait la lecture des données à partir du tag.

- ✓ RFID Reader Command ID : C'est le nombre des commandes exécutées, chaque fois qu'une commande est exécutée, avec ou sans erreur, l'ID de la commande du lecteur RFID est augmenté d'une unité.

- **Quatre sorties qui sont les suivantes :**

- ✓ RFID Reader Command : Il définit la commande à exécuter par l'affichage de l'un des 5 chiffres, le tableau ci-dessous décrit les différents états :

Tableau 4: Les différents états du RFID Reader Command

Etat	Description
0	pour tester la disponibilité du tag
1	la lecture du numéro de série
2	la lecture des données
3	l'écriture des données
4	la suppression des données

- ✓ RFID Reader Execute Command : Il fait l'exécution de la commande définie.
- ✓ RFID Reader Memory Index : c'est l'indice de mémoire du tag où on effectue une opération de lecture/écriture.
- ✓ RFID Reader_ Write Data : Les données à écrire dans le tag défini par RFID Reader Memory Index.

II.6Description du fonctionnement de la cellule virtuelle

Cette partie du projet consiste à faire une modélisation proche de la cellule réelle en utilisant le logiciel de simulation 3D FACTORY I/O, comme la montre la figure ci-dessous :

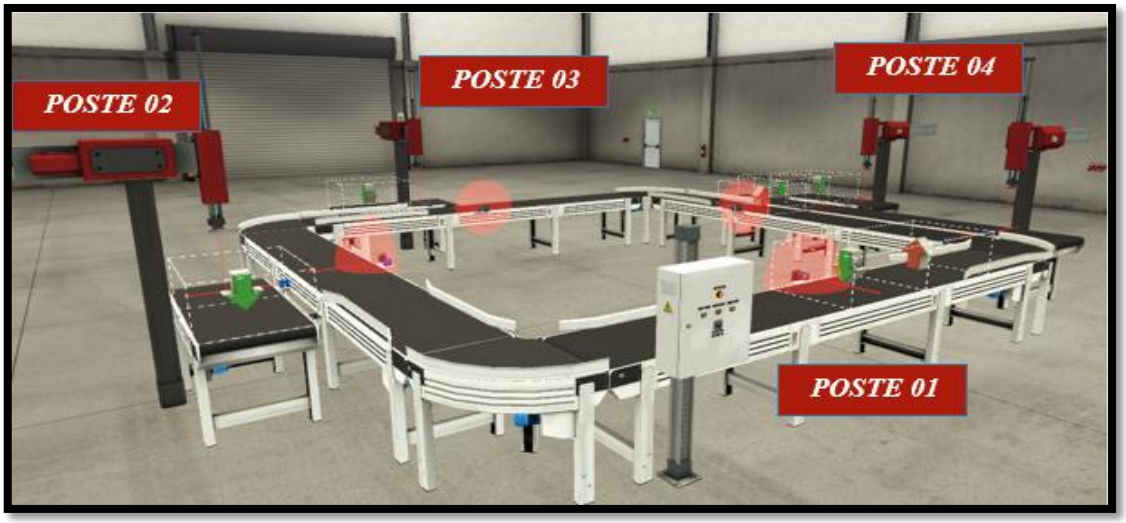


Figure II- 22 : Représentation de la cellule d'assemblage robotisé virtuelle

Plusieurs modifications ont été introduites dans la cellule virtuelle comparant avec ce qui est présent au niveau de la cellule réelle en raison des fonctionnalités existantes dans le logiciel de simulation FACTORY/IO :

- La zone de chargement et la zone de déchargement (émetteur et rétracteur) du panier remplace l'opérateur dans le poste 01,02 et 03.
- Le robot GT6 au poste 02 et le robot MOTOMAN au poste 03 présents dans la cellule réelle seront remplacés par les stations Pick & Place 01 et 02 respectivement.
- Le robot KUKA LBR ILWA est modélisé par deux stations Pick & Place dans le poste 04.
- Le rétracteur du poste 04 remplace la récupération du panier par le robot KUKA.

II.6.1 Les composants de la cellule virtuelle

La cellule d'assemblage robotisé se compose de quatre postes qui incluent :

- ✓ 04 convoyeurs (Belt Convoyer) de (6m pour chacun).
- ✓ 04 convoyeurs incurvés (curved belt conveyor) (pour ne pas perdre le panier et les pièces).
- ✓ Des capteurs photoélectriques et 04 lecteurs RFID.
- ✓ 03 convoyeurs secondaires de 2m (deux pour l'alimentation en pièces et l'autre pour l'assemblage) et un convoyeur de 6m pour transporter le produit assemblé vers la station Pick & Place 04.
- ✓ 04 stations Pick and Place.
- ✓ Des aligneurs, cinq émetteurs (Emitters) et deux rétracteurs (Removers).
- ✓ Une armoire électrique.

On commence par détailler chaque poste à part :

➢ **Poste 01 :** il se compose de

- ✓ L'armoire électrique **:** elle contient des boutons (auto, start, reset, stop et Emergency stop).
- ✓ Le premier convoyeur (6m) et les deux convoyeurs incurvés.
- ✓ Un émetteur qui remplace l'être humain pour faire l'émission des paniers.
- ✓ Un rétracteur pour modéliser la récupération du panier par l'être humain.
- ✓ Un capteur photoélectrique pour détecter la présence du panier.
- ✓ Un lecteur RFID.

N.B :

Pendant un cycle, la cellule permet le chargement de quatre (04) paniers (palettes) et chaque panier supporte au maximum quatre (04) pièces (composants).

Son rôle :

- Le chargement du panier (par l'émetteur) par l'opérateur.

- Dès que le capteur photoélectrique est activé et la fonction du lecteur RFID est terminée le convoyeur principal sera mis en marche pour diriger le panier vers le 2ème poste.
- Le déchargement des pièces assemblées dans le poste 04.

Cette figure représente le premier poste et ses composants :

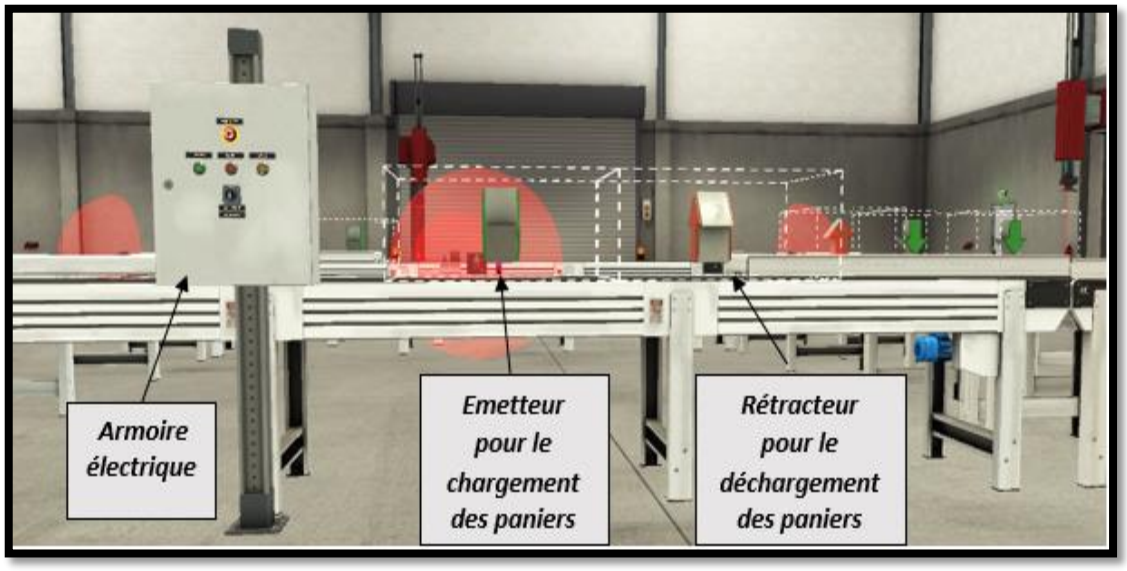


Figure II-23 : Vue du poste 01

➢ **Poste 02 :** il se compose de :

✓ Un deuxième convoyeur (6m) et un convoyeur incurvé pour diriger le panier vers le poste 03 après le chargement des pièces.
✓ Un capteur photoélectrique.
✓ Un lecteur RFID.
✓ La station Pick and Place pour faire le chargement des pièces dans le panier (qui remplace le robot GT6), elle est dotée de :

- Un convoyeur secondaire (2m) avec un capteur photoélectrique.
- Un émetteur (pour donner les pièces à assembler).
- Pick & Place.

Son rôle :

- Si la mission est achevée par le lecteur RFID, les pièces à assembler seront chargées dans le panier (grâce à la station Pick and place), ensuite le convoyeur principal va le guider vers le poste 03.

La figure ci-dessous montre le deuxième poste :

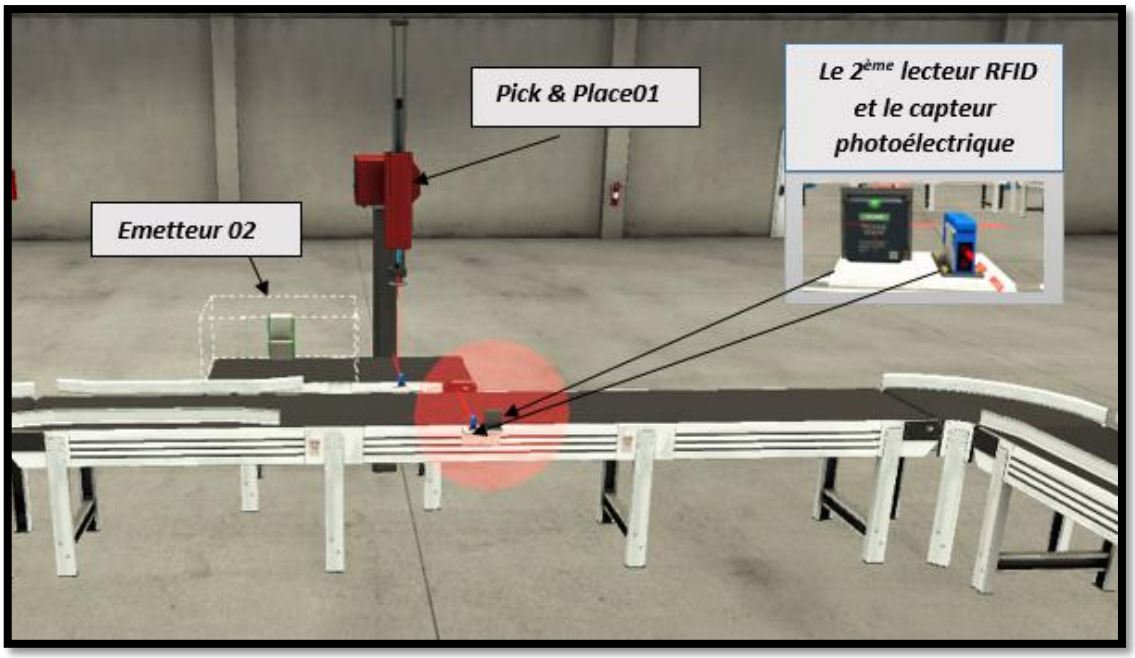


Figure II- 24: Vue du poste 02

➢ **Poste 03 : il est constitué de (Voir la figure ci-dessous):**

✓ Un troisième convoyeur (6m) et le convoyeur incurvé.
✓ Un capteur photoélectrique.
✓ Un lecteur RFID.
✓ Une station Pick & Place dotée de :

- Un convoyeur secondaire (2m) et un capteur photoélectrique.
- Un émetteur.
- Pick & Place.

Son rôle :

- L'alimentation en pièces par le bais de station P&P.
- Diriger le panier contenant les composants vers le 4ème poste.

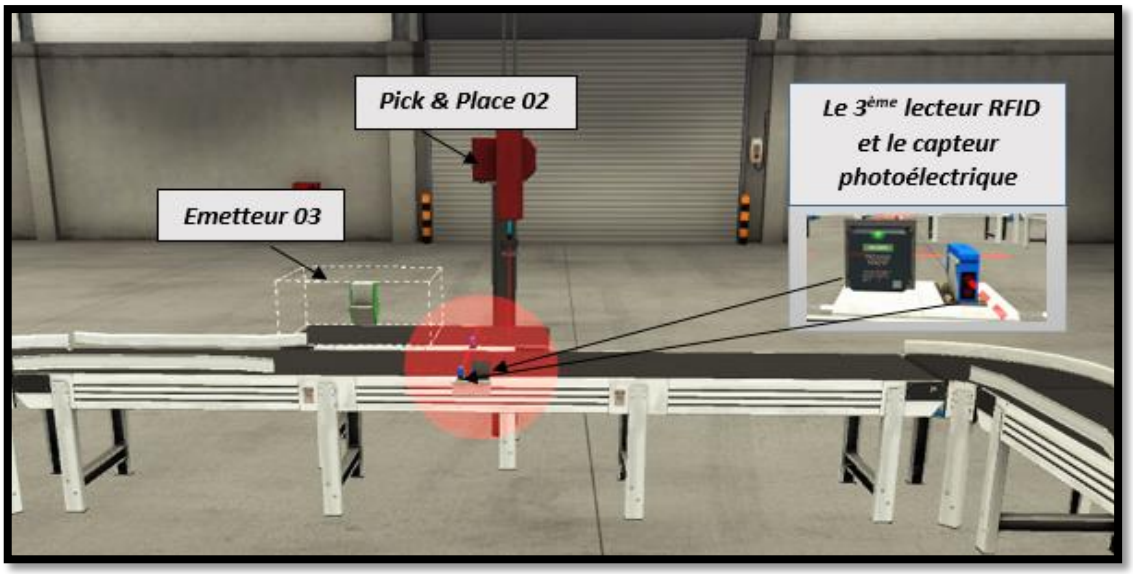


Figure II- 25: Vue du poste 03

➢ **Poste 04 : il se compose de :**

✓ Un rétracteur.
✓ Deux capteurs photoélectriques et un lecteur RFID.
✓ Un quatrième convoyeur de 6m.
✓ Station Pick & Place : Elle est dédiée pour faire une modélisation d'assemblage, elle est dotée de :

- Deux convoyeurs secondaires (2m et 6m).
- Trois capteurs photoélectriques.
- Deux émetteurs.
- Deux Pick & Place (03 et 04).

Son rôle :

- Opération d'assemblage des pièces.
- Evacuation des pièces assemblées vers le poste 01.

Cette figure montre le quatrième poste et son équipement :

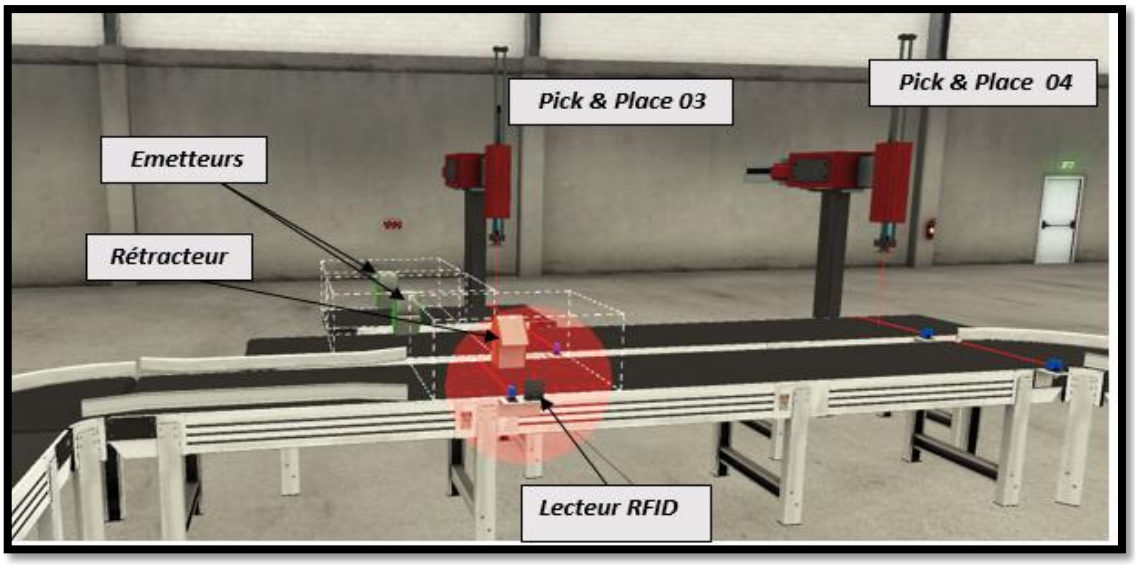


Figure II- 26: Vue du poste 04

II.6.2Fonctionnement de la cellule virtuelle

On peut représenter les étapes du fonctionnement de la cellule pendant un cycle comme suit :

1) L'opérateur met le panier sur le premier convoyeur : est modélisé par la mise en marche de l'émetteur. Il contient une étiquette (Tag) RFID.
2) Si le panier est en face du capteur photoélectrique, ce dernier va s'activer.
3) L'opérateur sélectionne le type de produit souhaité et confirme sa sélection via l'IHM, puis lance le démarrage du cycle.
4) Le lecteur RFID effectue l'écriture des données pour les deux postes 02 et 03 concernant le type du produit (nombre de pièces à assembler).
5) Le premier poste libère le panier et donc le convoyeur principal sera mis en marche cela permet de le déplacer du poste 01 au poste 02.
6) Si le panier est au 2ème poste, le capteur photoélectrique se déclenche par conséquent le convoyeur principal s'arrête.
7) Le lecteur RFID du poste 02 fait une lecture de l'étiquette venant du poste 01 puis transmet les données reçues vers la CPU pour être envoyé vers la station Pick & Place.
8) L'émetteur de la station Pick & Place du poste02 charge les pièces à assembler selon le type du produit.
9) Le convoyeur secondaire de ce poste se met en marche jusqu'à l'activation de son capteur photoélectrique, il s'arrête dès que le capteur détecte les pièces.La station Pick and Place va saisir les pièces selon le type du produit et les mettre dans le panier.
10) Une fois le poste 01 est libre et les pièces sont chargées, le convoyeur principal sera mis en marche.
11) Le panier va se déplacer du poste 02 au poste 03.

12) En arrivant au poste 03, le capteur photoélectrique s'active et le convoyeur principal sera mis à l'arrêt.
13) Le lecteur RFID de ce poste effectue la lecture puis transmet des données reçues vers la CPU et les transférer vers la station Pick & Place.
14) L'émetteur du poste 03 fournit les pièces à assembler.
15) Le convoyeur secondaire de ce poste se met en marche jusqu'à l'activation de son capteur photoélectrique, il s'arrête une fois que les pièces sont détectées.
16) La station Pick and Place va résulter les pièces selon le type du produit et les remplir dans le panier par le biais du robot.
17) Si cette tâche est terminée et qu'aucun obstacle n'est notifié sur tous les postes, le convoyeur principal est prêt à se mettre en marche.
18) Le panier se déplace du poste 03 au poste 04.
19) Arrivé au poste 04 une opération d'assemblage s'effectue à ce niveau.
20) Si le capteur photoélectrique de ce poste est activé, le rétracteur se met en marche pour la récupération du panier venant du poste 03.
21) Les deux émetteurs se mettent en marche simultanément puis les convoyeurs secondaires s'activent jusqu'à l'activation des deux capteurs photoélectriques.
22) A l'arrêt des deux convoyeurs le Pick & Place 03 prend la première pièce (qui est mise sur le convoyeur secondaire de 2m) et l'assemble sur celle qui est sur le convoyeur secondaire de 6m.
23) Dès que l'assemblage est terminé, le convoyeur secondaire de 6m se met en marche jusqu'à l'activation du capteur photoélectrique qui est en face du Pick & Place 04.
24) Une fois le produit assemblé est en face du Pick & Place 04, ce dernier le prend et le met sur le convoyeur principal.
25) A la libération de tous les postes, le convoyeur va se mettre en marche pour guider le produit assemblé vers le premier poste.

CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons exposé les éléments principaux de la cellule d'assemblage robotisée réelle ainsi que le fonctionnement de cette dernière, puis nous avons donné une brève présentation sur le logiciel de virtualisation utilisé, le Factory IO, qui nous a permis d'éclaircir le terme de jumeau numérique en créant une plateforme virtuelle suivant le modèle réel.

Chapitre III

Chapitre III : Programmation et implémentation du programme

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous éclairerons l'utilisation de la mise en service virtuelle dans ce projet, nous présenterons le logiciel sur lequel se fera l'implémentation de notre programme, puis nous aborderons la communication entre ce dernier et le Factory I/O en utilisant le PLCSIM Advanced. Pour conclure ce chapitre nous expliquerons le fonctionnement de quelques parties consistantes de notre programme.

III.1 Mise en service virtuelle

Le jumeau numérique est conçu et développé par le logiciel d'automatisation en 3 dimensions Factory I/O à partir des informations existantes dans le modèle réel.

Il est testé et contrôlé en implémentant un programme dans le logiciel TIA PORTAL V16. Les deux logiciels communiquent entres eux par l'interface de communication PLCSIM Advanced V4.0 SP1 qui représente un pont de liaison entre ces deux derniers pour atteindre la mise en service virtuelle (Voir la figure III- 2)



Figure III- 1: Schéma explicatif de la mise en service virtuelle

III.2 Logiciel de programmation TIA PORTAL

III.2.1 Description du logiciel TIA PORTAL

La plateforme Totally Integrated Automation Portal est le nouvel environnement de travail Siemens qui permet de mettre en œuvre des solutions d'automatisation avec un système d'ingénierie intégré comprenant les logiciels SIMATIC WinCC pour les interfaces homme-machine et SIMATIC STEP 7 pour la programmation d'automates programmables industriels pour les gammes suivantes :

- ✓ SIMATIC-S7 1200
- ✓ SIMATIC S7-1500
- ✓ SIMATIC Drive Controller
- ✓ SIMATIC S7-300
- ✓ SIMATIC S7-400
- ✓ SIMATIC ET200 CPU

TIA Portal contient un large éventail de fonctions et d'options pour l'entreprise numérique, afin de relever les défis de l'Industrie 4.0. Parmi ces caractéristiques on mentionne :

- Apprentissage réduit grâce à l'intégration directe et une interface commune à tous les éditeurs de programme.
- Développement plus rapide des programmes grâce aux éditeurs de programme intelligents performants.
- Réalisation rapide d'une application grâce à une bibliothèque performante qui permet de réutiliser des éléments existants du projet
- Moins d'erreurs grâce à une gestion commune des variables qui accroît la cohérence des données de qualité du projet
- Réduction des temps d'immobilisation des machines grâce au diagnostic système intégré et à des outils de mise en service optimisés.
- Application industrielle étendue grâce aux fonctions motion, entraînements et sécurité intégrées.
- Protection accrue de l'accès à des machines et données de projet grâce à des dispositifs de sécurité moderne. [37]

Dans notre projet, nous allons utiliser la version 16 du logiciel TIA PORTAL qui permet aux utilisateurs d'accroître la qualité de leurs programmes, et également de générer et de réaliser des tests de programme avec le contrôleur virtuel S7 - PLCSIM **Advanced**. Cela permet de réduire les temps d'ingénierie et de mise en service. [38]

III.3 PLCSIM Advanced V4.0 SP1

PLCSIM Advanced est la base des solutions software-in-the-loop pour la mise en service virtuelle. Avec SIMATIC S7-PLCSIM Advanced, des contrôleurs virtuels pour simuler des contrôleurs basés sur S7-1500 peuvent être créés et utilisés pour une simulation étendue des fonctions.

La version V4.0 SP&1 de ce PLCSIM est compatible avec les projets TIA PORTAL des versions V14 à V17 et il nous permet d'avoir un mode de fonctionnement plus récent pour une meilleure simulation des fonctions de commande de mouvement dans le S7-1500 (Voir la figure suivante). [39]

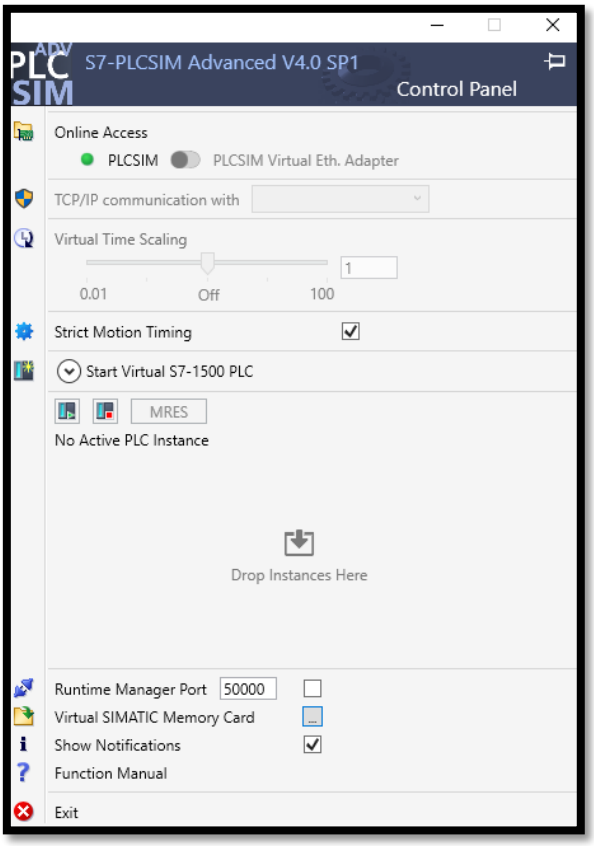


Figure III- 2: S7-PLCSIM Advanced V4.0 SP1

III.4 Communication entre PLCSIM Advanced et le logiciel TIA PORTAL

III.4.1 Configuration du S7-PLCSIM Advanced avec TIA PORTAL

Pour configurer le contrôleur virtuel S7-PLCSIM Advanced avec le TIA PORTAL, on suit les étapes suivantes :

1) On commence par ouvrir le panneau de configuration PLCSIM Advanced.
2) On Spécifie un nom de l'instance. S7-PLCSIM Advanced doit être configuré avec un nom d'instance défini sur factoryio.
3) Puis on clique sur start, après quelques secondes, l'instance active peut être visualisée ci-dessous. Cette instance n'est pas encore configurée, elle ne peut donc pas être basculée en mode Run. Cela sera fait dans la section suivante.

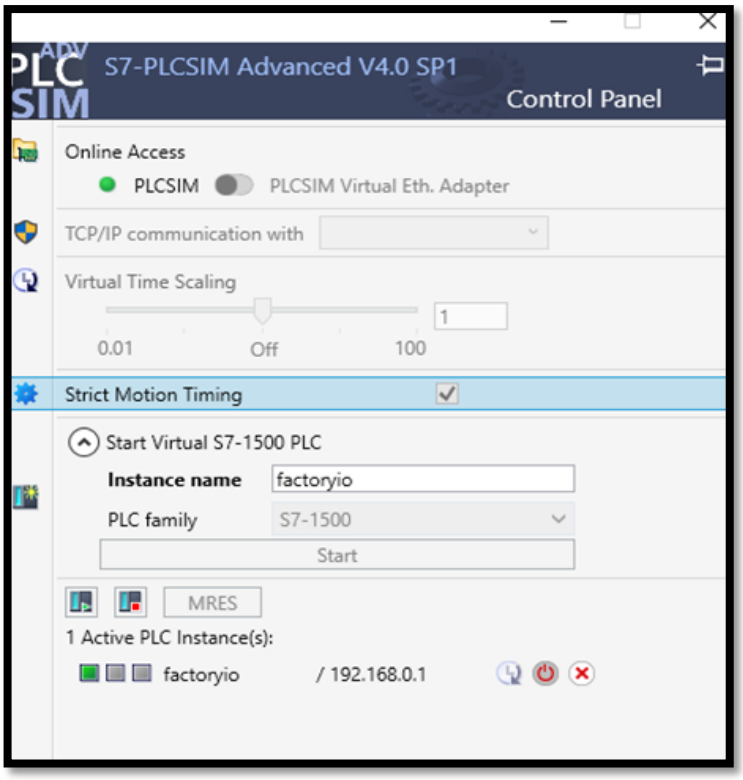


Figure III- 3: Panneau de configuration PLCSIM Advanced

III.4.2 Démarrage de TIA PORTAL et configuration de l'instance active

1) On ouvre le TIA PORTAL puis le fichier déjà configuré pour notre cellule d'assemblage robotisée.

Le contrôleur déjà choisi est un SIMATIC S7-1500 muni d'une CPU 1515-2PN avec d'autres modules complémentaires pour la configuration matérielle comme le montre la figure III-4 :

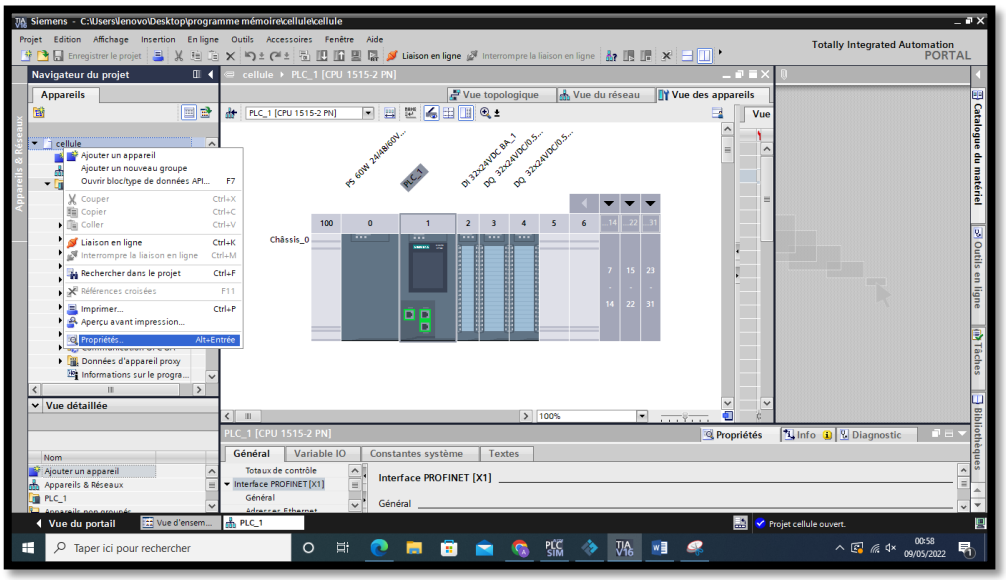


Figure III- 4: Vue du projet sur TIA Portal

2) Dans la fenêtre Aperçu du chargement, on compile puis on charge le programme.

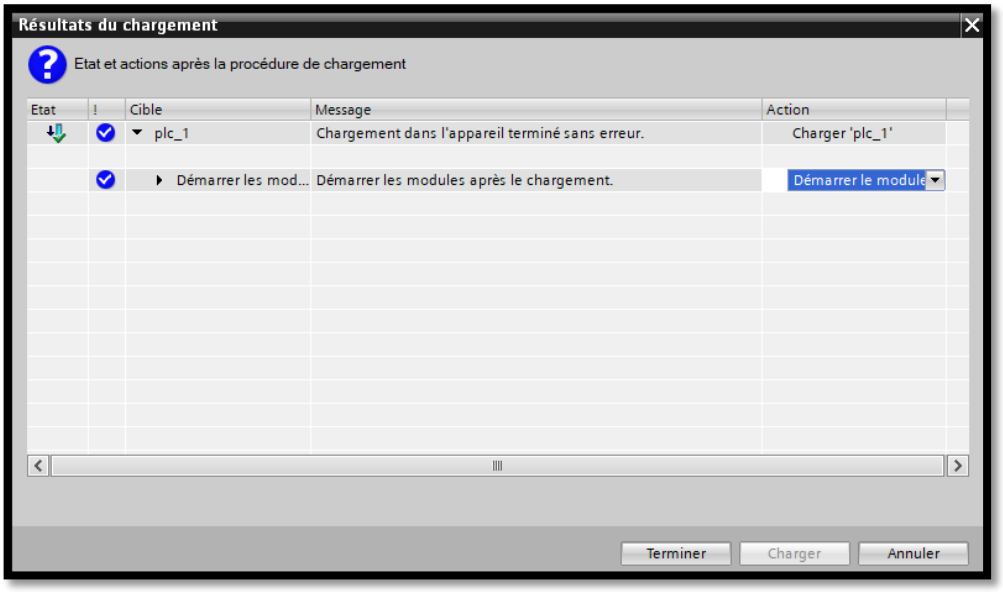


Figure III-5: Aperçu du chargement du programme

III.4.3 Connexion des Entrées/Sorties de FACTORY/IO avec S7-PLCSIM

1) On ouvre Factory I/O et on sélectionne **Fichier > Drivers**.

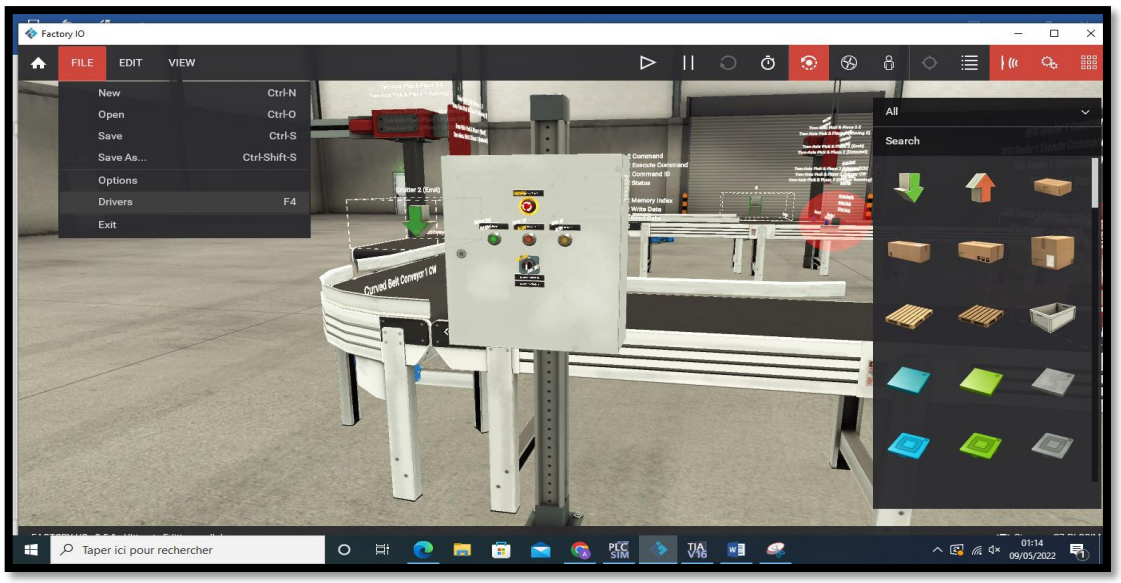


Figure III- 6 : Sélection de l'option Drivers

2) On sélectionne **Siemens S7-PLCSIM** dans la liste déroulante des pilotes comme l'indique la figure suivante :

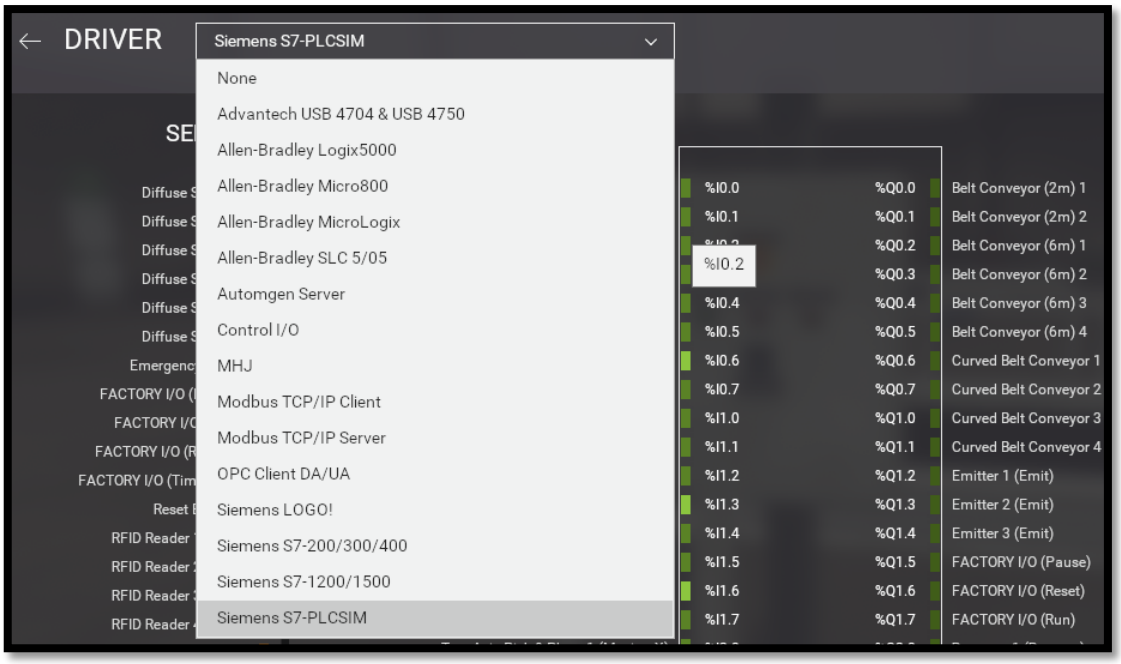


Figure III- 7: Choix du driver sur Factory I/O

3) On clique sur **CONFIGURATION** pour ouvrir le panneau de configuration du pilote. On sélectionne **S7-1500 (S7-PLCSIM Advanced)** dans la liste déroulante **Modèle.**

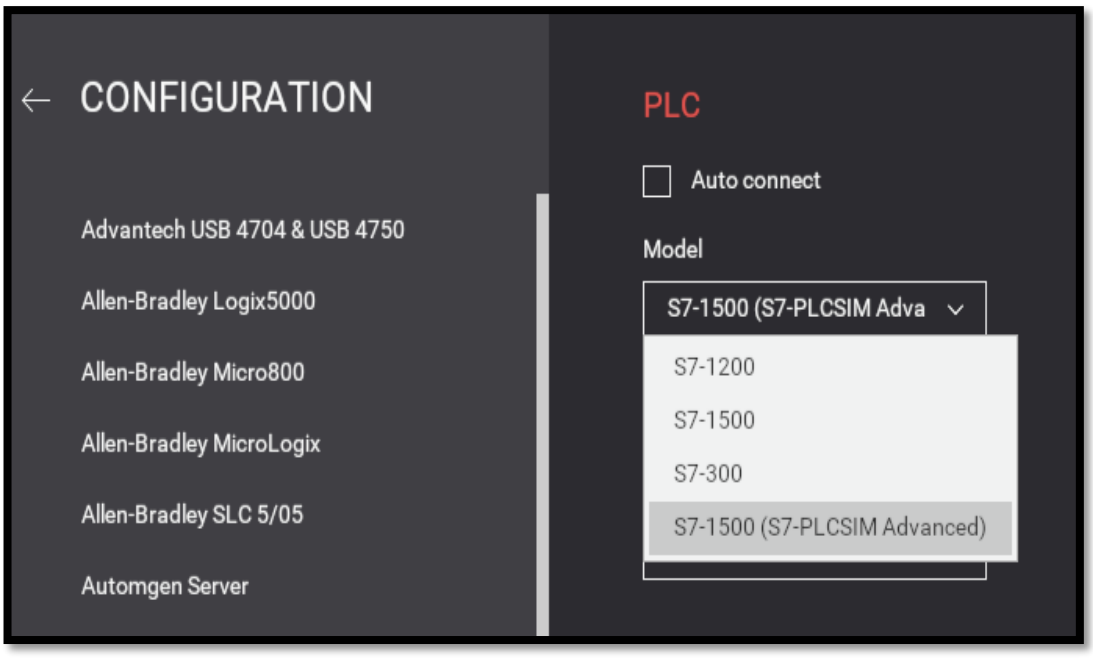


Figure III-8: Fenêtre de configuration du driver SIEMENS S7 PLCSIM sur Factory I/O

4) On clique maintenant sur **CONNECT** pour se connecter au simulateur. Une connexion réussie est indiquée par une icône verte à côté du pilote sélectionné, ainsi qu'à côté du nom du pilote affiché dans la barre d'état.(Voir la figure III- 9)

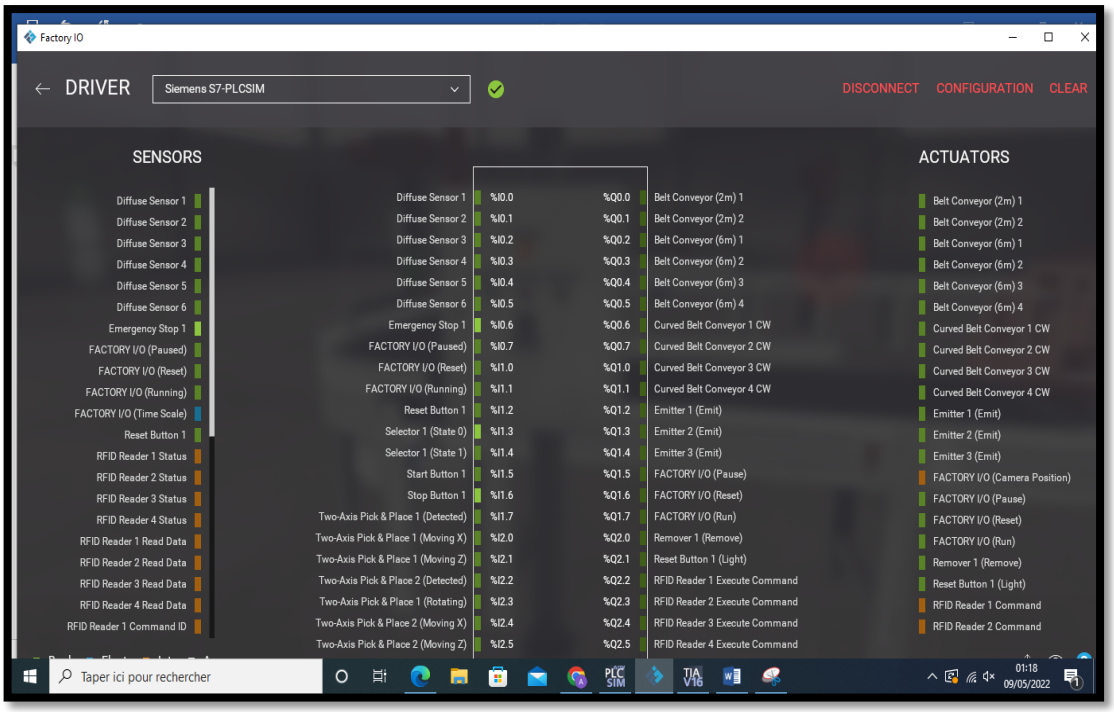


Figure III-9: Fenêtre indiquant la réussite de connexion entre l'API et le Factory I/O

III.5 Programmation de la cellule virtuelle

Dans cette partie du chapitre, on va expliquer le fonctionnement de quelques réseaux programmés sur le logiciel TIA PORTAL qui met à notre disposition plusieurs types de langage de programmation : CONT, LIST, GRAPH, SCL…

Et pour cela, au long de la programmation de la cellule d'assemblage robotisé virtuelle on a programmé en utilisant le langage CONT.

III.5.1 Langage de programmation CONT (schéma à contacts)

Le schéma à contact CONT est un langage de programmation graphique. La syntaxe de ses instructions s'inspire des schémas à relais : CONT permet de suivre facilement le flux d'énergie circulant via des entrées, des sorties et des opérations entre les barres d'alimentation.

Le langage de programmation CONT met en disposition tous les éléments nécessaires à la création d'un programme utilisateur complet. Il dispose d'un jeu d'opérations très important, de diverses opérations de base différentes ainsi que d'une large palette d'opérandes et d'adressages. Cela vaut également pour le concept des fonctions et des blocs fonctionnels qui permettent de structurer clairement un programme CONT.

Le langage de programmation CONT fait partie du logiciel de base STEP 7. [40]

En principe, l'ensemble des réseaux programmés sur le logiciel TIA PORTAL s'est basé sur :

1) L'écriture et la lecture des données par le lecteur RFID :

- L'écriture dans le premier poste.
- La lecture dans les postes 02,03.

2) Le chargement et déchargement du panier (palette).
3) La mise en marche et de l'arrêt du convoyeur principal (ensemble de tous les convoyeurs).
4) L'alimentation en pièces par le biais de la station Pick & Place (des deux postes 02 et 03).
5) L'opération d'assemblage au poste 04 par le biais de la station Pick & Place.

III.5.2 L'écriture et la lecture des données du lecteur RFID

III.5.2.1 Le principe de l'écriture

Au niveau du poste 01 on doit faire toutes les écritures nécessaires pour le fonctionnement des postes (02, 03).

Si l'opérateur a choisi le type de produit à assembler, il a lancé le départ cycle et l'émetteur est mis en marche (le panier est en face du lecteur RFID) alors on fait un transfert des valeurs suivantes :

- ✓ L'affectation d'une valeur de 0 à 128 DWORD à la variable RFID Reader Memory Index (pour réserver l'adresse de la case mémoire).
- ✓ L'affectation de la valeur de donnée (dont on veut écrire dans la case mémoire) à la variable RFID Reader Write Data.
- ✓ Mettre la valeur 3 dans la variable RFID Reader Command pour définir la commande d'écriture (voir le tableau 5).
- ✓ Exécution de la commande (mise à 1 de la sortie RFID Execute Command).
- ✓ Si la variable RFID Command ID s'est incrémentée par 1 alors on met à 0 la sortie RFID Execute Command.
- ✓ Si la première exécution est terminée, on procède de la même méthode pour la 2ème écriture.

➢ **Programme d'écriture au niveau du poste 01 :** (Voir les figures ci-dessous) :

- Si l'émetteur 01 est mis en marche alors on affecte les valeurs suivantes aux variables :

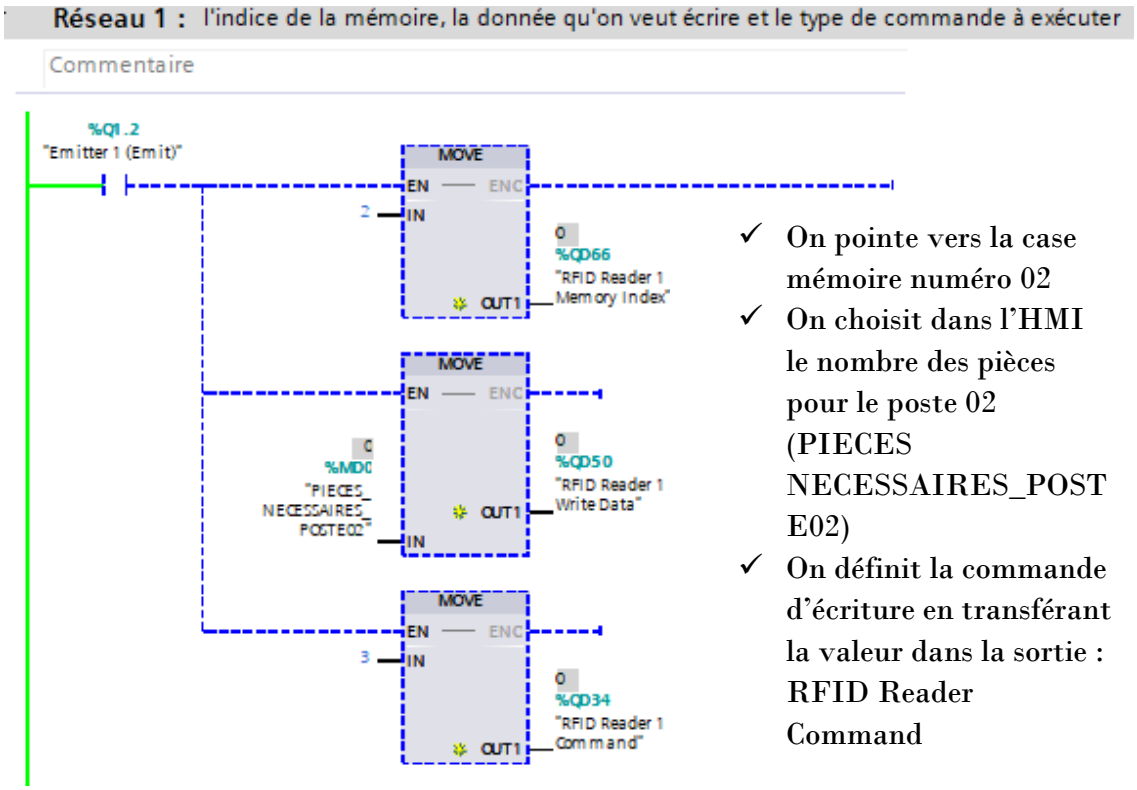


Figure III-10: Affectation des différentes valeurs dans les variables pour faire l'écriture.

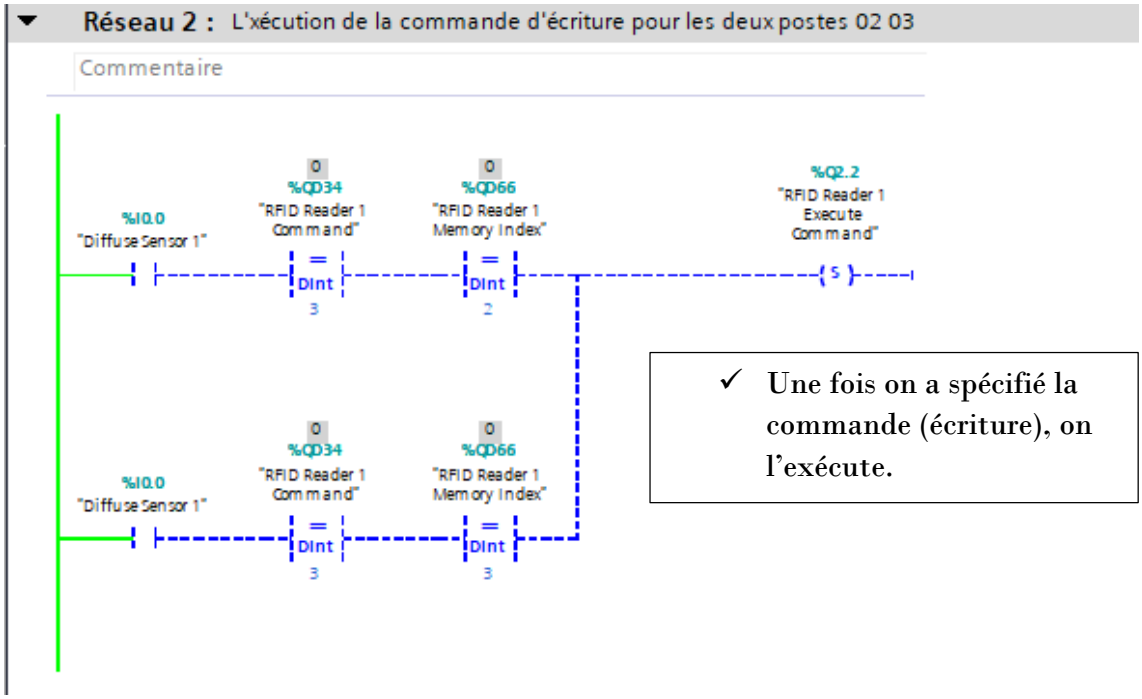


Figure III- 11 : L'exécution de la commande d'écriture.

- On a défini un memento « memo_id » initialisé à 0.
- Une fois l'écriture est effectuée, la variable « RFID Reader Command ID » s'incrémente par 1 alors sa valeur est supérieure à « memo_id » donc l'exécution de la commande s'arrête, puis on incrémente le « memo_id » par 1 pour les comparer dans la prochaine exécution et on initialise l'indice de mémoire à 0.

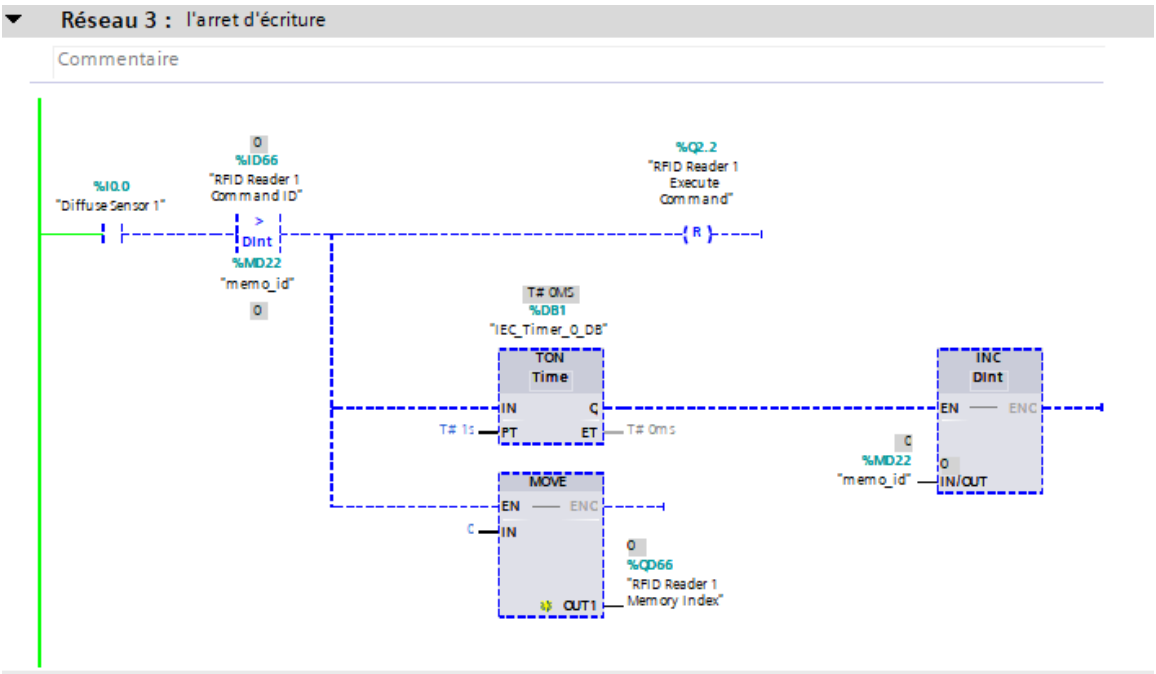


Figure III-12: L'arrêt de la commande.

NB :

L'écriture pour le 3ème poste se fait des mêmes étapes que le précédent.

- Une fois l'écriture au niveau du 1er poste est terminée, on aura une libération de ce dernier.



Figure III-13: La libération du premier poste.

III.5.2.2 Le principe de la lecture

Si le panier arrive devant le capteur photoélectrique et il est dans la zone de détection du lecteur RFID de l'un des postes (02, 03) une opération de lecture s'effectue selon les étapes suivantes :

✓ Mettre la valeur de l'indice désignant le poste actuel dans la sortie « RFID Reader Memory Index ».

- ✓ La transmission de la valeur 2 dans la sortie RFID Reader Command pour définir la commande de lecture.
- ✓ Exécution de la commande (mise à 1 de la sortie RFID Execute Commande) pour la lecture de donnée.
- ✓ Si le convoyeur principal se met en marche alors on met à 0 la sortie RFID Execute Command.

➢ **Programme de lecture au niveau du poste 02 : (Voir les figures ci-dessous)**

- Si le panier est devant le capteur photoélectrique du poste 02 on fait le transfert de
- ✓ La valeur 2 dans l'indice RFID Reader Memory Index_2.
- ✓ La valeur 2 dans la sortie RFID Reader Command_2 pour définir la commande de lecture.

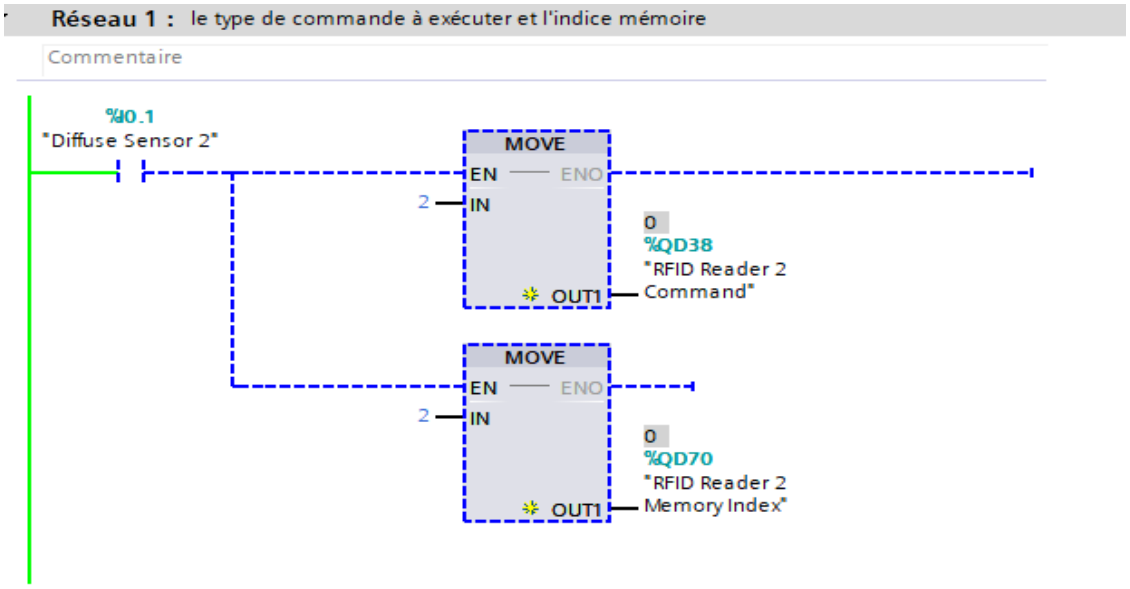


Figure III- 14 : Le transfert des valeurs pour définir l'indice et le type de commande.

- Une fois ces valeurs sont transférées et le panier reste en face du capteur alors on fait l'exécution de la commande de lecture.

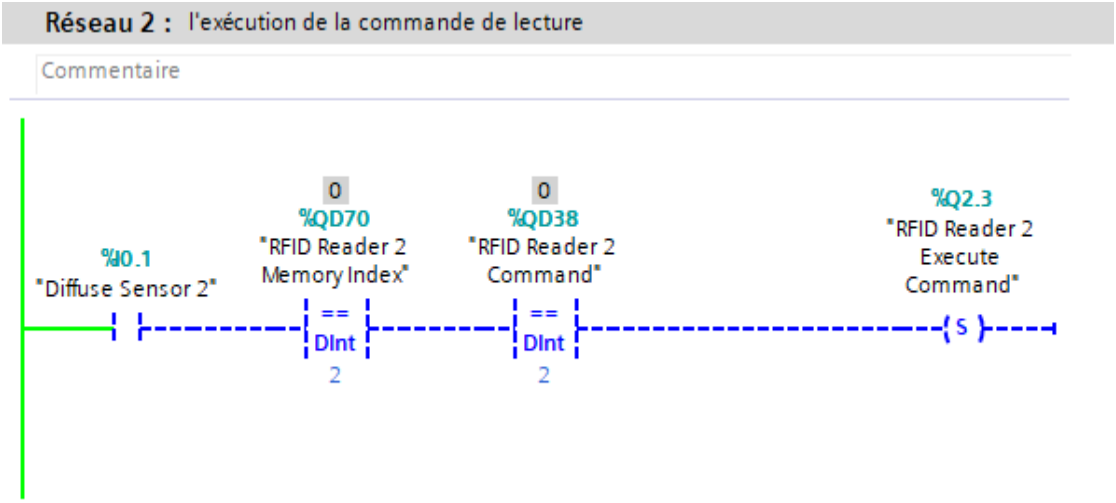


Figure III- 15: L'exécution de la lecture.

- Si l'opération d'alimentation en pièce est terminée, le convoyeur principal démarre donc la lecture est effectuée.

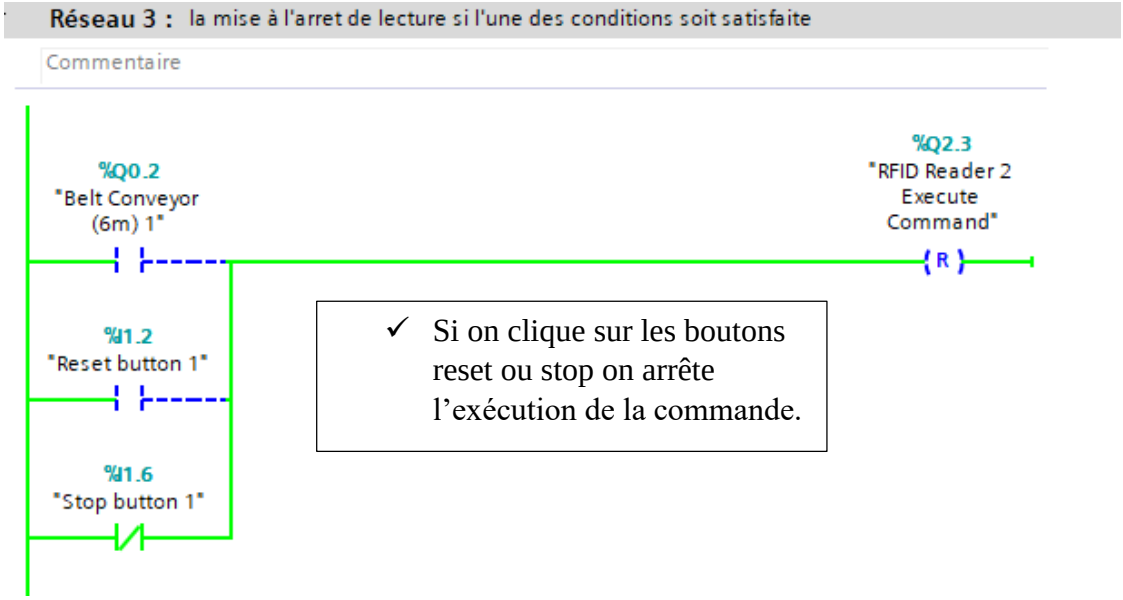


Figure III- 16: L'arrêt de l'opération de lecture.

NB :

La lecture du 3ème poste se fait des mêmes étapes que le précédent (poste 02).

III.5.3 Le fonctionnement des stations Pick & Place

Dans les logigrammes qui suivent nous expliquerons le fonctionnement des Pick & Place des différentes stations.

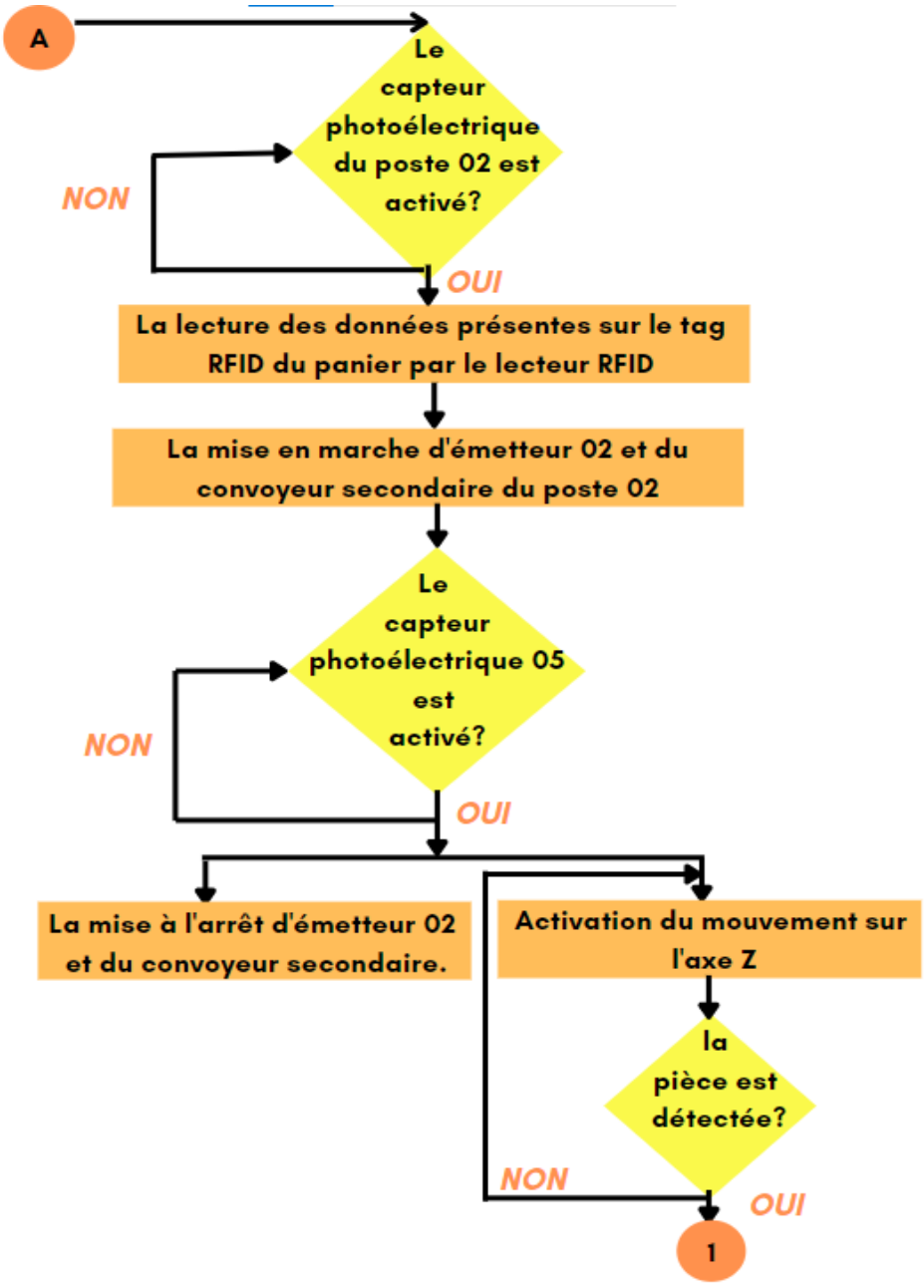
III.5.3.1 Station Pick & Place 1 et 2

Le fonctionnement de la station Pick & Place présente au poste 02 est expliqué comme suit : (voir les figures ci-dessous)

- Si le capteur photoélectrique du poste 02 est activé, le lecteur RFID effectue une lecture des données comme on l'a expliqué précédemment.
- Une fois la lecture est terminée, l'émetteur 02 se met en marche ainsi donc la mise en marche du convoyeur secondaire 02 (de 2m).
- Le bras du robot Pick & Place commence à se déplacer sur l'axe Z (vers le bas).
- Si la pièce est détectée par le robot, le Grab va être maintenu pour prendre la pièce, le robot revient à sa position initiale sur l'axe Z (vers le haut) d'où on aura la mise en marche du mouvement sur l'axe X.
- Si les limites sur l'axe X sont atteintes, la mise en marche du mouvement sur l'axe Z (vers le bas).
- Une fois le panier est atteint alors o la pièce sera relâcher en arrêtant le Grab et le robot revient à sa position initiale sur l'axe Z (vers le haut) et X.

NB :

Le fonctionnement de la station Pick & Place du poste 03 suit les mêmes étapes que celui du poste 02.



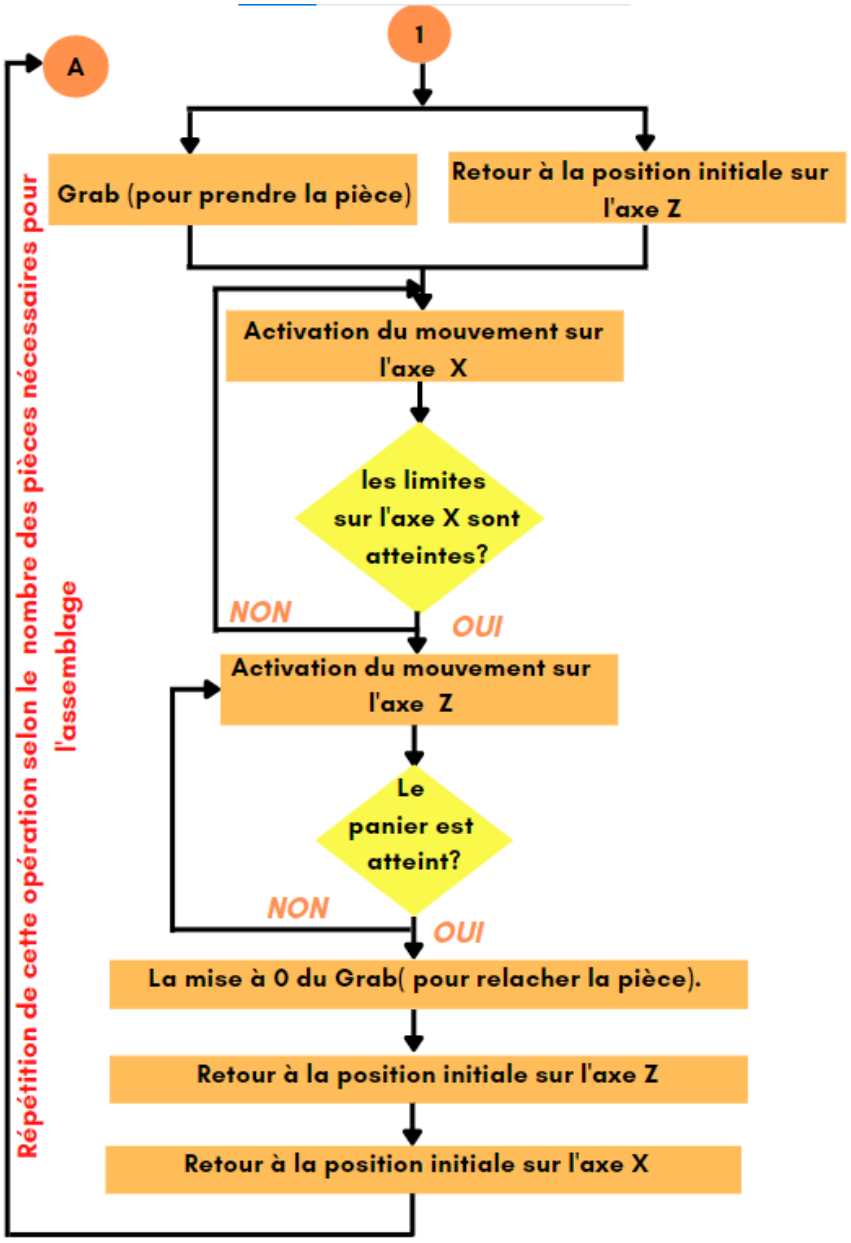


Figure III- 17: Logigramme de la station Pick & Place 01

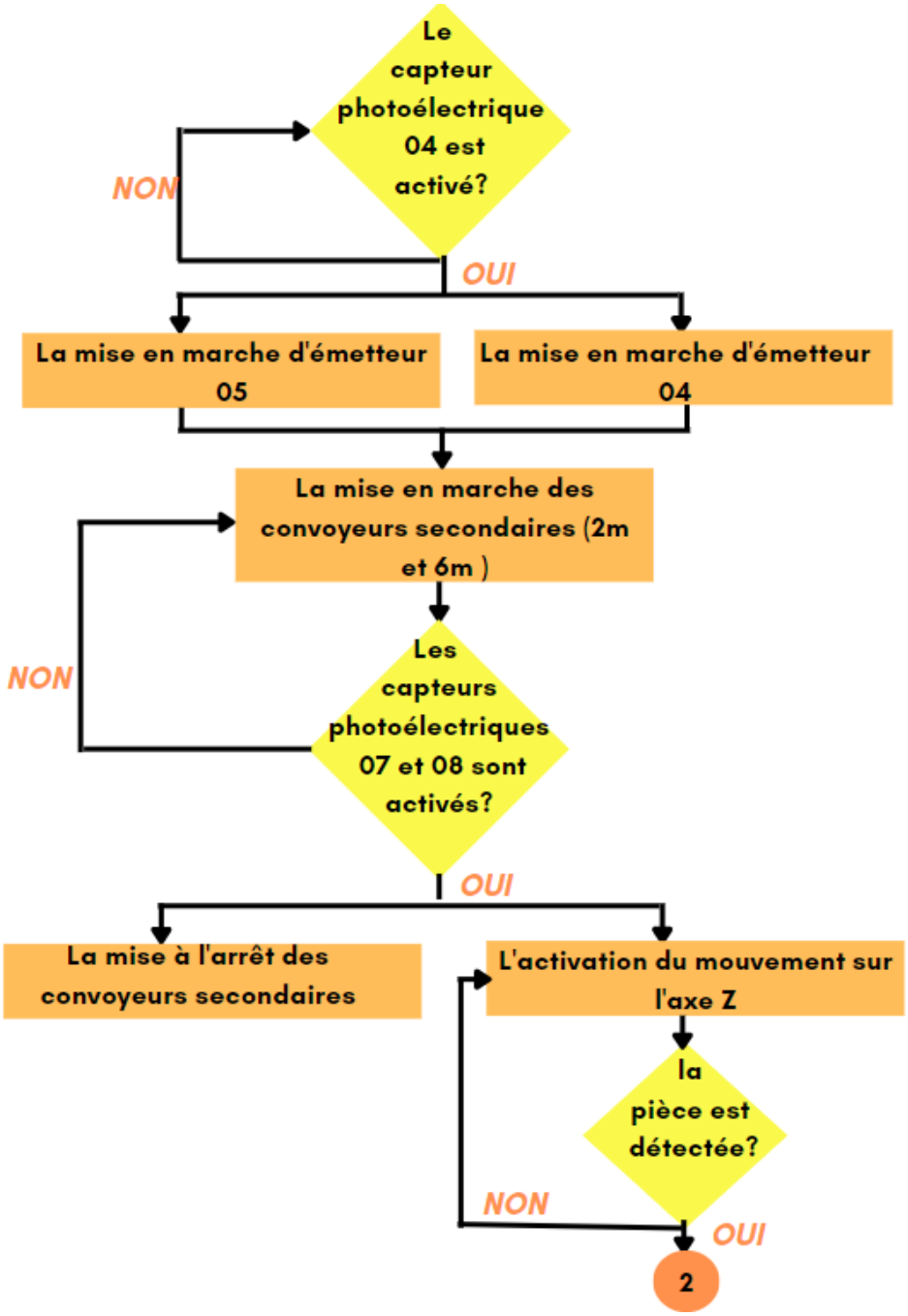
III.5.3.2 Pick & Place 3

La station Pick & Place 03 consiste à faire l'assemblage des pièces selon ces étapes :

- Si le capteur photoélectrique 04 est activé, les émetteurs 04 et 05 vont se mettre en marche ce qui provoque la mise en marche des convoyeurs secondaires (de 2m et de 6m) respectivement.
- Une fois les deux capteurs photoélectriques 07 et 08 sont activés, les deux convoyeurs secondaires vont se mettre à l'arrêt.
- Le robot Pick & Place 03 décline sur l'axe Z jusqu'à l'atteinte de la pièce, par conséquent le Grab va se mettre en marche (retient la pièce), le robot remonte sur l'axe Z puis il se déplace sur l'axe X.
- Si les limites sur l'axe X sont atteintes alors le robot va redescendre sur l'axe Z pour assembler les deux pièces.

- Une fois l'opération est achevée, le Grab sera relâcher et reprend sa position initiale sur les X et Z et X.

Le logigramme ci-dessous (les deux figures ci-dessous) représente le fonctionnement de cette station :



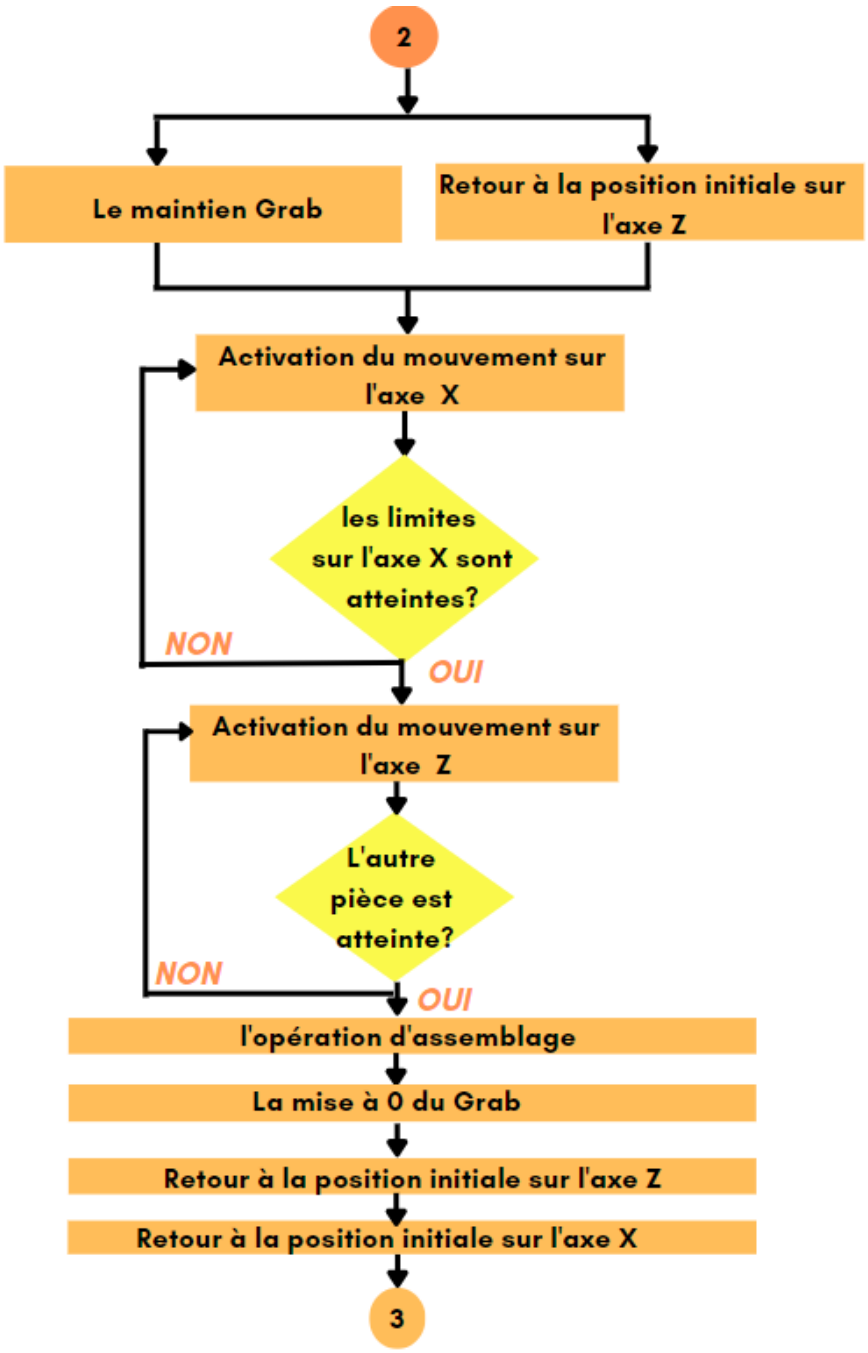


Figure III-18: Logigramme de la station Pick & Place 03

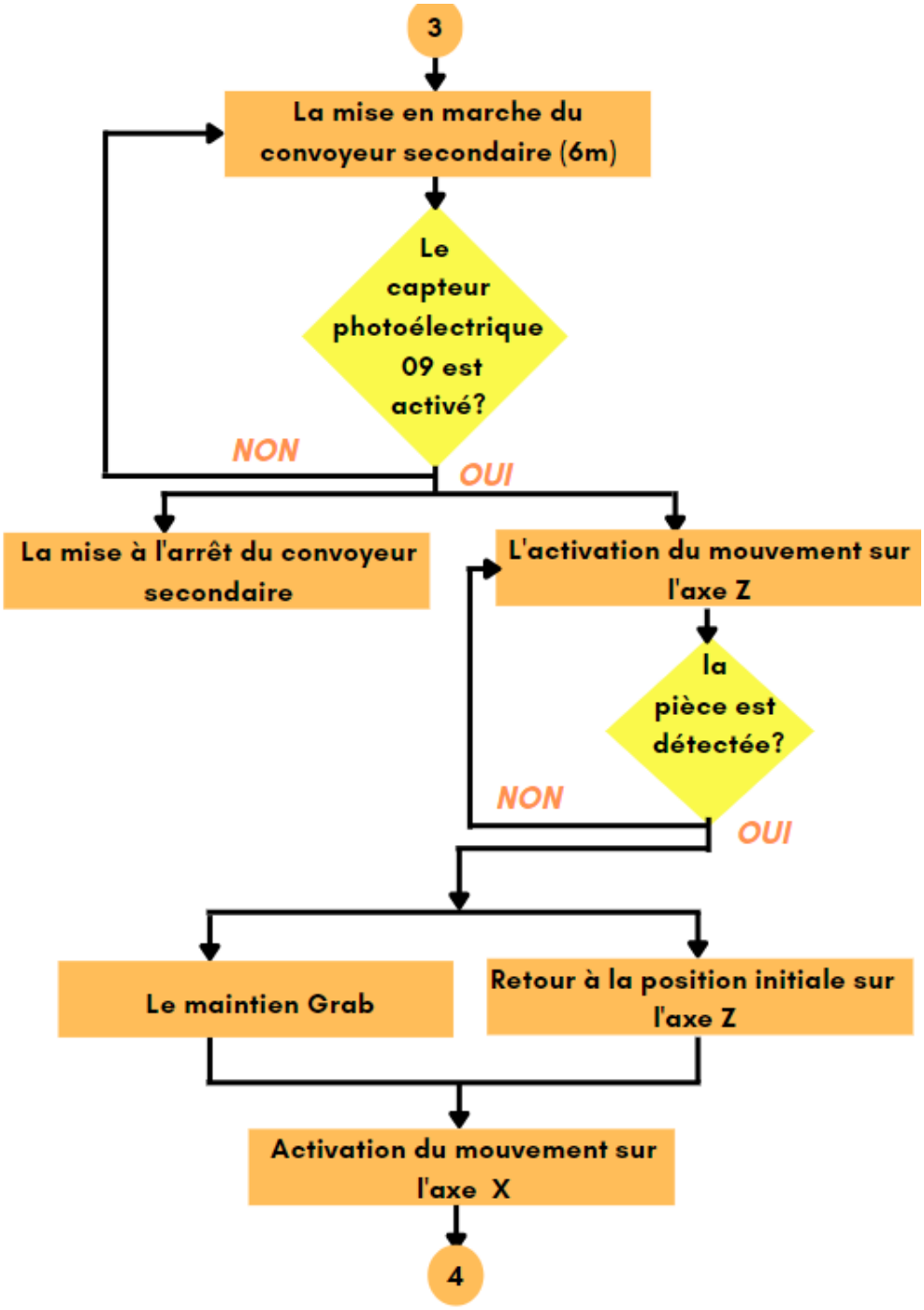
III.5.3.3 Le Pick & Place 04

Si la station Pick & Place 03 a terminé l'opération d'assemblage, la station Pick & Place 04 à son tour prend le produit assemblé du convoyeur secondaire de 6m et le dépose sur le convoyeur principal comme suit :

- Si l'assemblage est terminé, le convoyeur secondaire de 6m se met en marche pour transporter le produit assemblé en face du capteur 09 où il s'arrêtera.
- Le Pick & Place 04 descend selon l'axe Z.
- Si la pièce est détectée par le robot, le Grab déclenchera.
- Une fois le produit est retenu, le robot revient à sa position initiale sur l'axe Z et se déplace sur l'axe X.

- Si les limites sur l'axe X sont atteintes, le robot redescendra sur l'axe Z.
- Au déclenchement du capteur photoélectrique 10, le robot relâche le produit assemblé pour le mettre sur le convoyeur principal, mettre le Grab à zéro et revenir à la position initiale sur l'axe X et Z.

Toutes les étapes précédentes se résument dans ce logigramme (Figure ci-dessous) :



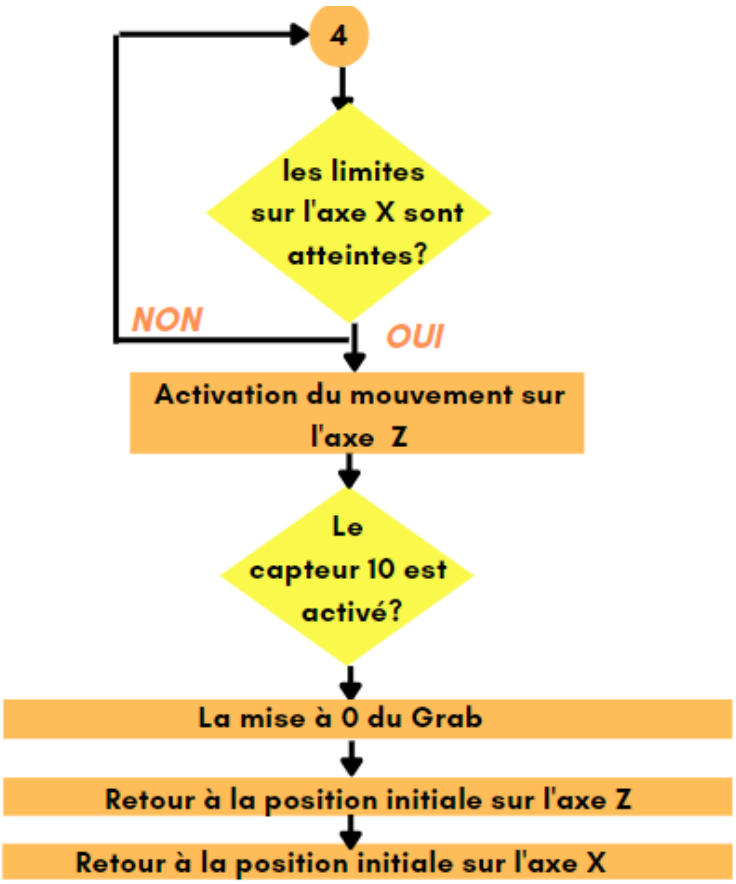


Figure III- 19: Logigramme de la station Pick & Place 04

Ci-dessous une partie du programme du Pick & Place 04 :

- Le déclenchement du Grab si le produit arrive en face du capteur photoélectrique 09 :

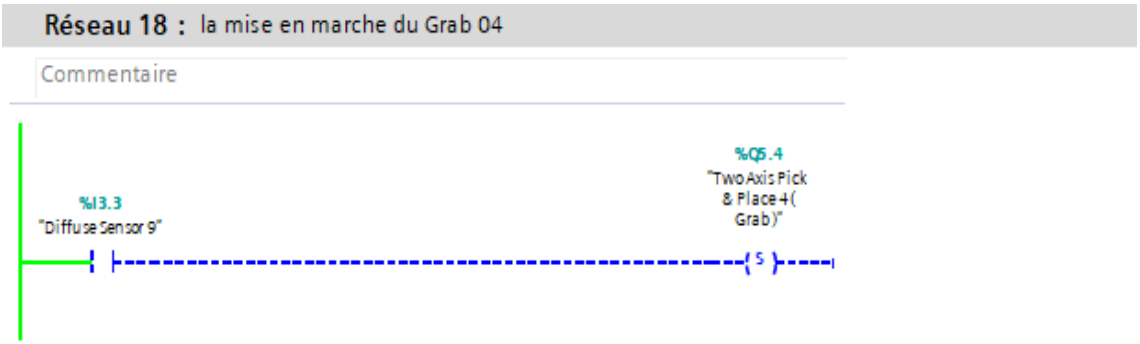


Figure III- 20 : La mise en marche du Grab.

➢ La mise à l'arrêt du Grab après effectuer deux mouvements sur l'axe Z :

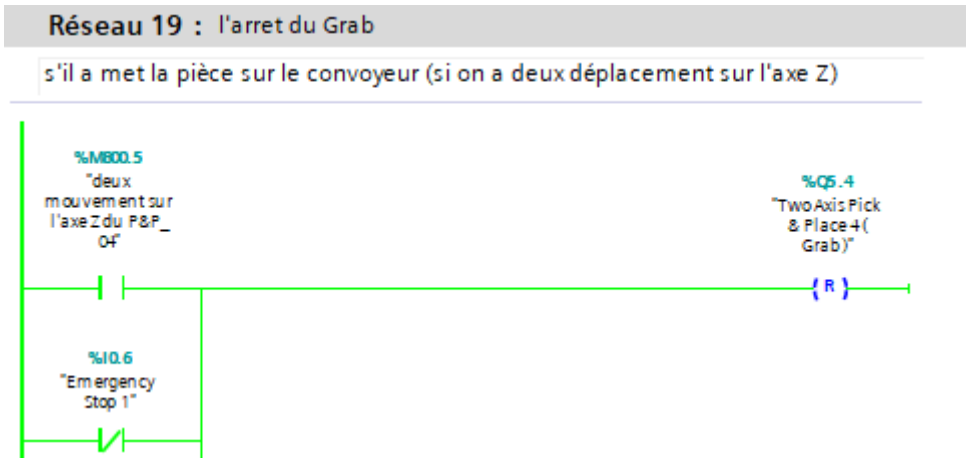


Figure III- 21 : L'arrêt du Grab.

➢ La mise en marche du mouvement sur l'axe X si la pièce est détectée et le Grab a déclenché.

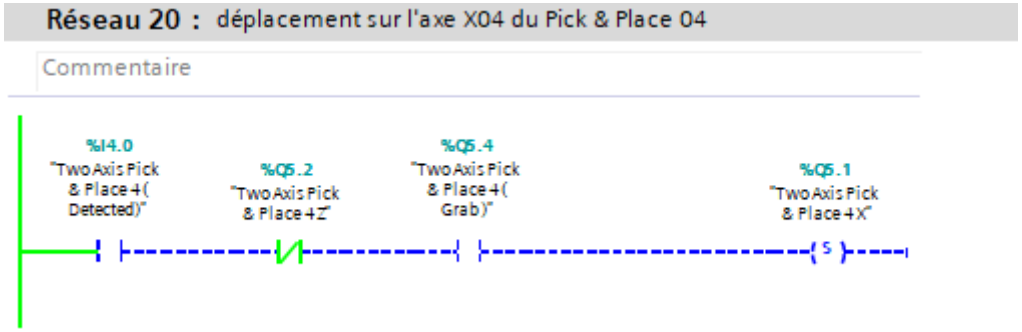


Figure III- 22 : Le déplacement selon l'axe X du P&P04.

➢ Le retour à la position initiale sur l'axe X après la mise à l'arrêt du Grab et le retour à la position initiale sur l'axe Z.

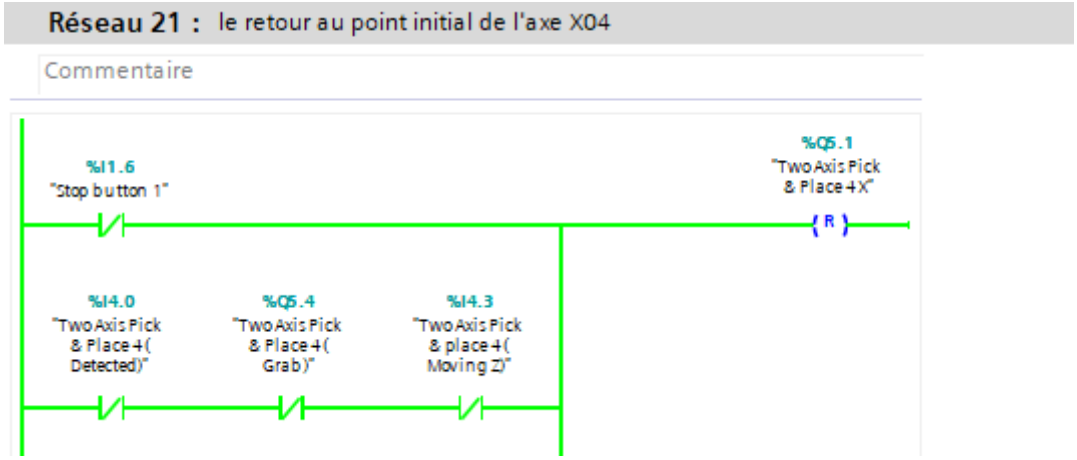


Figure III- 23 : Le retour au point initial sur l'axe X.

CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons abordé des généralités sur le logiciel de programmation TIA Portal et le PLCSIM Advanced. Ensuite, nous avons présenté la procédure de mise en œuvre de la communication entre le Factory I/O et PLCSIM Advanced du TIA Portal pour permettre la commande de la cellule virtuelle. De plus, nous avons établi les logigrammes et les programme de fonctionnement de la cellule virtuelle.

Au chapitre suivant, nous allons créer l'interface homme machine (IHM) pour la supervision notre cellule en concevant différentes vues.

Chapitre IV

Chapitre IV : Supervision IHM de la cellule d'assemblage robotisé

INTRODUCTION

La supervision permet une visualisation de l'état d'évolution des paramètres d'un système, grâce à des vues préalablement crées et configurées, et à l'aide d'un logiciel adéquat.

Dans ce chapitre nous allons exposer la partie supervision d'un IHM type TP1500 Comfort configuré sur le logiciel WinCC Advanced incorporé dans le Tia Portal et présenter les différentes vues simulées.

IV.1 Généralités sur la supervision

La supervision est une technique de pilotage et de suivi informatique de procédés industriels automatisés. Elle concerne l'acquisition de données (mesures, alarmes, retours d'état de fonctionnement) et de paramètres de commande des processus généralement confiés à des automates programmables. [41]

Parmi ces principaux avantages, nous citons :

- La surveillance et mesure de performances
- La résolution automatique des problèmes
- Le paramétrage automatique du système
- Le paramétrage d'évènements et gestion d'alarmes

IV.2 Logiciel de supervision WinCC

Les logiciels de supervision des systèmes de production interviennent dans tout système à base d'automatisme pour visualiser immédiatement le bon fonctionnement d'une installation sur des écrans situés sur les pupitres des machines, sur des consoles de supervision industrielle dans des salles de contrôles et de surveillance. Parmi ces logiciels on trouve le WinCC flexible.

WinCC flexible est le logiciel IHM pour la réalisation, par des moyens d'ingénierie simples et efficaces, de concepts d'automatisation évolutifs, au niveau machine.

Au runtime, l'opérateur peut réaliser le contrôle-commande du processus. Les tâches suivantes sont alors exécutées :

- Communication avec les automates.
- Affichage des vues à l'écran.
- Commande du processus.
- Archivage des données de runtime actuelles, des valeurs processus et événements d'alarme. [42]

On a utilisé le logiciel Wincc Advanced et Wincc RT pour la conception et la simulation des différentes vues de l'HMI TP1500 Basic Comfort respectivement.

IV.3 Configuration réseau

Le standard Ethernet industriel PROFINET est la colonne vertébrale de communication pour l'industrie 4.0 dans la technique d'automatisation. Pour l'automatisation de la production ou des processus, les applications d'entraînement avec ou sans sécurité fonctionnelle ou les conceptions de machines modulaires, PROFINET est le meilleur choix pour la communication industrielle. En même temps, il est facile à manipuler, à intégrer et à mettre en service. [43]

Dans notre travail de supervision réalisé on a utilisé une communication PROFINET pour relier l'API S7-1500 et l'HMI TP1500 Comfort qui porte l'adresse IP suivante : 192.168.0.2.

Alors ces deux périphériques communiquent sur le même réseau comme le montre la figure ci-dessous :

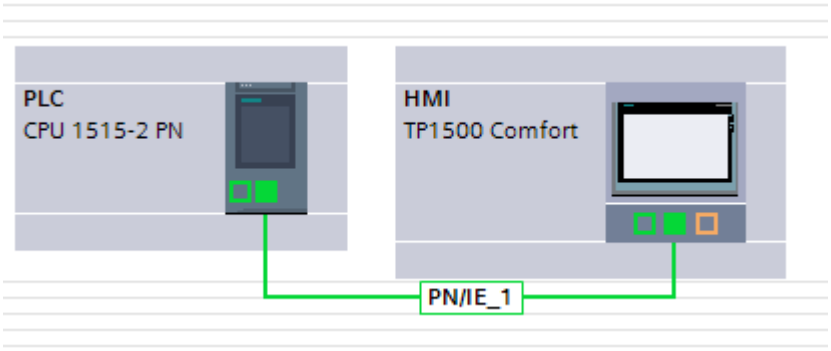


Figure IV- 1: Liaison PROFINET entre l'API S7-1500 et l'IHM

IV.4Variables IHM

La figure ci-dessous montre les variables HMI utilisé dans notre programme de supervision :

Nom	Type de données	Connexion	Nom API	Variable API
EMERGENCY STOP HMI	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"EMERGENCY STOP HMI"
PIECES_NECESSAIRES_POSTE02	DInt	HMI_Liaison_1	PLC	PIECES_NECESSAIRES_PO..
PIECES_NECESSAIRES_POSTE03	DInt	HMI_Liaison_1	PLC	PIECES_NECESSAIRES_PO..
RESET BOUTON HMI	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"RESET BOUTON HMI"
RFID Reader 1 Command	DInt	HMI_Liaison_1	PLC	"RFID Reader 1 Command"
RFID Reader 1 Command ID	DInt	HMI_Liaison_1	PLC	"RFID Reader 1 Comman...
RFID Reader 1 Read Data	DInt	HMI_Liaison_1	PLC	"RFID Reader 1 Read Data"
RFID Reader 2 Command ID	DInt	HMI_Liaison_1	PLC	"RFID Reader 2 Comman...
RFID Reader 2 Read Data	DInt	HMI_Liaison_1	PLC	"RFID Reader 2 Read Data"
RFID Reader 3 Command ID	DInt	HMI_Liaison_1	PLC	"RFID Reader 3 Comman...
RFID Reader 3 Read Data	DInt	HMI_Liaison_1	PLC	"RFID Reader 3 Read Data"
start_HMI	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	start_HMI
TYPE_PRODUIT	Int	HMI_Liaison_1	PLC	TYPE_PRODUIT

Figure IV- 2: Table de variables IHM

IV.5 Présentation des différentes vues du projet

Les figures ci-dessous illustrent les simulations à l'aide d'un logiciel « WinCC Advanced » intégré dans « TIA PORTAL ».

Toutes les vues configurées suivent le même modèle IHM comme la représente la figure ci-dessous :

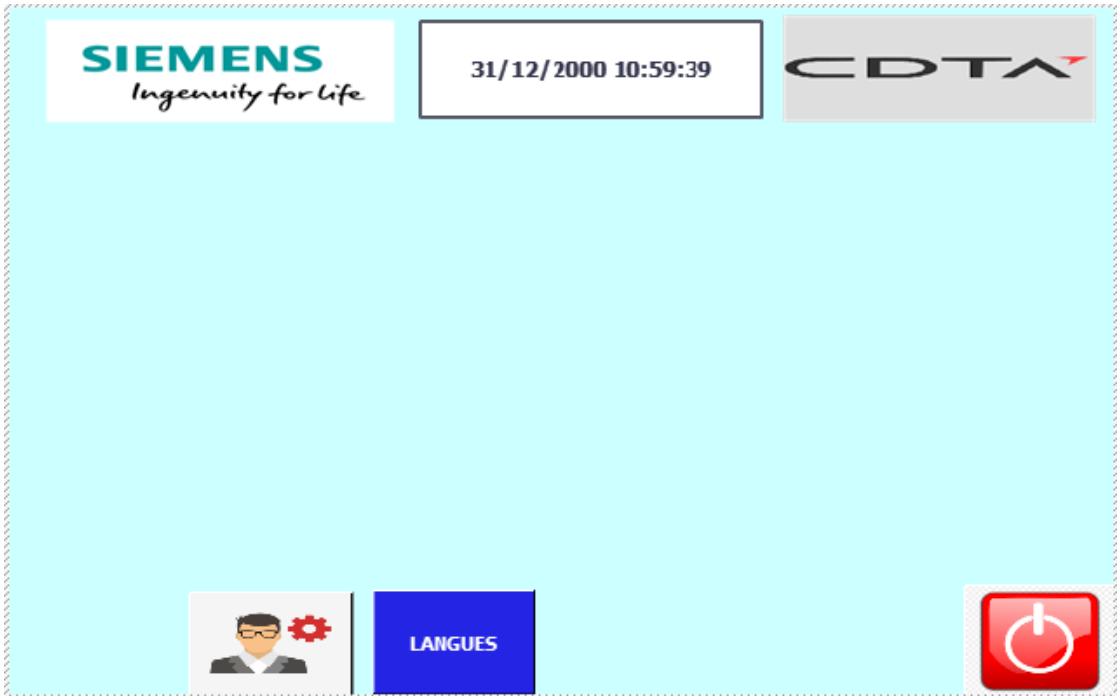


Figure IV- 3: Le modèle IHM

IV.5.1 La vue « ACCUEIL »

La vue « ACCUEIL » est considérée comme la vue initiale c'est-à-dire lors de la simulation Runtime elle sera la première vue à se présenter (Voir la figure suivante).

Cette vue dispose de plusieurs fonctionnalités configurées qui permet à l'opérateur de :

1) Accéder à la vue « MENU PRINCIPAL ».
2) Accéder à la vue « PARAMETRES IHM ».
3) Accéder à la vue « DONNEES RFID ».
4) Commuter entre les deux langues : française et anglaise en un seul clic sur le bouton « LANGUES », les modifications sur la langue seront apportées aussi sur le reste des vues.
5) Eteindre l'interface homme-machine (IHM) en cliquant sur le bouton d'arrêt.
6) Accéder à la session souhaitée (ADMIN, USER ou SUPERVISEUR) en cliquant sur le bouton de dialogue CONNEXION et se déconnecter à partir du bouton DECONNEXION.

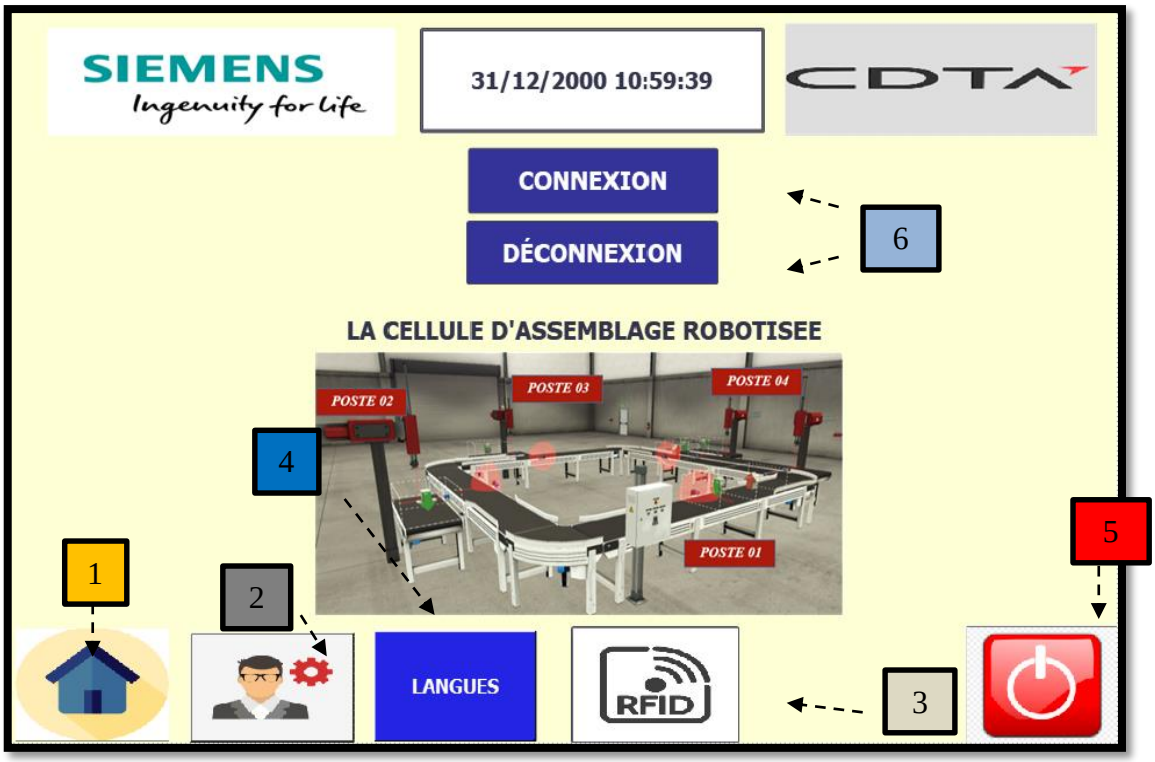


Figure IV- 4: La vue ACCUEIL

IV.5.2 La vue « MENU_PRINCIPAL »

La vue « MENU PRINCIPAL » comme montre la figure IV- 5 permet à l'opérateur de :

- Choisir le type du produit souhaité, à savoir :

✓ PRODUIT 01
✓ PRODUIT 02

Et de définir le nombre de pièces nécessaires pour faire l'assemblage à l'aide d'une fonctionnalité existante sur l'IHM qui est les RECETTES.

- Les trois boutons : START, RESET et EMERGENCY STOP permettent respectivement le démarrage, l'arrêt et l'arrêt d'urgence de la cellule d'assemblage robotisée.
- Un bouton qui permet de revenir à la vue précédente.

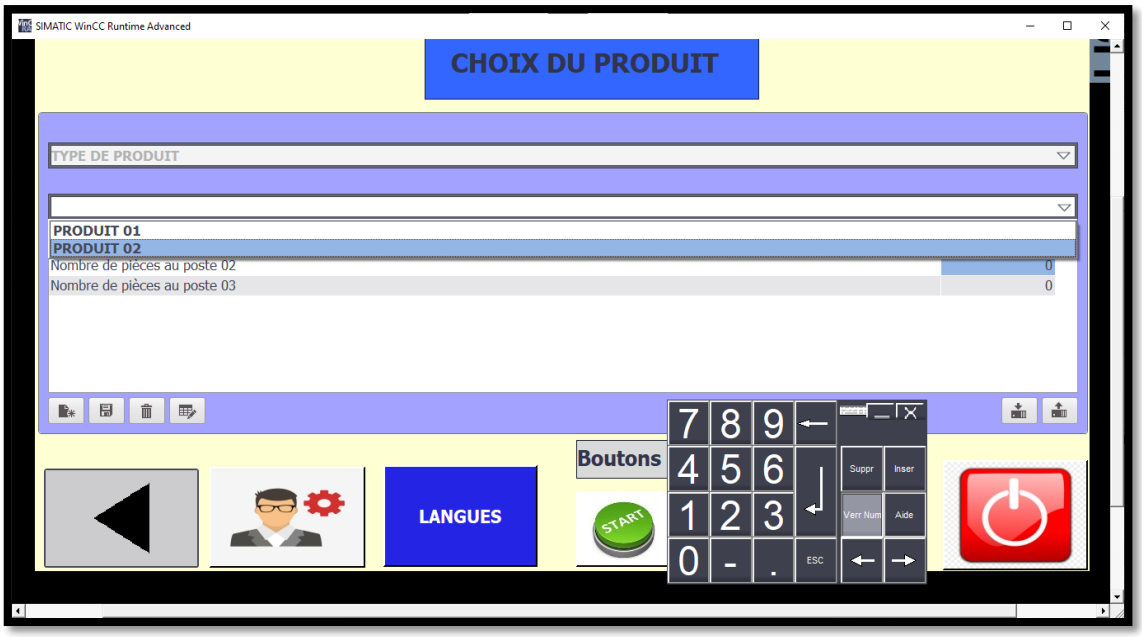


Figure IV- 6: La vue MENU PRINCIPAL

IV.5.3 La vue « DONNEES_RFID »

On accède à cette vue à partir de la vue « ACCUEIL » en cliquant sur le bouton RFID, cette vue permet d'afficher les différentes informations concernant ID command des trois premiers postes et les données lues sur les deux poste 02 et 03.

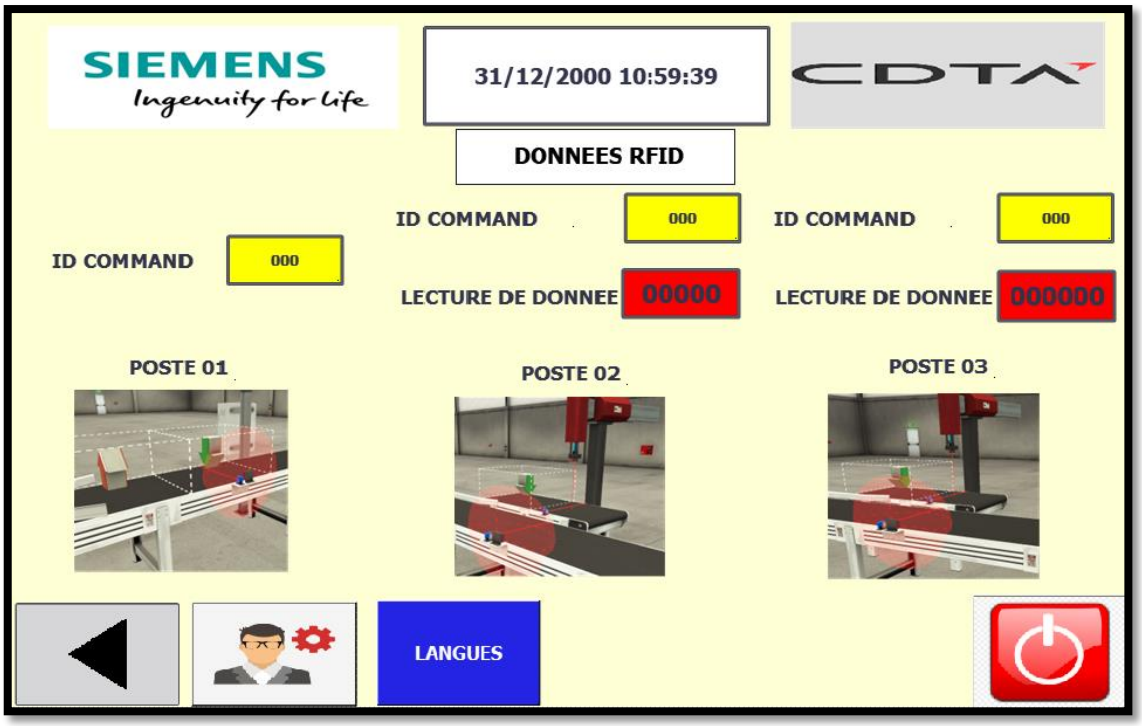


Figure IV- 7: La vue DONNEES RFID

IV.5.4 La vue « PARAMETRES_IHM »

Cette vue est la vue des réglages du système IHM, elle contient les différents paramètres suivants :

- REGLAGE DATE/ REGLAGE HEURE : à l'aide de ces deux paramètres on pourra changer la date et l'heure respectivement.
- REGLAGE CONTRASTE : cette fonctionnalité permet d'augmenter ou de diminuer la luminosité de l'écran IHM.
- NETTOYAGE D'ECRAN : en cliquant sur le bouton « OUI » l'écran se verrouille pendant quelques secondes pour permettre à l'opérateur de nettoyer son écran.

La figure suivante montre la vue « PARAMETRES_IHM » :

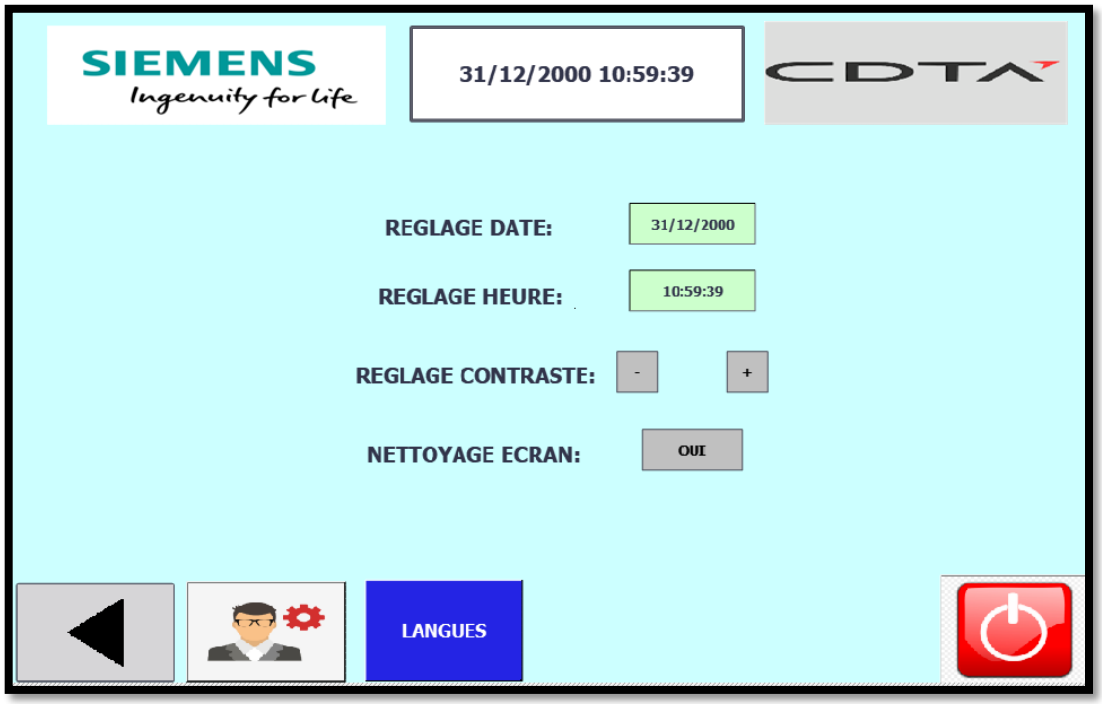


Figure IV- 8: La vue PARAMETRES IHM

CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons réalisé les différentes vues pour la supervision de la cellule d'assemblage robotisée virtuelle en utilisant le logiciel WinCC Advanced intégré dans le TIA Portal V16 sur lequel nous disposons de plusieurs options permettant d'assurer la continuité du flux d'informations tous au long de la supervision.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Notre projet de fin d'étude qui a été proposé par le centre de développement des technologies avancées a pour but de concevoir en simulation une cellule d'assemblage robotisée en intégrant les moteurs de la nouvelle industrie « 4.0 » ainsi que le développement d'une architecture de pilotage centralisé.

Cependant la plateforme virtuelle de simulation a été conçue à l'aide d'un logiciel d'automatisme 3D Factory I/O qui permet la création des scènes de production en utilisant les outils disponibles dans la bibliothèque fournie. Ce logiciel a donné naissance au jumeau numérique de la cellule réelle sur lequel on a introduit les systèmes d'identification par radiofréquence en ajoutant les lecteurs RFID permettant l'autonomie des postes et une lecture/écriture sur le tag RFID pour la mise en marche ou à l'arrêt des différents équipements.

La prise de connaissance dans le logiciel de programmation TIA Portal v16 a permet la commande de la cellule conçue en utilisant un PLC S7-1500. Afin de contrôler cette dernière, un programme a été implémenté dans ce logiciel contenant un ensemble d'instructions groupées dans des blocs de fonctions dans le but d'avoir un fonctionnement proche du système réel.

Une communication a été établie entre le Factory I/O et le TIA Portal en utilisant l'interface PLCSIM Advanced v4.0 SP1 pour le test et la simulation du programme afin d'atteindre la mise en service virtuelle.

Une supervision IHM a été réalisé à l'aide du WinCC Advanced dans le but de contrôlé, visualiser les différents états de ces éléments et suivre le bon fonctionnement de la cellule d'assemblage réelle.

Donc malgré les limites de fonctionnalités du logiciel FACTORY IO (disponibilité des robots, les types de pièces, l'espace limité dans le panier…) mais on a réussi de faire la conception de la cellule et établir le programme qui la contrôle grâce au logiciel d'automatisation TIA PORTAL V16.

Pour Conclure, la commande centralisée donne une solution d'automatisation pour la cellule d'assemblage robotisée mais comme toute solution elle a ces limites donnant le cas d'une panne au niveau du PLC cela conduit au disfonctionnement totale du système pour cela on opte pour une autre structure de commande par un pilotage déporté.

Références

REFERENCES

[1] M. F. O. N. H. N. M. F. T. Mohd Aiman Kamarul Bahrin, «INDUSTRY 4.0: A REVIEW ON INDUSTRIAL AUTOMATION AND ROBOTIC,» 23 Mars 2016.

[2] R. M. H. K. J. Somayya Madakam, «THE FUTURE DIGITAL WORK FORCE: ROBOTIC PROCESS AUTOMATION (RPA),» *Journal of Information Systems and Technology Management – Jistem USP,* 2019.

[3] «technologuepro: solutions pédagogiques pour l'enseignement technologique,» 18 Novembre 2017. [En ligne]. Available: https://www.technologuepro.com/cours-automate-programmable-industriel/Les-automates-programmables-industriels-API.htm. [Accès le Mars 2022].

[4] M. P. Groover, Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Fourth Edition.

[5] T. Askri, «Notes Cours Automatismes Industriels».

[6] «Les systèmes automatisés».

[7] W. Bolton, AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS, 2ème éd., Dunod, 2015.

[8] «Automation sense,» [En ligne]. Available: https://www.automation-sense.com/pages/les-langages-de-programmations.html. [Accès le 06 Avril 2022].

[9] T. P. B. O. Mario Hermann, «Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review,» *SearchGate,* Janvier 2015.

[10] «nicolas bordas,» [En ligne]. Available: http://www.nicolasbordas.fr/archives_posts/et-si-la-quatrieme-revolution-industrielle-appelait-urgemment-une-renaissance-culturelle/attachment/industrie-4_presse_3. [Accès le Mai 2022].

[11] K. B. S. B. D. D. Karima AKSA, «Vers une Nouvelle Révolution Industrielle : Industrie 4.0,» *Mediterranean Telecommunications Journal,* Mai 2021.

[12] P. T. O. B. Hermann Mario, «Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review,» 2015.

[13] «Leslivresblances.fr,» [En ligne]. Available: https://www.leslivresblancs.fr/dossier/industrie-40-lindustrie-de-demain-aujourdhui. [Accès le 06 Avril 2022].

[14] L. E. G. U. J. L. B. E. U. Miriam Ugarte, «Implementation of Digital Twin-based Virtual Commissioning in Machine Tool Manufacturing,» 2022.

[15] M. Oppelt, G. Wolf, O. Drumm, B. Lutz, M. Stöß et L. Urbas, «Automatic Model Generation for Virtual Commissioning based on Plant Engineering Data,» 24-29 Aout 2014.

[16] C. H. R. R. Stefan Boschert, «NEXT GENERATION DIGITAL TWIN,» 2018.

[17] E. Perret, Identification par radiofréquence, Great Britain: ISTE Editions, 2014.

[18] A. N. Nambiar, «RFID Technology: A Review of its Applications,» Octobre 2009.

[19] «matooma,» [En ligne]. Available: https://www.matooma.com/fr/s-informer/univers-du-m2m-et-iot. [Accès le Mai 2022].

[20] S. Shea, «TechTarget,» Aout 2019. [En ligne]. [Accès le 13 Avril 2022].

[21] R. C. Julien Mas, «La cobotique,» 2016/2017.

[22] «Ecole d'ingénieurs Paris-La Défense,» 04 Octobre 2019. [En ligne]. Available: https://www.esilv.fr/quest-ce-que-la-cobotique/. [Accès le 12 Juin 2022].

[23] «cfzcobots,» [En ligne]. Available: https://cfzcobots.com/trabajar-codo-con-codo-con-robots-industria-4-0/. [Accès le 20 Mai 2022].

[24] «KUKA,» [En ligne]. Available: https://www.kuka.com/. [Accès le 29 Avril 2022].

[25] «JDN,» 25 Septembre 2020. [En ligne]. Available: https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1440696-robot-industriel-definition-marques-et-applications/. [Accès le 29 Avril 2022].

[26] SIEMENS, *SIMATIC Ident RFID systems SIMATIC RF300,* 10/2016.

[27] d. a. s. Ooreka, «ooreka ENTREPRISE,» 12 Juin 2022. [En ligne]. Available: https://rfid.ooreka.fr/comprendre/systeme-rfid.

[28] «mysti2d,» [En ligne]. Available: http://www.mytopschool.net/mysti2d/activites/polynesie2/ETT/C044/32/Capteurs1/index.html?Lescapteursphotolectriques.html. [Accès le 25 Avril 2022].

[29] «Automation sense,» 11 Juin 2015. [En ligne]. Available: https://www.automation-sense.com/blog/automatisme/automate-siemens-s7-1500.html. [Accès le 30 Avril 2022].

[30] SIEMENS, *S7 1500 CPU 1515-2PN (6ES7515-2AM01-0AB0) manuel,* 09/2016.

[31] SIEMENS, «Siemens,» 2016. [En ligne]. Available: s71500_cpu_1515_2_pn_manual_fr-FR_fr-FR. [Accès le 03 Mai 2022].

[32] «IP SYSTEMS,» [En ligne]. Available: https://www.ip-systemes.com/details-qu+est+ce+qu+une+ihm+a+quoi+sert+l+interface+homme+machine+-814.html. [Accès le Mai 2022].

[33] SIEMENS, *Fiche technique 6AV2124-0QC02-0AX0,* 2015.

[34] A. SENSE, «AUTOMATION SENSE,» Janvier 2017. [En ligne]. [Accès le 15 Mars 2022].

[35] R. P. A. P. R. S. G. D. A. F. E. Bernard Riera, *HOME I/O et FACTORY I/O : 2 logiciels innovants de simulation de PO pour la formation à l'automatique,* France, 2017.

[36] «FACTORY/IO,» [En ligne]. Available: https://docs.factoryio.com/. [Accès le 20 Mars 2022].

[37] «SIEMENS,» [En ligne]. Available: https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html. [Accès le 03 Mai 2022].

[38] «Automation sense,» 2019. [En ligne]. Available: https://www.automation-sense.com/blog/automatisme/tia-portal-v16-siemens-presente-la-nouvelle-version-de-tia-portal.html. [Accès le 5 Mai 2022].

[39] S. S7-1500, «SIEMENS,» Mai 2021. [En ligne]. Available: https://5.imimg.com/data5/SELLER/Doc/2021/5/RP/RH/DC/3683929/simatic-s7-plcsim-advanced-v3-0.pdf. [Accès le 10 Mai 2022].

[40] Siemens, «Langage CONT pour SIMATIC S7-300/400 Programmation de blocs».

[41] «captronic,» [En ligne]. Available: https://www.captronic.fr/La-Supervision-Industrielle.html. [Accès le 28 Mai 2022].

[42] Manuel_utilisateur_WinCC_flexible, «siemens,» [En ligne]. [Accès le 28 Mai 2022].

[43] «siemens,» [En ligne]. Available: https://new.siemens.com/. [Accès le 20 Mai 2022].

[44] «inoprod,» [En ligne]. Available: https://www.inoprod.com/services/transformation-digitale-usine-du-futur/mise-en-service-virtuelle/. [Accès le Mai 2022].

ملخص:

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو تصميم خلية تجميع آلية وهذا بإنجاز قاعدة بيانات وهمية التي تمثل توأم رقمي للخلية الحقيقية باستعمال برنامج محاكاة 3D Factory I/O.

يتم تطوير هيكله بالتحكم المركزي بجهاز اوتوماتيكي صناعي قابل للبر S7-1500. التحكم الآلي والإشراف على هذا البرنامج يتم ببرنامج TIA PORTAL V16.

كلمات مفتاحية:

API S7-1500, خلية تجميع آلي, منصة افتراضية, industrie 4.0, Factory I/O, RFID, توأم رقمي, إشراف

Résumé :

L'objectif principal de ce projet est la conception et la simulation d'une cellule d'assemblage robotisée et cela en réalisant une plateforme virtuelle qui représente un jumeau numérique de la cellule réelle par le logiciel de simulation 3D Factory I/O.

Le développement de son architecture se fait par une commande centralisée avec un automate programmable industriel S7-1500 et l'implémentation de son programme ainsi que sa supervision sont établies sur le logiciel TIA Portal.

Mots clés :

API S7-1500, cellule d'assemblage robotisée, plateforme virtuelle, industrie 4.0, Factory IO, RFID, jumeau numérique, supervision

Abstract :

The main objective of this project is the design and assimilation of a robotic assembly cell by realizing a virtual platform which represents a digital twin of the real cell by the 3D simulation software Factory IO.

The development of its architecture is done by a centralized control with an industrial programmable logic controller S7-1500 and the implementation of its program as well as its supervision all of which are established on the TIA Portal software.

Key words :

PLC S7-1500, robotic assembly cell, virtual platform, industry 4.0, Factory I/O, RFID, digital twin, supervision