

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT: Génie Électrique  
FILIERE : Automatique  
SPECIALITE : Automatique et système



كلية التكنولوجيا  
قسم : الهندسة الكهربائية  
الشعبة : آليات  
التخصص : آليات و أنظمة

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de MASTER 02

Thème

**SYSTEME AUTOMATISE  
CONTROLE PAR UN PROGRAMMEUR  
INDUSTRIELLE (PLC)**

Sous la direction de  
D.CHOUCHOU ABDELMADJID

Présenté par :  
CHARIF ZAKARIA  
SEGHIOUR ILHAM

Année universitaire : 2021 /2022





## *Dédicaces*

*Nous dédions ce travail à ... ma  
mère et mon père qui me  
soutiennent toujours*

*À nos frères et sœurs qui nous ont  
aidés*

*À nos amis et collègues qui ont été  
le meilleur soutien pour nous*

*Pour l'enseignant superviseur qui  
était le meilleur supporter*

*Pour tous les enseignants,  
employés et la famille  
universitaire*



# Résumé

الملخص :

هذا المشروع مهم جدا لأنه يسهل علينا الانتقال من نظام التحكم اليدوي او التقليدي إلى نظام التحكم الآلي الذي لا يحتاج تواجد العنصر البشري مما يزيد الإنتاجية و يقلل حجم المخاطر و يزيد درجة الأمان و الدقة في التصنيع او الإنتاج بصفة عامة .

تم الانتهاء من هذا المشروع و هدفه الرئيسي التعريف بالأنظمة الآلية و صناعة نموذج عليها .

مبدأ عمل الأنظمة الآلية هو التحكم في المنفذات عن طريقة المنفذات المتصدرة التي تتلقى الأوامر من المبرمج الآلي الصناعي الذي يحتوي برنامج المعد في الحاسوب .

للقيام بذلك قمنا بدراسة بإجراء دراسة نظرية و عملية على الأنظمة الآلية .

الكلمات المفتاحية : المبرمج الي الصناعي , الأتمتة , المحرك , الحساسات. المتمعن.

## Résumé :

Ce projet est très important car il nous permet de passer plus facilement d'un système de contrôle manuel ou traditionnel à un système de contrôle automatisé qui ne nécessite pas la présence de l'élément humain, ce qui augmente la productivité, réduit les risques et augmente la sécurité et la .précision dans la fabrication ou la production en général

Ce projet est terminé et son objectif principal est d'introduire des systèmes automatisés et Industrie du modèle

Le principe de fonctionnement des systèmes automatisés est de commander l'Actionneur au moyen du Pré actionneur, qui reçoit les ordres du programmeur du robot industriel, qui contient le .programme préparé dans l'ordinateur

Pour ce faire, nous avons mené une étude en menant une étude théorique et pratique sur les .systèmes automatisés

**Mots clés :** programmeur industriel, automatisme, moteur, capteurs. Grafcet .

## Abstract :

This project is very important because it allows us to move more easily from a manual or traditional control system to an automated control system that does not require the presence of the human element, which increases productivity, reduces risks and increases safety and .precision in manufacturing or production in general

This project is completed and its main objective is to introduce automated systems and model .industry

The operating principle of automated systems is to control the Actuator by means of the Pre-actuator, which receives the orders from the programmer of the industrial robot, which .contains the program prepared in the computer

To do this, we conducted a study by conducting a theoretical and practical study on .automated systems

**Keywords :** industrial programmer, automation, motor, sensors, Grafcet .

# Sommaire

---

	la Page
✚ Dédicaces .....	I
✚ Résumé .....	II
✚ Sommaire .....	III-VI
✚ Liste des figures .....	VII-X
✚ Nomenclature et Glossaire .....	XI-XII
✚ Introduction générale.....	A-B

## **Chapitre I : Généralités pour systèmes Automatisés ..... 1-12**

I .1 INTRODUCTION .....	1
I .2 DEFINITION d'un système .....	2
I .3 Définition d'un système de production .....	2
I .4 Définition Système automatisé .....	3
I .5 Définition des systèmes automatisés de production .....	3
I .5.1 L'automatisation .....	4
I .6 - Histoire des AUTOMATISMES .....	4
I .6.1- Les ancêtres des robots .....	5
I .6.2 Les Robots .....	6
I .6.3 Automates Dans l'industrie .....	6
I .7 -Transition des systèmes traditionnels aux systèmes automatisés .....	7
I .7.1 la troisième révolution industrielle à l'Industrie 4.0 .....	7
I .7.2 Fabrication de systèmes d'automatisation dans les usines automobiles .....	8
I .8 - Objectifs de l'automatisation .....	8
I .9 - Les domaines d'application de la technique de l'automatisation .....	8
I .10 - Avantages pratiques de l'Automatisation .....	9
I .11 - Inconvénients de l'automatisation .....	10
I.11.1 Les enjeux énergétiques de l'automatisation industrielle .....	11
I.11.2 Des machines industrielles qui remplacent l'homme.....	11
I.11.3 L'effet de l'automatisation de l'industrie sur l'emploi .....	11
I .12 Conclusion . .....	12

# Sommaire

---

<b>Chapitre II : ARCHITECTURE D'UN SYSTEME AUTOMATISE .....</b>	<b>13- 42</b>
II.1 INTRODUCTION .....	13
II.2 Un système automatisé .....	14
II.3 Architecture générale des systèmes automatisés .....	14
II.3.1 - La partie opérative .....	15
II.3.2 - La partie commande .....	15
II.3.3 - La partie dialogue .....	15
II.3.4 - La partie Relation .....	16
II.4 La chaîne fonctionnelle .....	16
II.4.1 La chaîne d'information .....	17
II.4.2 La chaîne d'énergie .....	17
II.5 Les niveaux d'automatisation .....	18
II.5.1 - Niveau 0 - Partie Opérative Equipement .....	18
II.5.2 - Niveaux 1 - PARTIE COMMANDE .....	19
II.5.3 - Niveaux 2 - IHM / SCADA .....	19
II.5.4 - Niveau 3 - Contrôle de la Production .....	20
II.5.5 - Niveau 4 - Planification Centrale .....	20
II.6 Différents types de commande .....	20
II.6.1 Système automatisé combinatoire .....	20
II.6.2 Système automatisé séquentiel .....	21
II.6.3 Choix de la logique de réalisation des SAP .....	23
II.7 - Stabilité du Système .....	24
II.7.1 Notion de système .....	24
II.7.2 Notion de boucle .....	25
II.7.3 Cadre de travail .....	29
II.7.4 Réponses des systèmes linéaires .....	31
II.7.5 Stabilité des systèmes linéaires .....	35
II.8 - Réglage des systèmes boucles .....	39
II.8.1 Principe de la commande par retour unitaire .....	39
II.8.2 Régulateur PID .....	39
II.9 CONCLUSION .....	42

# Sommaire

---

<b>Chapitre III : Construction et équipement du système automatisé .....</b>	<b>43 - 78</b>
III.1 -INTRODUCTION .....	43
III.2 Conception un système automatisé .....	44
III.2.1 Cahier des charges automatisme industriel .....	44
III.2.2 Le modèle GRAFCE .....	45
III.2.3 PRINCIPES DE REPRÉSENTATION .....	47
III.2.4 ÉVOLUTION D'UN GRAFCET .....	51
III.3 EQUIPEMENT DU SYSTEME AUTOMATISE (HARDWARE) .....	54
III.3.1 La Partie Commande .....	54
3.1.1 Logique câblée .....	54
3.2.2 Logique programmée .....	54
3.2.3 Les automates programmables industriels API .....	55
III.3.2 La partie opérative .....	57
3.2.1 Les Actionneurs .....	57
3.2.2 Les Pré-actionneurs .....	59
3.2.3 Les Capteurs .....	61
III.3.3 La partie dialogue .....	64
III.4 - LOGICIEL DE SYSTEME AUTOMATISE (SOFTWARE) : .....	65
III.4.1 Langages de programmation des API .....	65
III.4.2 TIA PORTAL STEP 7 .....	65
III.4.3 Principe de fonctionnement .....	65
III.4.4 Création d'un projet et configuration d'une station de travail .....	67
III.4.5 . Les variables API .....	71
III.4.6 WinCC .....	73
4.6.1 IHM .....	73
4.6.2 SCADA .....	75
III.5 CONCLUSION .....	78

# Sommaire

---

## Chapitre IV : AUTOMATISATION ET GESTION D'UN PROTOTYPE DE CANAL HYDRAULIQUE A PENTE VARIABLE à BASE D'AUTOMATES SIEMENS..... 79 - 94

IV.1 – INTRODUCTION .....	79
IV.2 – MONTAGE - MISE EN ROUTE - UTILISATION .....	80
IV.2-1 Description .....	80
IV.2-2 INSTALLATION .....	81
IV.2-3 ESSAIS.....	82
IV.2-4 UTILISATION ET MISE EN MARCHÉ DE LA POMPE .....	83
IV.2-5 UTILISATION DU DEBITMETRE.....	83
IV.2-6 ENTRETIEN.....	84
IV.2-7 CONTRE-INDICATIONS .....	84
IV.2-8 CONSIGNATION HORS ENERGIE .....	84
IV.2-9 MANUTENTION.....	84
IV.3 Cahier des charges .....	85
IV.3-1 Manipulation Structurale .....	85
IV.4 Tableau des choix technologiques .....	85
IV.5 GRAFCET .....	86
IV.6 Hardware .....	86
IV.6-1 La Partie Commande .....	86
IV.6-2 La Partie Opérative.....	87
IV.7 Software .....	88
IV.7-1 Programmation LADDER .....	88
IV.7-2 Programmation dans TIA PORTAL STEP 7 .....	88
IV.8 LE PROJET .....	93
IV.8-1 Principe de fonctionnement pour l'utilisateur .....	93
IV.9 CONCLUSION .....	94
 <b>Conclusion .....</b>	<b>95</b>
 <b>Bibliographie .....</b>	<b>96</b>
 <b>Annexe .....</b>	<b>97-103</b>

## Liste des Figure

Num	Titre	la Page
	<b>CHAPITRE.I</b>	
Figure I-1	Présentation d'un système	2
Figure I-2	Structure d'un système de production	3
Figure I-3	Principe d'automatisation	4
Figure I-4	Atelier de tissage en 1953 a Fresnoy-le-Grand - métiers avec jacquard	5
Figure I -5	Orgue Mécanique	5
Figure I -6	L'invention de Jacquard	5
Figure I -7	Machine à enrouler le sparadrap sur des rouleaux	6
Figure I -8	Machine à remplir des pots de peinture	6
Figure I -9	bras robotiques industriels	6
	<b>CHAPITRE. II</b>	
Figure II-1	Structuration générale des systèmes automatisés	13
Figure II-2	Système de remplissage automatisé	14
Figure II-3	la structuration du système automatisé	14
Figure II-4	La chaine fonctionnelle	16
Figure II-5	Les niveaux d'automatisation	18
Figure II-6	Exemple fonctionnement système combinatoire	21
Figure II-7	Exemple fonctionnement système séquentiel	21
Figure II-8	Graphe choix PC pour SAP	23
Figure II-9	Système comprenant $m$ entrées, $p$ sorties et $r$ perturbations	25
Figure II-10	Boucles possibles correspondant au fonctionnement d'une voiture	26
Figure II-11	Exemple de système en boucle ouverte	27
Figure II-12	Exemple de système en bouclage manuel	27
Figure II-13	Evolution de la température de l'eau au cours du temps	28
Figure II-14	Exemple de système avec boucle automatique	28
Figure II-15	boucle automatique de réglage d'un angle de rétroviseur (boucle ferme)	29
Figure II-16	Commande discrète	30
Figure II-17	Principe de superposition	31

## Liste des Figure

<b>Figure II-18</b>	<b>Réponse a un échelon unitaire</b>	<b>32</b>
<b>Figure II-19</b>	<b>Réponse indicielle d'un premier ordre canonique</b>	<b>33</b>
<b>Figure II-20</b>	<b>Réponse indicielle d'un deuxième ordre canonique</b>	<b>34</b>
<b>Figure II-21</b>	<b>Stabilité des équilibres d'une bille</b>	<b>35</b>
<b>Figure II-22</b>	<b>Stabilité dans le plan de Laplace</b>	<b>37</b>
<b>Figure II-23</b>	<b>Marges de stabilité d'un modèle stable quelconque</b>	<b>38</b>
<b>Figure II-24</b>	<b>Diagramme de Bode du modèle de premier ordre</b>	<b>38</b>
<b>Figure II-25</b>	<b>Diagramme de Bode du modèle canonique de deuxième ordre</b>	<b>38</b>
<b>Figure II-26</b>	<b>Lieu de Nyquist d'un système quelconque</b>	<b>39</b>
<b>Figure II-27</b>	<b>Schéma classique d'une régulation avec retour unitaire</b>	<b>39</b>
<b>Figure II-28</b>	<b>Diagramme de Bode possible d'un régulateur PID</b>	<b>40</b>
	<b>CHAPITRE.III</b>	
<b>Figure III-1</b>	<b>Système de remplissage</b>	<b>45</b>
<b>Figure III-2</b>	<b>Informations essentielles du système</b>	<b>47</b>
<b>Figure III-3</b>	<b>Étapes de fonctionnement du système</b>	<b>47</b>
<b>Figure III-4</b>	<b>Représentation des étapes</b>	<b>48</b>
<b>Figure III-5</b>	<b>Représentation de l'évolution d'une séquence</b>	<b>48</b>
<b>Figure III-6</b>	<b>GRAFCET de la chaîne de remplissage</b>	<b>49</b>
<b>Figure III-7</b>	<b>Convergence en ET</b>	<b>49</b>
<b>Figure III-8</b>	<b>Convergence en OU</b>	<b>50</b>
<b>Figure III-9</b>	<b>Divergence en ET</b>	<b>50</b>
<b>Figure III-10</b>	<b>Divergence en OU</b>	<b>50</b>
<b>Figure III-11</b>	<b>Illustration des règles de franchissement des étapes</b>	<b>52</b>
<b>Figure III-12</b>	<b>Déplacement du jeton</b>	<b>52</b>
<b>Figure III-13</b>	<b>Activation d'étape</b>	<b>52</b>
<b>Figure III-14</b>	<b>Désactivation d'étapes</b>	<b>53</b>
<b>Figure III-15</b>	<b>Évolution fugace</b>	<b>53</b>
<b>Figure III-16</b>	<b>Exemple de réalisation de la partie commande d'un système automatisé linéaire à l'aide de câblage par des bascules RS</b>	<b>54</b>

## Liste des Figure

<b>Figure III-17</b>	<b>programmable logic controller (PLC)</b>	<b>55</b>
<b>Figure III-18</b>	<b>Installation intérieure programmée industrielle</b>	<b>56</b>
<b>Figure III-19</b>	<b>Connexions externes du programmeur industriel</b>	<b>56</b>
<b>Figure III-20</b>	<b>PLC Siemens S7-1200</b>	<b>57</b>
<b>Figure III-21</b>	<b>PLC Siemens S7-300</b>	<b>57</b>
<b>Figure III-22</b>	<b>Le Vérin</b>	<b>58</b>
<b>Figure III-23</b>	<b>Exemples d'utilisation Le Vérin</b>	<b>58</b>
<b>Figure III-24</b>	<b>Vérin simple effet</b>	<b>58</b>
<b>Figure III-25</b>	<b>Vérin double effet</b>	<b>58</b>
<b>Figure III-26</b>	<b>moteurs asynchrones</b>	<b>59</b>
<b>Figure III-27</b>	<b>champ magnétique</b>	<b>59</b>
<b>Figure III-28</b>	<b>Principe de fonctionnement d'un distributeur</b>	<b>59</b>
<b>Figure III-29</b>	<b>Constituants d'un distributeur</b>	<b>59</b>
<b>Figure III-30</b>	<b>les distributeurs</b>	<b>60</b>
<b>Figure III-31</b>	<b>Relais</b>	<b>60</b>
<b>Figure III-32</b>	<b>Symbole d'un contacteur tripolaire : à gauche la bobine, au centre les contacts de puissance, à droite un contact auxiliaire</b>	<b>61</b>
<b>Figure III-33</b>	<b>Pré-actionneur monostable</b>	<b>61</b>
<b>Figure III-34</b>	<b>Pré-actionneur bistable</b>	<b>61</b>
<b>Figure III-35</b>	<b>Principe de Capture</b>	<b>61</b>
<b>Figure III-36</b>	<b>Thermocouple.</b>	<b>62</b>
<b>Figure III-37</b>	<b>Piézoélectrique</b>	<b>62</b>
<b>Figure III-38</b>	<b>Pyroélectricité</b>	<b>62</b>
<b>Figure III-39</b>	<b>d'induction électromagnétique</b>	<b>62</b>
<b>Figure III-40</b>	<b>photoélectrique et photovoltaïque</b>	<b>62</b>
<b>Figure III-41</b>	<b>Hall</b>	<b>63</b>
<b>Figure III-42</b>	<b>Sections du réseau</b>	<b>64</b>
<b>Figure III-43</b>	<b>Langages de programmation des API</b>	<b>65</b>
<b>Figure III-44</b>	<b>Vue du portail</b>	<b>66</b>
<b>Figure III-45</b>	<b>Vue du projet</b>	<b>66</b>

## Liste des Figure

<b>Figure III-46</b>	<b>Vue du portail</b>	<b>66</b>
<b>Figure III-47</b>	<b>Vue du projet</b>	<b>67</b>
<b>Figure III-48</b>	<b>Créer un projet</b>	<b>67</b>
<b>Figure III-49</b>	<b>ajouter un appareil</b>	<b>68</b>
<b>Figure III-50</b>	<b>l'onglet information</b>	<b>68</b>
<b>Figure III-51</b>	<b>Adressage des E/S</b>	<b>69</b>
<b>Figure III-52</b>	<b>Mémento de cadence</b>	<b>69</b>
<b>Figure III-53</b>	<b>Adresse Ethernet de la CPU</b>	<b>70</b>
<b>Figure III-54</b>	<b>charger la configuration dans l'automate(liaison)</b>	<b>70</b>
<b>Figure III-55</b>	<b>charger la configuration dans l'automate</b>	<b>71</b>
<b>Figure III-56</b>	<b>Adresses symbolique</b>	<b>71</b>
<b>Figure III-57</b>	<b>Table des variables (Adressage)</b>	<b>72</b>
<b>Figure III-58</b>	<b>Table des variables</b>	<b>72</b>
<b>Figure III-59</b>	<b>IHM</b>	<b>73</b>
<b>Figure III-60</b>	<b>SCADA</b>	<b>77</b>
	<b>CHAPITRE.IV</b>	
<b>Figure IV-1</b>	<b>CANAL HYDRAULIQUE</b>	<b>79</b>
<b>Figure IV-2</b>	<b>éléments de canaux hydrauliques</b>	<b>80</b>
<b>Figure IV-3</b>	<b>Composants du canal hydraulique</b>	<b>85</b>
<b>Figure IV-4</b>	<b>GRAFCET de système</b>	<b>86</b>
<b>Figure IV-5</b>	<b>Circuit de Commande</b>	<b>86</b>
<b>Figure IV-6</b>	<b>Circuit de Puissance</b>	<b>87</b>
<b>Figure IV-7</b>	<b>Ladder diagramme</b>	<b>88</b>
<b>Figure IV -8</b>	<b>Créer un projet</b>	<b>89</b>
<b>Figure IV -9</b>	<b>Mise en route</b>	<b>89</b>
<b>Figure IV -10</b>	<b>Ajouter un appareil</b>	<b>89</b>
<b>Figure IV -11</b>	<b>Ajouter un appareil (référence)</b>	<b>90</b>
<b>Figure IV -12</b>	<b>Interface d'écriture de Programme</b>	<b>90</b>
<b>Figure IV-13</b>	<b>Tableau de variable</b>	<b>91</b>
<b>Figure IV-14</b>	<b>Ajouter un appareil</b>	<b>91</b>

## Liste des Figure

---

<b>Figure IV -15</b>	<b>Station PC</b>	<b>92</b>
<b>Figure IV -16</b>	<b>Appareils and réseaux</b>	<b>92</b>
<b>Figure IV -17</b>	<b>Interface secteur SCADA</b>	<b>92</b>
<b>Figure IV -18</b>	<b>SCADA de projet</b>	<b>93</b>

## Glossaire

**PC** : Partie Commande

**PO** : Partie Opérative

**PR** : Partie Relation

**API** : Automate Programmable Industriel

**PLC** : Programmable Logic Controller

**IHM** : Interface Homme Machine

**SCADA** : SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION

**PID** : Proportionnel, Intégral, Dérivé

**SAP** : Systèmes, Applications et Produits

**CAN** : convertisseur analogique numérique

**CNA** : convertisseur numérique analogique

**GRAFCET** : **GRA**phe **F**onctionnel de **C**ommande **E**tape-**T**ransition

**ROM** : mémoire morte

**RAM** : mémoire vive

**LD** : Ladder diagram

**FBD** : Function Bloc Diagram

**IL** : Instruction list

**ST** : Structured Text

## Nomenclature

**dB** : décibels

**S** : second

**ωg** : omega-gate

**L** : phase

**N** : Neutre

**Dcy** : Bouton Start

**ART** : bouton d'arrêt d'urgence

**NIV** : capteur de mesure de distance

**KM** : relais électromagnétique

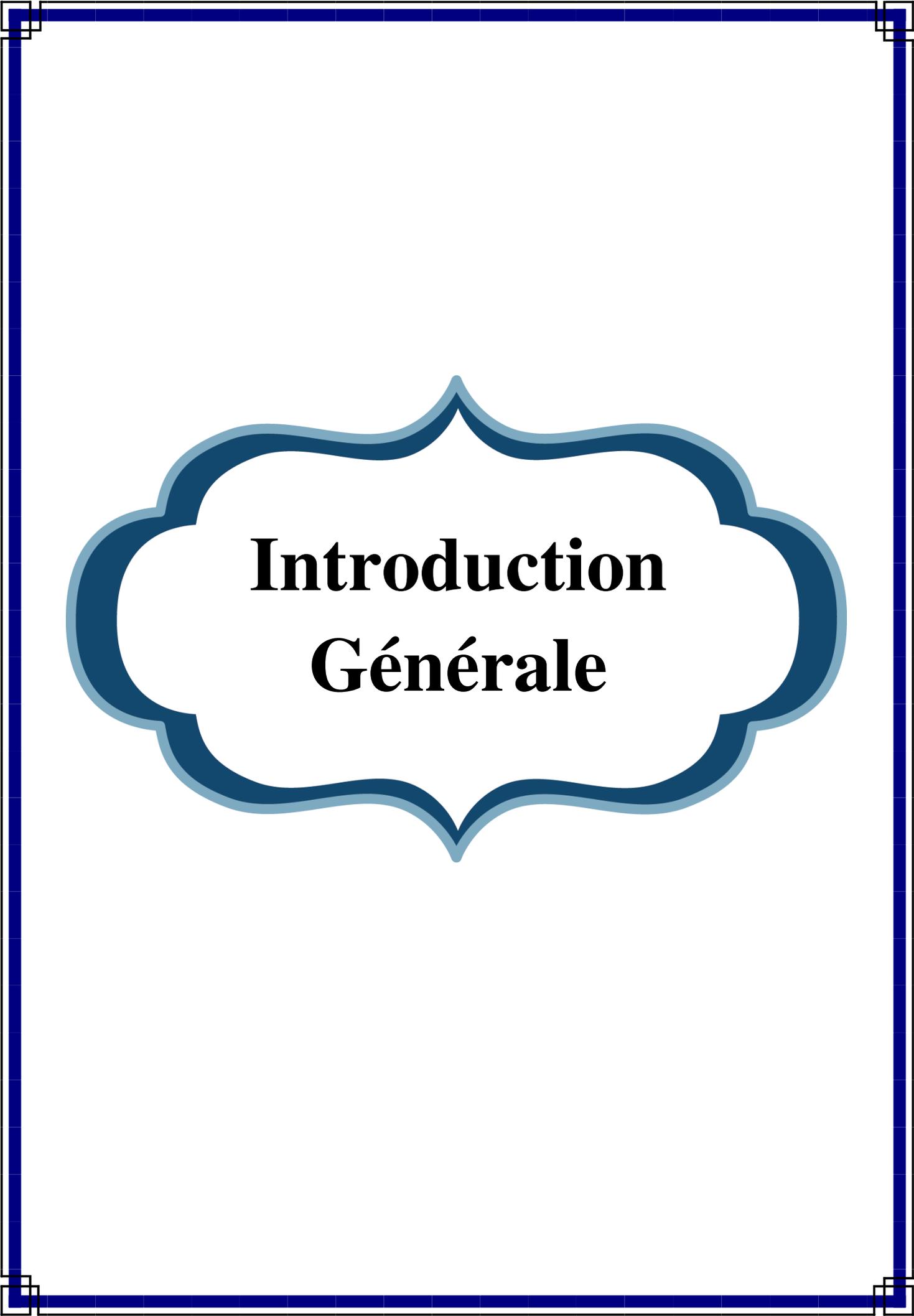
**EV** : relais Électrovanne

**M** : Pompe

**F** : Relais thermique

**DJ** : disjoncteur différentiel

**VAL** : La valeur saisie



# **Introduction Générale**

# INTRODUCTION GENERALITE

---

La science automatique envisage l'abolition de l'influence humaine dans le domaine industriel, et bien sûr cette annulation doit être conforme aux règles établies et aux techniques spécifiques qui ont pu compenser le contrôle des balles pour effectuer certaines tâches parce que la nature humaine se sent fatiguée et manque de concentration de temps en temps pendant son travail surtout si c'est pendant de longues heures cela peut entraîner des erreurs ou un manque de précision et de productivité, mais la machine chante toutes ces choses en permanence de la manière programmée sur elle garde le temps, la vitesse et la précision de travail sans perte de productivité La machine réduit les coûts de production Augmente les heures de travail et nous permet de contrôler avec précision la quantité de production Large et donc la possibilité de répondre à toutes les applications sans avoir besoin d'augmenter le nombre de travailleurs. Ou changer, et la classification de sécurité Automatisation plus de sécurité pour les travailleurs et si le lieu de travail contient des matières dangereuses qui peuvent être toxiques ou explosives ne nécessite pas de présence humaine pour le fait que la machine n'est pas affectée par ces matières, et ce développement régional et clair a été témoin expansion ces dernières années grâce au progrès technologique Pour devenir une industrie moderne majeure, grâce au développement de machines industrielles qui simulent le mode de travail humain, mais avec plus de précision et de rapidité .

Ce mémoire, se décompose de quatre chapitres :

## **Le premier chapitre:**

Ce chapitre comprend toutes les définitions des organisations automatisées et l'historique de leur émergence, de leur développement et de leur propagation dans le monde et les domaines qui étaient fortement requis en plus de leurs aspects positifs et négatifs dans l'industrie et l'emploi, etc.

## **Le deuxième chapitre:**

Ce chapitre comprend la structuration du système automatisé, la définition de tous ses composants, comment se déplacer et communiquer entre eux pour former un système intégré, et les différentes façons de maintenir sa stabilité et sa productivité.

## **Dans le troisième chapitre :**

Nous nous familiariserons avec les différents matériels et logiciels utilisés dans le système automatisé, la méthode de connexion, de fonctionnement et de contrôle, et même certaines méthodes de diagnostic et de maintenance.

# INTRODUCTION GENERALITE

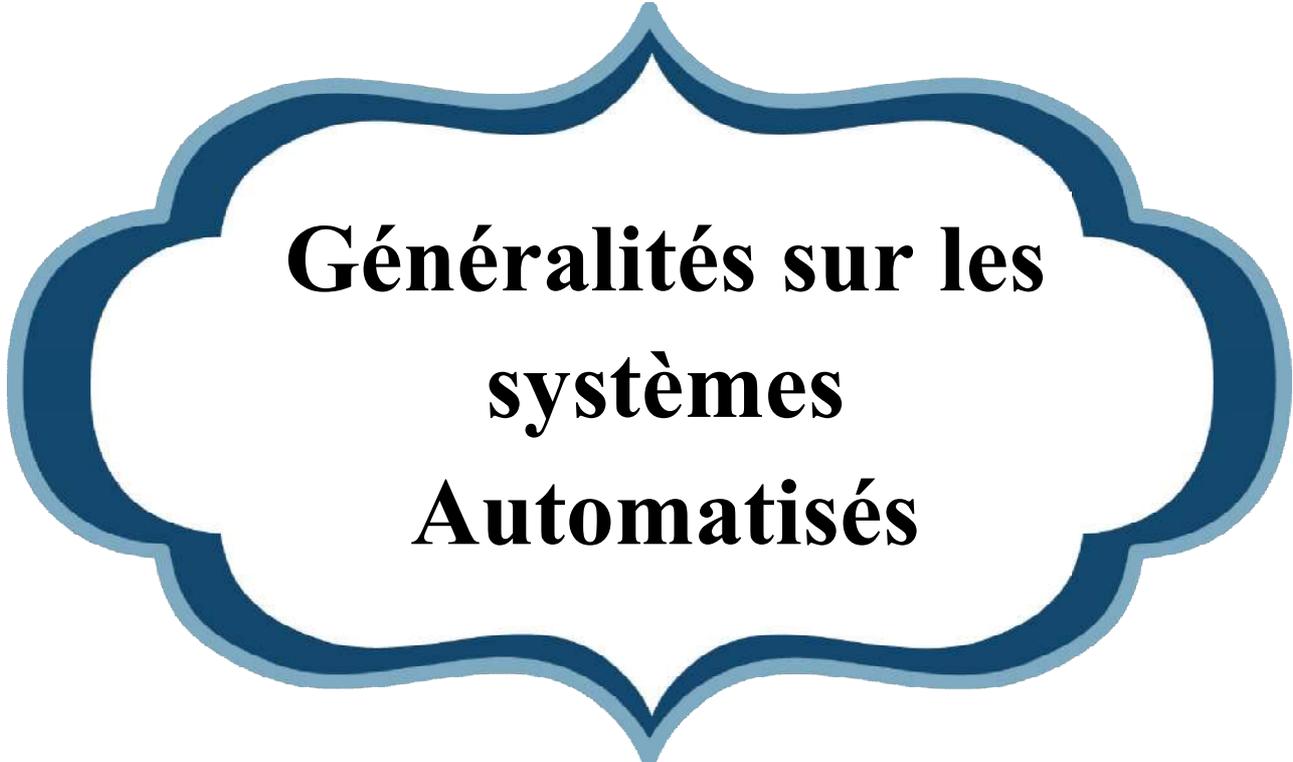
---

**Dans le dernier chapitre :**

Nous choisirons un système de production spécifique entièrement automatisé qui est un canal hydraulique avec une pente variable, et nous l'appliquerons à tout ce qui est mentionné dans les chapitres précédents et nous le modéliserons et le simulerons à l'aide de divers programmes avec la possibilité de le réaliser sur le terrain.

# **CHAPITRE**

## **I**



**Généralités sur les  
systèmes  
Automatisés**

## I.1 – INTRODUCTION :

"Depuis toujours l'homme est en quête de bien être". Cette réflexion (qui rejoint la notion de besoin) peut paraître bien éloignée d'un cours de Sciences Industrielles, pourtant c'est la base de l'évolution des sciences en général, et de l'automatisation en particulier. L'homme a commencé par penser, concevoir et réaliser. Lorsqu'il a fallu multiplier le nombre d'objets fabriqués, produire en plus grand nombre, l'automatisation des tâches est alors apparue : remplacer l'homme dans des actions pénibles, délicates ou répétitives.

Citons pour exemple quelques grands hommes, avec les premiers développements de l'ère industrielle au XVIIIème siècle, Watt, avec ses systèmes de régulation à vapeur, Jacquard et ses métiers à tisser automatiques... Une liste exhaustive serait bien difficile à établir !

Enfin, le développement des connaissances, et des outils mathématiques, ont conduit à un formidable essor des systèmes automatisés, et des systèmes asservis, dans la deuxième moitié du 20ème siècle. Certains se hasardent à rapprocher l'Automatique et la philosophie, observant d'étranges similitudes entre les processus propres à l'homme et l'approche technologique.

Mais au fait qu'est-ce qu'un système ? Bien difficile de répondre à une telle question ! Notre point de vue porte sur les systèmes de production et les systèmes pluri-techniques en général, nous pouvons néanmoins en donner une définition plus large.

**Système : toute structure dont la fonction globale est de conférer une valeur ajoutée à un ensemble de matières d'œuvre, dans un contexte donné.**

## I.2 - Définition d'un système :

Un système permet de conférer une valeur ajoutée à un ensemble de matières d'œuvre dans un environnement ou un contexte donné.

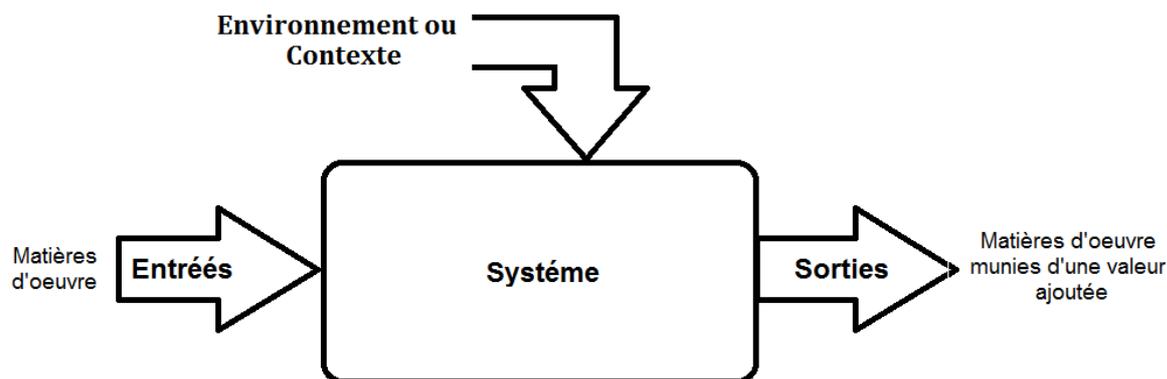


Figure I-1- Présentation d'un système

La matière d'œuvre peut se présenter sous plusieurs formes à savoir :

- Produit : liquide, solide, gazeux,
- Énergie : électrique, thermique, mécaniques, etc.
- Information : physique, audiovisuel, etc. o etc.

La valeur ajoutée est caractérisée par sa nature, sa quantité et sa qualité. Elle peut être soit:

- Une modification physique: conversion d'énergie, mécanique, etc.
- Un arrangement particulier: montage, assemblage, etc.
- Un prélèvement d'information : mesure, contrôle, etc.

Environnement ou contexte : c'est le contexte physique, social, économique, politique, etc. qui joue un rôle essentiel dans le fonctionnement du système et influe sur la qualité et/ou la quantité de la valeur ajoutée[1].

## I.3 - Définition d'un système de production

Un système de production est un système à caractère industriel possédant les caractéristiques suivantes :

- L'obtention de la valeur ajoutée présente un caractère reproductible.
- La valeur ajoutée peut être exprimée et quantifiée en termes économiques .

Un système de production répond au besoin d'élaborer des produits, de l'énergie ou de l'information à un coût rentable pour l'utilisateur du système. L'élaboration de la valeur ajoutée sur les matières d'œuvre est obtenue :

- Au moyen d'un ensemble de dispositifs opératifs appelés **partie opérative (PO)**.
- Par l'action d'opérateurs humains et/ou de dispositifs de commande pour assurer la coordination des dispositifs opératifs.

Tout système de production possède une structure semblable au schéma suivant :

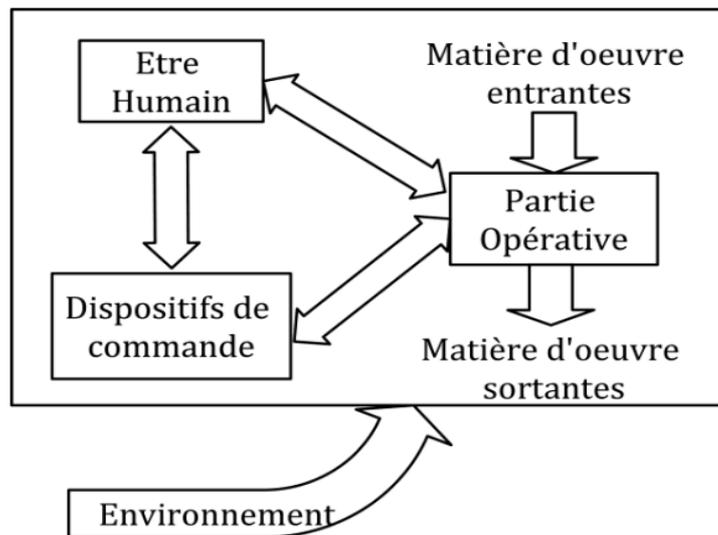


Figure I-2- Structure d'un système de production

#### I.4 - Définition Système automatisé :

Un système **automatisé** ou **automatique** est un système réalisant des opérations et pour lequel l'homme n'intervient que dans la programmation du système et dans son réglage. Les buts d'un système automatisé sont de réaliser des tâches complexes ou dangereuses pour l'homme, effectuer des tâches pénibles ou répétitives ou encore gagner en efficacité et en précision[1].

#### I.5 - Définition des systèmes automatisés de production :

Devant la compétitivité sans cesse croissante et de plus en plus dure demandée aux industries, qu'elles soient mécaniques, de transformation de produit ou de grande consommation, les industriels doivent garder leur outils de production, performant et fiable.

Dans ce domaine, l'automatisation tient une place très importante. Aujourd'hui, il serait difficile de concevoir un système de production sans avoir recours aux différents technologies et composants qui forment les systèmes automatisés de production. Il faut

cependant noter que les moyens de production malgré les avantages qu'ils présentent, peut engendrer certains inconvénients qu'il ne faut pas négliger[1].

### I.5.1 L'automatisation :

L'automatisation de la production consiste à transférer tout ou partie des tâches de coordination, auparavant exécutées par des opérateurs humains, dans un ensemble d'objet technique appelé **Partie Commande (PC)**.

La partie commande mémorise le savoir-faire des opérateurs pour obtenir la suite des actions à effectuer sur les matières d'œuvre afin d'élaborer la valeur ajoutée. Elle exploite un ensemble d'informations prélevées sur la partie opérative (PO) pour élaborer la succession des ordres nécessaires pour obtenir les actions souhaités.

Le schéma suivant détaille le principe de l'automatisation[1].

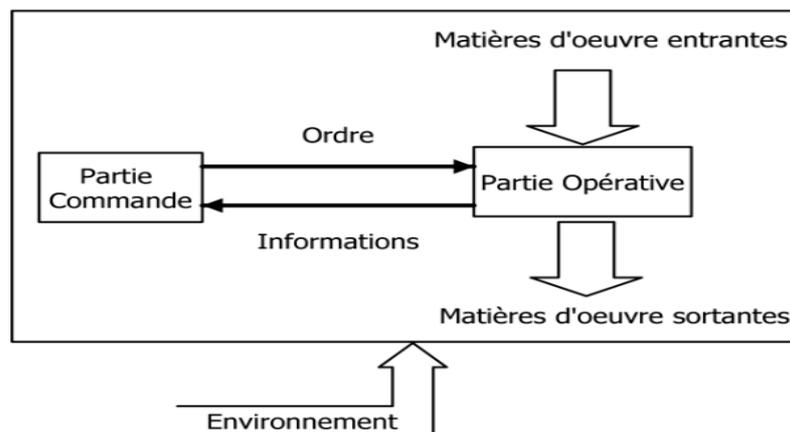


Figure I-3- Principe d'automatisation

### I.6 - Histoire de AUTOMATISMES :

Les prémices de la technique de l'automatisation trouvent leur origine dès le 18<sup>e</sup> siècle. En 1785, Edmond Cartwright inventa le métier à tisser entièrement mécanique. Grâce à de petites planches de bois, il était possible de fabriquer des motifs uniformes. Le métier à tisser était alors souvent entraîné par deux hommes fixes qui tournaient une manivelle. En utilisant le principe fondamental de la mécanisation, le métier à tisser marqua une étape décisive sur la voie de l'industrie.

Dès 1788, James Watt jeta les bases de la technique de l'automatisation. Il transposa le principe du régulateur centrifuge des moulins au génie mécanique. Lesdits composants régulaient la vitesse de la machine à vapeur de manière constante.

Ci-dessous les dates liées aux premières technologies d'automatisation à la fin des technologies programmables

- Les précurseurs tels que Blaise PASCAL (1623-1662) qui invente la première calculatrice « La Pascaline ».
- Origine de l'invention de l'ordinateur.

- Principe de la carte perforée, utilisé jusqu'à la fin des années 1970.
- Bardeen, Brattain & Shockley inventent le Transistor en 1949.
- Moore (1966) invente le microprocesseur et crée Intel.
- Grenelle (1972) invente le 1er micro-ordinateur
- 1974 : Premiers Automates Programmables Industriels.

## I.6.1 Les ancêtres des robots :

### I.6.1.1 : LE XVIII ème siècle, époque des androïdes et animaux artificiels :

Les véritables **automates** sont nés en plein siècle des lumières avec l'art de **l'horlogerie**.

Cette époque, dominée par l'esprit scientifique voit naître de nombreuses créatures artificielles qui tentent de copier trait pour trait la nature animaux mécaniques et **androïdes** (automate à figure humaine) sont ainsi réalisés par des horlogers-mécaniciens attirés par la médecine et les sciences naturelles.

Ensuite sont apparus les machines ou objets programmables capables d'effectuer diverses actions en fonction d'un « **programme** » qu'on leur fait .

Cet orgue mécanique du début du siècle peut jouer différents morceaux de musique enregistrés. Le son est obtenu par l'envoi dans certains tuyaux de l'orgue, d'un jet d'air produit par un soufflet.



Figure I-5 Orgue Mécanique .

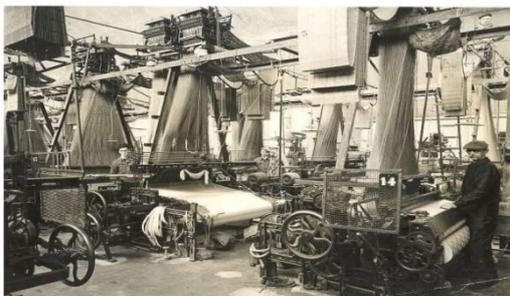


Figure I -4 Atelier de tissage en 1953 a Fresnoy-le-Grand - métiers avec jacquard

Le dessin réalisé sur le tissu correspondait à la disposition des trous sur la carte. L'invention de Jacquard permettait à un seul ouvrier d'effectuer un travail qui, auparavant, nécessitait la présence de 3 ouvriers. Cette invention fut l'une des causes de la révolte à Lyon, des ouvriers du tissage de la soie (révolte des « Canuts »)

Dans cette fabrique de tapis, on peut voir des métiers à tisser du type **Jacquard** (du nom de son inventeur), dans lesquels des **cartes perforées** défilaient devant un système de lecture[2].



Figure I -6 L'invention de Jacquard

## I.6.2 Les Robots :

Un automate est une machine capable d'acte imitant ceux des corps animés. Apparue dès 1532, ce mot formé à partir du grec **automatos** qui signifie « qui se meut soi-même ».

**Robot** : Ce mot est né avec une pièce de théâtre créée en 1920 par l'écrivain tchèque Karel Capek. Cette pièce mettait en scène des ouvriers artificiels et **androïdes** fabriqués pour exécuter à la place des hommes des travaux pénibles et ennuyeux. Karel Capek donna à ces êtres le nom de « robota » qui en tchèque signifie « travail forcé, corvée »

Il y a un quart de siècle les robots n'existaient que dans l'imaginaire des auteurs de science-fiction : êtres artificiels, souvent **androïdes**[2].

## I.6.3 Automates Dans l'industrie :

Dans l'industrie, la mécanisation du travail est assurée par des machines automatiques. Celle-ci sont conçues pour réaliser très efficacement un seul et même type d'opération, qu'elles répètent inlassablement .

Ces machines, peu évolutives sont souvent mises au rebut ou remplacées par d'autres chaque fois que de nouvelles pièces sont à fabriquer. Ce renouvellement représente un investissement très coûteux pour les entreprises...

### I.6.3.1 La machine à commande numérique:

Les années 70 ont vu naître les robots de première génération :



Figure I -7Machine à enrouler le sparadrap sur des rouleaux    Figure I -8 Machine à remplir des pots de peinture

Les années 70 ont vu naître les robots de première génération : Dotées d'un système de pilotage informatisé, elles présentent l'avantage d'être programmables et par ce fait elles peuvent s'adapter aux caractéristiques particulières de différentes pièces.

### I.6.3.2 Les robots modernes :



Figure I -9 bras robotiques industriels

Dans le secteur industriel, il désigne généralement un système muni d'un bras articulé capable ainsi de manœuvrer dans toutes les directions l'outil dont il est chargé.

Un robot est un outil industriel programmé pour **effectuer des tâches de façon automatique**. Il supplée à l'homme dans les tâches dangereuses, génératrices de TMS ou rébarbatives. Il se compose d'un bras poly articulé, d'une baie de commande et d'un pupitre de programmation.

Un robot est livré nu. En l'état, il n'est pas à même de réaliser quoi que ce soit seul : il faut équiper le bras d'un outil afin de réaliser les opérations industrielles demandées (caméra, torche de soudure, brosse d'usinage...) et programmer le robot. Le travail d'un intégrateur comme Actemium est de **livrer une installation clés en main** : concevoir, étudier, réaliser et intégrer le reste des éléments nécessaires à son fonctionnement conformément à vos attentes et spécifications et dans le respect de la réglementation.

En automatisant votre production, le robot industriel vous permet **d'augmenter votre productivité et d'améliorer la qualité de vos produits**. Plus flexible qu'une machine spéciale, il vous permet d'adapter vos lignes de production en cas de changement.

## **I.7 -Transition des systèmes traditionnels aux systèmes automatisés :**

Avant de passer aux usines automatisées, nous devons remonter dans le temps jusqu'au XVIIIe siècle. C'est à cette époque que les premiers pas vers la fabrication automatisée ont été faits en Angleterre. La révolution a eu lieu dans le secteur du textile – de puissantes machines mécaniques ont été introduites et ont changé la façon dont les gens travaillaient. Les premiers systèmes automatisés n'avaient rien à voir avec les solutions modernes ; ils avaient des fonctions simples et nécessitaient encore de main d'œuvre pour les faire fonctionner. Cependant, au XIXe siècle, la période de la vapeur et de l'électricité a commencé, et les premières machines à vapeur – les ancêtres des voitures actuelles – sont nées. C'était une période de questionnement sur l'avenir des entreprises et des changements sociaux radicaux découlant des problèmes technologiques. Ce n'était pas encore l'époque de la robotisation, mais à partir de ce moment, la relation homme-machine a commencé à être perçue différemment[3].

### **I.7.1 - DE la troisième révolution industrielle à l'Industrie 4.0 :**

La troisième révolution industrielle a été la conséquence des changements politiques et de l'instabilité entre les États-Unis et la Russie pendant la guerre froide. Pendant cette période, la demande de biens (auparavant considérés comme des articles de luxe) alimentée par le capitalisme et le consumérisme américains a augmenté rapidement. Malgré ses origines tristement célèbres, nous l'appelons la révolution scientifico-technique. En conséquence, elle a amorcé le processus de développement de la production mécanique de biens, la construction d'usines modernes et – ce qui nous concerne particulièrement – l'utilisation de robots dans la fabrication des voitures. La mentalité des producteurs a également changé, puisqu'ils ont commencé à se concentrer sur l'implantation de la production dans des régions ayant un potentiel démographique. À proximité d'universités renommées, des centres spéciaux (technopoles) ont été créés, qui contribuent encore au développement, comme la Silicon Valley. La troisième révolution a porté la technologie à

son apogée. Cependant, les meilleures technologies – à savoir l'industrie 4.0 et la robotisation complète dans de nombreux domaines de production – n'étaient pas encore au rendez-vous[3].

### **I.7.2 -Fabrication de systèmes d'automatisation dans les usines automobiles :**

Réfléchissons à la perte de temps qu'entraînait la production dans le passé. Nous parlons de main-d'œuvre et de ressources, mais surtout du temps qu'il fallait pour développer une nouvelle solution et la mettre en œuvre dans les usines. Aujourd'hui, d'énormes économies ont été réalisées et pour cause. L'ensemble de l'industrie fonctionne beaucoup plus efficacement. Des chaînes d'approvisionnement ont été développées et les consommateurs sont de plus en plus exigeants en matière de nouvelles technologies. Ils sont particulièrement attirés par l'innovation de solutions axées sur les produits. L'une des conséquences négatives de l'utilisation de l'automatisation pour améliorer la production est la nécessité de remplacer les travailleurs moins qualifiés par des robots automatisés. Il ne s'agit souvent pas d'un choix, mais d'une nécessité due à l'apparition de l'industrie 4.0 et à ses solutions. Dans une usine moderne, les robots sont responsables de la gestion de la production, de l'exécution de l'ensemble du processus, de la garantie qu'aucune erreur n'est commise et du maintien d'un niveau de travail optimal avec une consommation d'énergie minimale. C'est ainsi que les lignes de production les plus avancées se présentent aujourd'hui[3].

### **I.8 - Objectifs de l'automatisation :**

L'automatisation permet d'apporter des éléments supplémentaires à la valeur ajoutée. Ces éléments sont exprimables en termes d'objectifs :

- La recherche des coûts plus bas pour le produit par la réduction des frais de main d'œuvre, d'économie d'énergie, d'économie de la matière, etc. ...
- La recherche d'une meilleure qualité du produit en limitant le facteur humain et multipliant les contrôles automatisés .
- L'amélioration de la flexibilité de la production .
- La suppression des travaux dangereux ou pénibles et l'amélioration des conditions de travail .
- La réalisation d'opérations impossibles à contrôler manuellement, pas exemple des assemblages miniatures, des opérations très rapides, des coordinations complexes .

### **I.9 - Les domaines d'application de la technique de l'automatisation :**

La technique de l'automatisation et ses systèmes sont désormais utilisés dans presque tous les aspects de la vie quotidienne. L'automatisation des produits ménagers est ainsi devenue incontournable comme le montre le lave-vaisselle par exemple. Les véhicules offrent un supplément de sécurité et de confort grâce au système de frein antiblocage et à la transmission automatique. La technique de l'automatisation est également présente dans l'électronique du divertissement – La Smart Home en est un exemple très actuel.

L'automatisation occupe aussi une place de choix dans le domaine de la production. Les technologies automatisées apparaissent également dans les installations du génie technologique par exemple, comme dans les installations des centrales électriques et des chaînes de fabrication. Parmi les secteurs qui ont largement recours à ces solutions, l'on trouve notamment l'industrie automobile, le génie mécanique, l'industrie électrique, mais également l'aéronautique. Le besoin de l'industrie en automatisation intelligente croît de manière exponentielle et ne semble pas vouloir stagner dans un futur proche[6].

## **I.10 - Avantages pratiques de l'Automatisation :**

Les systèmes automatisés offrent de nombreux avantages. Ils effectuent à la place des humains des travaux dangereux et physiques. Les tâches répétitives et fatigantes aussi sont effectuées par la machine. Ce n'est pas pour rien que le progrès de l'automatisation est en lien étroit avec la croissance démographique. Car avec l'augmentation de la population est né le besoin en biens de haute qualité et la production de masse est née.

Outre le soulagement offert aux humains, la technique de l'automatisation présente des avantages supplémentaires : les machines offrent une performance continue de haut niveau. Leur rythme de travail dépasse considérablement la vitesse des processus effectués manuellement. Par ailleurs, la technique de l'automatisation améliore la qualité des produits et réduit les coûts de personnel.

Aussi bien que :

1. Éliminer la manipulation de documents papier.
  - Tout se fait de façon numérique, alors il est possible de facilement stocker l'information sur le système, donc de réduire les coûts additionnels d'entreposage de documents physiques.
  - Le temps de recherche de l'information est aussi optimisé.
2. Maximiser la productivité des tâches que seulement les employés peuvent faire
  - L'un des principaux attraits de l'automatisation est qu'elle libère votre talent humain pour faire ce que les humains font de mieux : la création de plans d'affaires et de plans ingénieux pour éliminer des coûts, prendre des décisions importantes, etc. Toutes des méthodes créatives et innovantes qu'un système automatique ne peut faire.
  - Se concentrer sur les tâches plus importantes.
3. Définir vos processus d'affaires
  - Pour automatiser, vous devez marquer tout ce qui est impliqué dans le processus de votre entreprise avant de pouvoir configurer l'automatisation. Ce marquage rend tout visible — vous obtenez une image beaucoup plus claire de ce qui est dans votre entreprise!

#### 4. Faire de meilleures projections

- Avec un BPA (Business Process Automation), vous avez les outils pour surveiller tout, tout le temps. Ce qui, à son tour, aboutit à des ensembles de données beaucoup plus précis et à des projections plus précises des besoins et des revenus futurs des entreprises.

#### 5. Identifier les ressources inutilisées

- Au-delà de meilleures prévisions sur ce que vous allez vendre et ce dont vous aurez besoin pour fabriquer vos produits, un bon BPA vous permettra de détecter les ressources sous-utilisées ou inutilisées (par exemple, les téléphones cellulaires rendus orphelins par un employé partant). L'automatisation des processus vous permettra d'identifier et de réaffecter vos ressources inutilisées.

#### 6. Permettre et faciliter de nouvelles opportunités d'affaires

- L'automatisation vous permet de configurer et de gérer des infrastructures de vente et de support dans des domaines que vous n'auriez jamais pu gérer en utilisant uniquement des ressources humaines.

#### 7. Économisez de l'argent, même pendant que vous dormez

- Vous êtes humain, et vous devez dormir, vous allez littéralement endommager votre santé si vous ne vous reposez pas assez. Tôt ou tard, vous devrez cesser de gérer physiquement vos opérations, ne serait-ce que pour donner à votre pauvre corps épuisé un repos bien mérité. Toutefois, cette limitation ne s'applique pas à vos systèmes automatisés. Les plateformes automatisées peuvent être configurées pour fonctionner toute la journée et toute la nuit, sans relâche et sans fin.

#### 8. Gérez facilement les équipes décentralisées dans différents fuseaux horaires

- Vous pouvez tristement seulement être à un endroit à la fois. Vous ne pouvez pas vraiment atteindre les endroits littéralement de l'autre côté du monde. Au moins, pas tout le temps. Les systèmes automatisés nous permettent de gérer les tâches des équipes décentralisées à travers plusieurs fuseaux horaires[4].

### **I.11 - Inconvénients de l'automatisation :**

L'automatisation de l'industrie permet d'améliorer le chiffre d'affaires d'une société en augmentant considérablement le rythme de production. Le souci est que cette démarche

entraîne des conséquences graves liées à l'automatisation systématique des procédés de fabrication. Ces machines industrielles deviennent plus flexibles et performantes .

### **I.11-1 Les enjeux énergétiques de l'automatisation industrielle :**

L'inconvénient avec l'automatisation industrielle est que le travail sera progressivement remplacé par les machines. Pour être toujours plus compétitif, le nombre de machines industrielles utilisées dans la plupart des procédés de fabrication se multiplie de manière exponentielle. La multiplication des machines-outils implique une augmentation de la consommation d'énergie. L'augmentation de la production entraîne la mise en place de systèmes en rapport avec les enjeux environnementaux .

La croissance de l'électricité présente un impact direct sur le coût de production. Comme le tarif de l'électricité est très élevé, il est parfois rentable d'investir dans de nouvelles sources d'énergie. Par exemple, pour l'Allemagne, les dépenses en électricité pour les entreprises qui bénéficient de l'automatisation de l'industrie sont de 8 % inférieures par rapport à la France concernant le secteur du papier et 21 % concernant le secteur de l'acier. Le fait est que le gouvernement allemand soutient largement l'utilisation des énergies renouvelables par rapport à la France .

### **I.11-2 Des machines industrielles qui remplacent l'homme :**

Le souci avec l'avènement du computer numerical command ou CNC est qu'il est désormais possible de commander une machine à partir d'un ordinateur. En dirigeant ainsi les actions des robots, cela risque d'entraîner la suppression des postes de plusieurs employés surtout ceux qui sont employés pour actionner les machines et vérifier que les opérations se déroulent correctement.

Les conséquences de l'automatisation de l'industrie sont inquiétantes puisque selon une étude réalisée par les chercheurs de l'université d'Oxford, en espace de 20 ans près de 47 % des métiers exercés actuellement sont sur le point de disparaître. Les industries font surtout appel aux techniciens et ingénieurs hautement qualifiés pour programmer les robots aux nouvelles conditions du marché.

### **I.11-3 L'effet de l'automatisation de l'industrie sur l'emploi :**

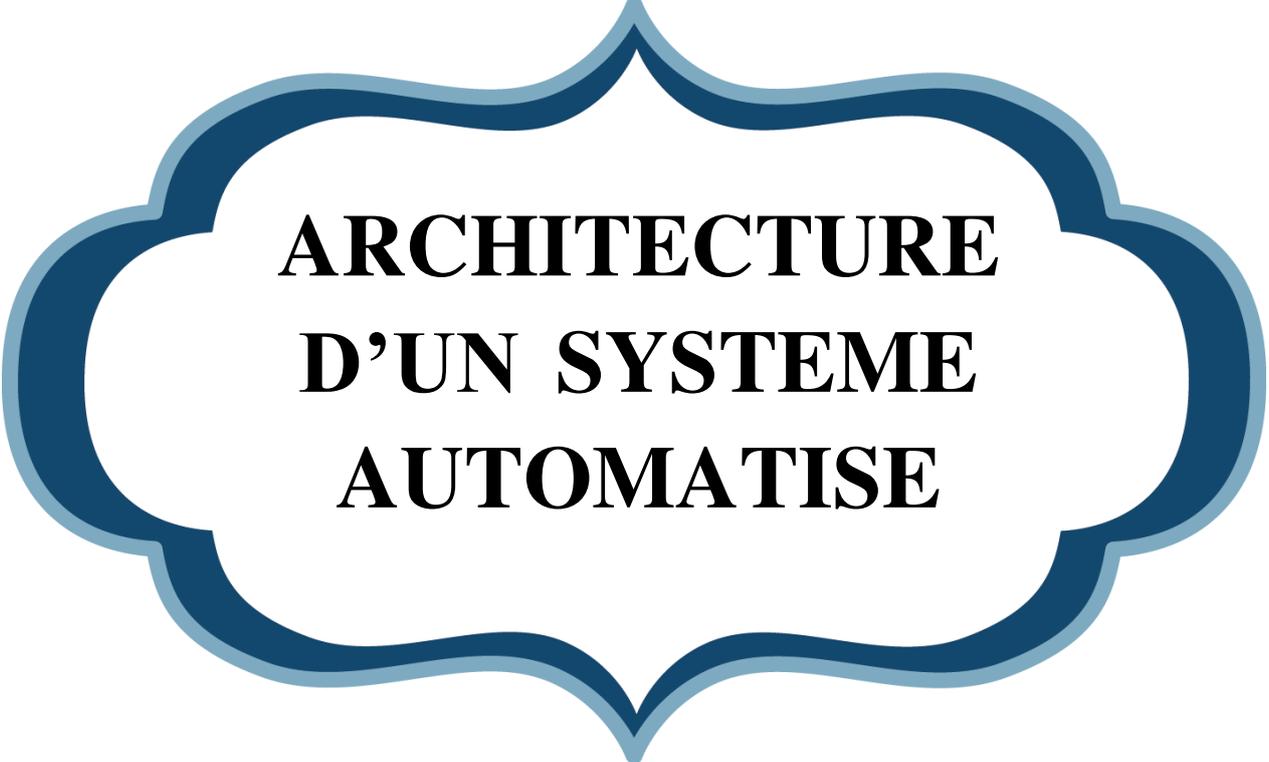
L'automatisation est certes bénéfique pour l'entreprise puisqu'en investissant sur ces appareils sophistiqués, on profite d'une machine-outil capable de produire en série et en grande quantité, tout en réduisant le nombre des produits défectueux. Certaines industries fonctionnent entièrement avec un système de communication interne garantissant une synchronisation de tous les équipements. Cette ère de la robotisation annonce une grande vague de chômage technologique. La révolution numérique est un phénomène qui entraîne la perte de nombreux emplois[5].

## **I.12 – CONCLUSION**

Les systèmes automatisés sont devenus une partie si importante de notre vie quotidienne que nous ne sommes pas toujours conscients de la technologie de ces appareils. Les utilisateurs interagissent très naturellement avec les machines à laver, les portes de garage, les ascenseurs, les distributeurs automatiques de boissons ou les stations de retrait automatique. Les lignes de production des usines modernes sont également équipées de systèmes automatisés capables d'effectuer de nombreuses tâches, parfois très complexes. Les trains et les avions sont équipés de nombreux systèmes automatisés faciles à conduire. C'est également le cas dans nos voitures actuelles qui sont encore pilotées manuellement pour le moment, mais les constructeurs travaillent actuellement sur le développement de voitures indépendantes avec des améliorations significatives des systèmes automatisés et dans les années à venir, nous assisterons à des transformations majeures de l'homme à la machine et la dépendance vis-à-vis de la machine augmentera considérablement .

**CHAPITRE**

**II**



**ARCHITECTURE  
D'UN SYSTEME  
AUTOMATISE**

## II.1 – INTRODUCTION :

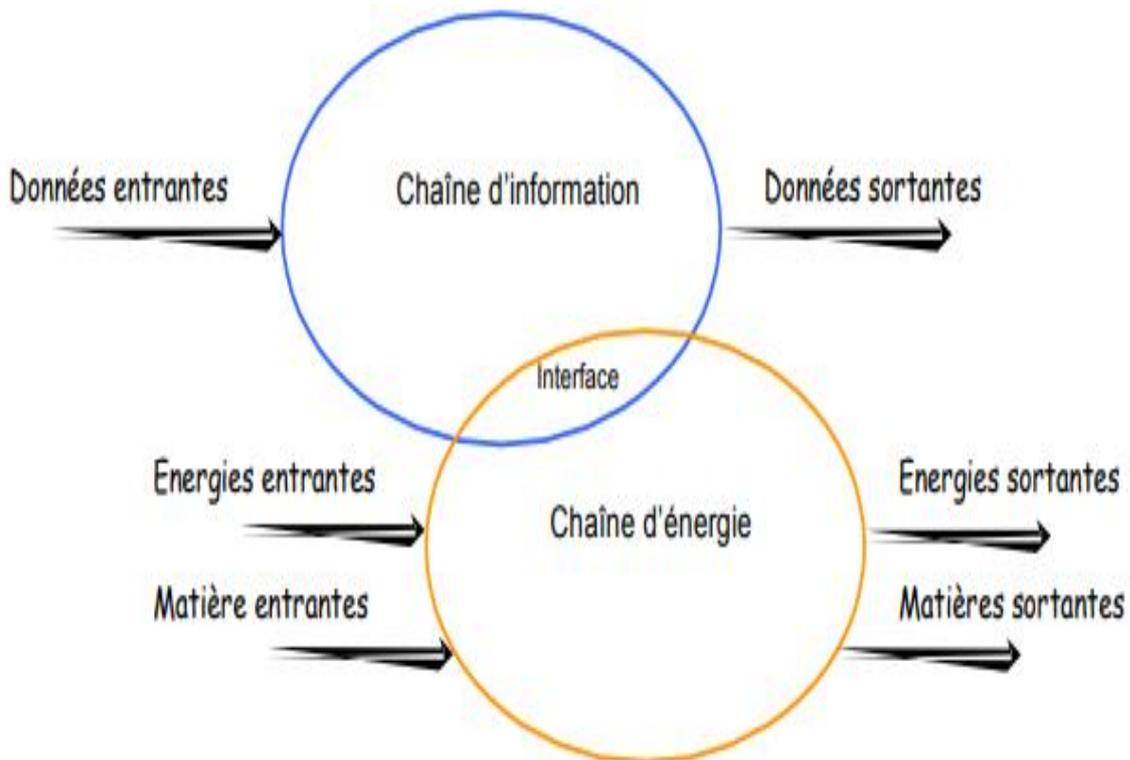
La fonction globale de tout système technique est d'apporter une valeur ajoutée à un flux de matière, de données (informations) et (ou) d'énergie.

Pour chacun de ces trois types de flux, un ensemble de procédés élémentaires de stockage, de transport et (ou) de traitement est mis en œuvre pour apporter la valeur ajoutée au(x) flux entrant(s).

On peut distinguer au sein des systèmes deux chaînes, l'une agissant sur les flux de données, appelée chaîne d'information, l'autre agissant sur les flux de matières et d'énergies, appelée chaîne d'énergie.

Dans le contexte de la numérisation industrielle, la complexité des systèmes industriels s'est considérablement accrue au cours des dernières décennies. Pour que les systèmes d'automatisation industrielle répondent aux besoins croissants.

Mais les architectures et les fondamentaux sont restés les mêmes, il est donc primordial de bien comprendre les architectures de l'automatisme avant de se lancer dans un projet. Ces architectures apportent une méthodologie et une normalisation, qui permet à un ensemble de milliers d'éléments que compose une usine ou un système peut fonctionner ensemble. Je vais vous expliquer dans cet article, ce qu'est une architecture automatisée, en donnant les axes d'évolutions qu'apporte l'industrie du futur.



**Figure II.1 : Structuration générale des systèmes automatisés**

## II.2- Un système automatisé :

ou automatique est un système qui exécute toujours le même cycle de travail qui est programmé à l'avance, sans l'intervention de l'utilisateur.

- L'opérateur assure la programmation, le démarrage et l'arrêt du système.
- Un système automatisé peut être composé de plusieurs systèmes automatisés.

Par contre, dans un système mécanique, l'utilisateur commande et contrôle l'ensemble des opérations.

La figure suivante présente un exemple d'un système automatisé industriel d'embouteillage[8].

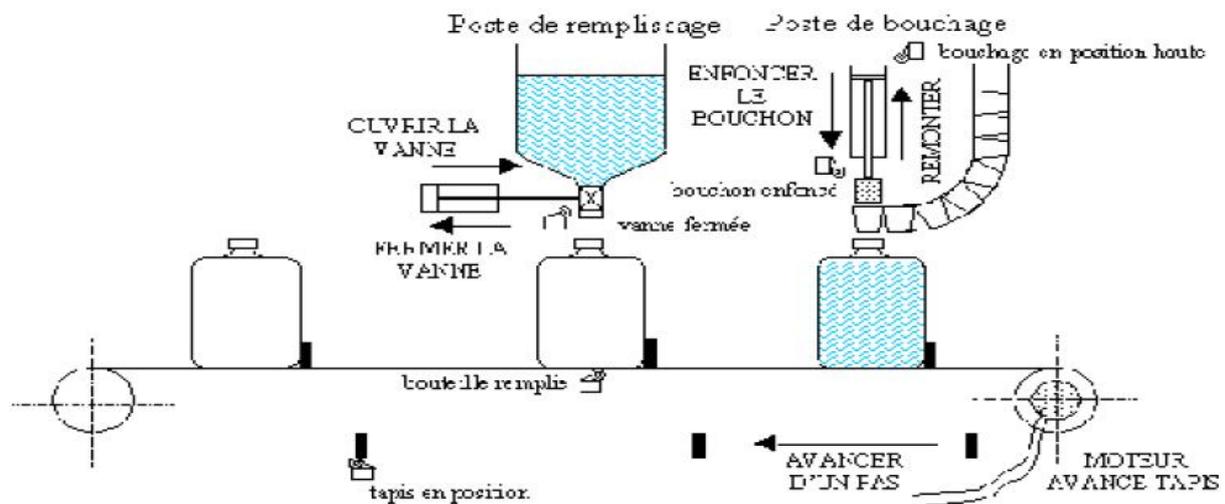


Figure II.2 : Système de remplissage automatisé

## II.3 Architecture générale des systèmes automatisés :

Un système automatisé est composé de deux parties principales : **la partie opérative** et **la partie commande** ; à lesquelles s'ajoute une troisième c'est **la partie de dialogue** :

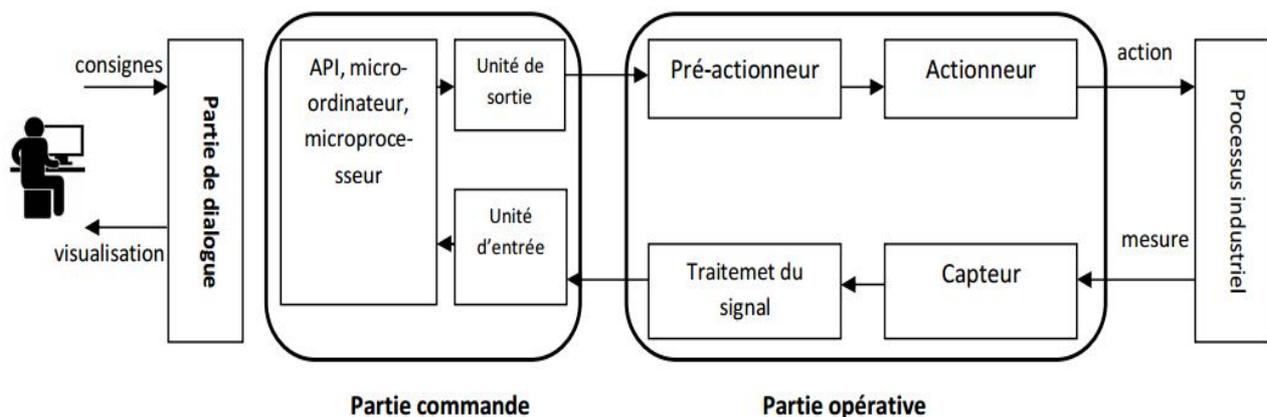


Figure II.3 : la structuration du système automatisé

Un système automatisé peut être assimilé à un Homme :

- Le Cerveau est la partie commande.
- Les 5 sens sont les capteurs.
- Les Muscles sont les actionneurs.
- Les Nerfs sont les liaisons entre ses diverses parties[8]..

### **II.3.1 - La partie opérative :**

La partie opérative se compose des ensembles suivants :

- L'unité de production (effecteurs) dont la fonction est de réaliser la fabrication ou la transformation pour laquelle elle remplit un rôle dans le processus industriel.
- Les préactionneurs qui sont directement dépendants des actionneurs et sont nécessaires à leur fonctionnement (distributeur pour un vérin...etc)
- Les actionneurs qui apportent à l'unité de production l'énergie mécanique nécessaire à son fonctionnement à partir d'une source d'énergie extérieure (cas d'un moteur par exemple).
- Les capteurs qui créent, à partir de grandeurs physiques de natures divers (déplacement, température, pression...etc.), des informations utilisables par la partie commande[8]..

### **II.3.2 La partie commande :**

La partie commande se compose des ensembles suivants :

- Les interfaces d'entrée qui transforment les informations issues des capteurs placés sur la partie opérative ou dans la partie dialogue en informations de nature et d'amplitude compatible avec les caractéristiques technologiques du système.
- Les interfaces de sortie qui transforment les informations élaborées par l'unité de traitement en informations de nature et d'amplitude compatibles avec les caractéristiques technologiques des préactionneurs d'une part, des visualisations et avertisseurs d'autre part ;
- L'unité de traitement (automates programmables industriels API, ordinateur, microprocesseurs) qui élabore les ordres destinés aux actionneurs en fonction des informations reçues des différents capteurs et du fonctionnement à réaliser.

### **II.3.3 - La partie dialogue :**

La partie dialogue se compose de deux ensembles :

- Les visualisations et avertisseurs qui transforment les informations fournies par l'automate en informations perceptibles par l'homme (informations optiques ou sonores) ;
- Les capteurs qui transforment les informations fournies par l'homme (action manuelle sur un bouton-poussoir, par exemple) et informations exploitables par l'automate..

### II.3.4 - La partie Relation (PR) :

Sa complexité et sa taille dépendent de l'importance du système. Il regroupe les différentes commandes nécessaires au bon fonctionnement du procédé : marche-arrêt, arrêt d'urgence, marche automatique, marche cycle/cycle...

L'outil de description s'appelle « GEMMA » (Guide d'Étude des Modes de Marche set Arrêts).

Ces outils graphiques (GRAFCET et GEMMA) sont utilisés également par les techniciens de maintenance, pour la recherche des pannes sur les SAP (Système Automatisé de Production). Pendant le fonctionnement, un dialogue continu s'établit entre les trois secteurs du système, permettent ainsi le déroulement correct du cycle défini dans le cahier de charges[8]..

### II.4 - La chaîne fonctionnelle :

Une chaîne fonctionnelle est l'ensemble de fonctions assurées par les constituants du système organisées en vue de l'obtention d'une tâche. On décompose une chaîne fonctionnelle en 2 chaînes : La chaîne d'information et la chaîne d'énergie.

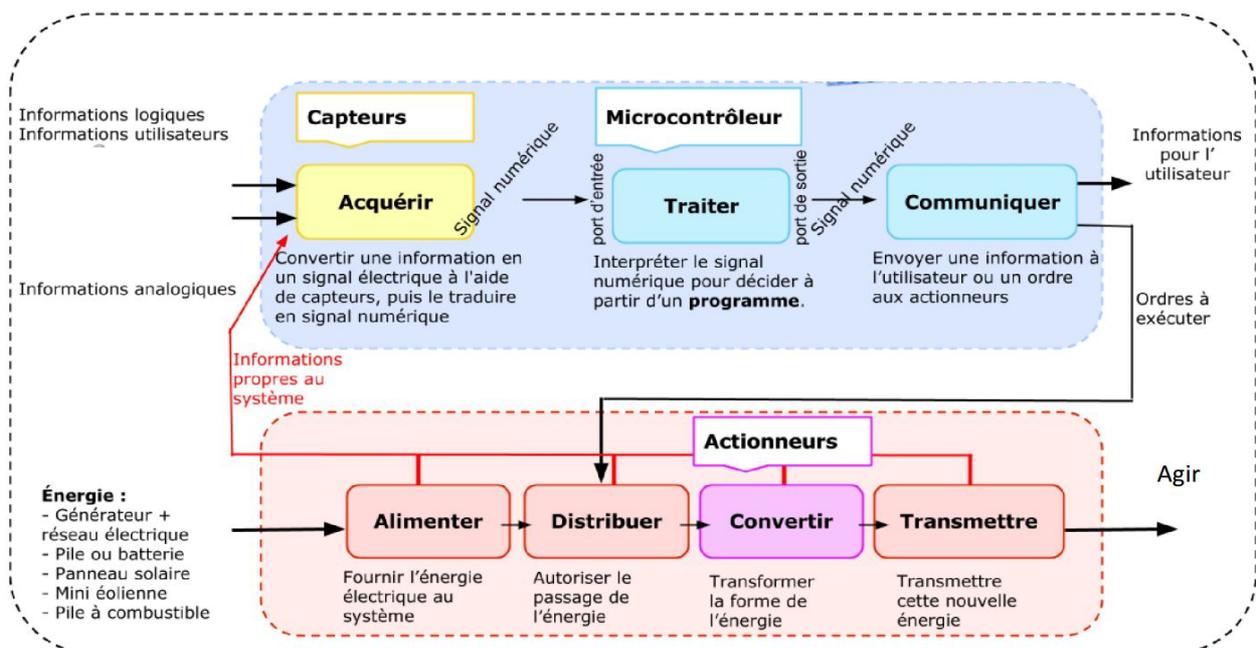


Figure II.4 : La chaîne fonctionnelle

## **II.4.1 - La chaîne d'information :**

Les chaînes d'information des systèmes automatisés comprennent majoritairement des composants et des cartes électroniques. De ce fait, les informations sont nécessairement des signaux électriques basse tension qui peuvent être de nature différente (analogique, numérique). Cette chaîne se décompose en 3 fonctions :

### **4.1.1 - La fonction « acquérir » :**

Les informations entrantes sont de deux sortes : Les consignes de l'opérateur et les comptes rendus de la chaîne d'énergie (des grandeurs physiques de position, vitesse, pression, température, débit, intensité...) qui sont recueillis par des capteurs)

### **4.1.2 - La fonction « traiter » :**

est assurée par la partie commande qui gère l'ensemble des informations.

### **4.1.3 - La fonction « communiquer » :**

se résume généralement à informer l'opérateur sur l'état du système, les actions à réaliser, certains défauts ou problèmes. Et les ordres envoyés à la partie opérative.

## **II.4.2 La chaîne d'énergie :**

C'est la partie opérative du système qui est chargée de réaliser ce pourquoi il a été conçu mais pour ce faire, elle consomme de l'énergie. Elle se décompose en 5 fonctions .

### **4.2.1 - La fonction « alimenter » :**

Généralement, l'énergie d'entrée est électrique, pneumatique ou hydraulique .

### **4.2.2 - La fonction « distribuer » :**

Les composants assurant cette fonction sont des préactionneurs dont le rôle est de distribuer l'énergie seulement s'ils en reçoivent l'ordre de la partie commande.

### **4.2.3 La fonction « convertir » :**

Dans la majorité des cas, l'énergie distribuée est électrique, pneumatique ou hydraulique. Pour agir sur la matière d'œuvre, on doit nécessairement obtenir une énergie mécanique ou thermique. On utilise pour cela des actionneurs qui convertissent l'énergie.

### **4.2.4 La fonction « transmettre » :**

pour transformer l'énergie, passer par exemple d'un mouvement de rotation à un mouvement de translation.

### **4.2.5. La fonction « action » :**

Les composants qui agissent directement sur la matière d'œuvre se nomment les effecteurs, ils servent à saisir, déplacer, fixer, assembler, modifier, trier, chauffer, etc. [9].

## II.5 - Les niveaux d'automatisation :

L'automatisation nécessite une reconception simultanée du produit, des moyens de production, et du processus. Comment mettre en œuvre un système automatisé complexe, sûr et efficace intégrant une multitude de moyens techniques et des moyens humains à des rythmes différents .

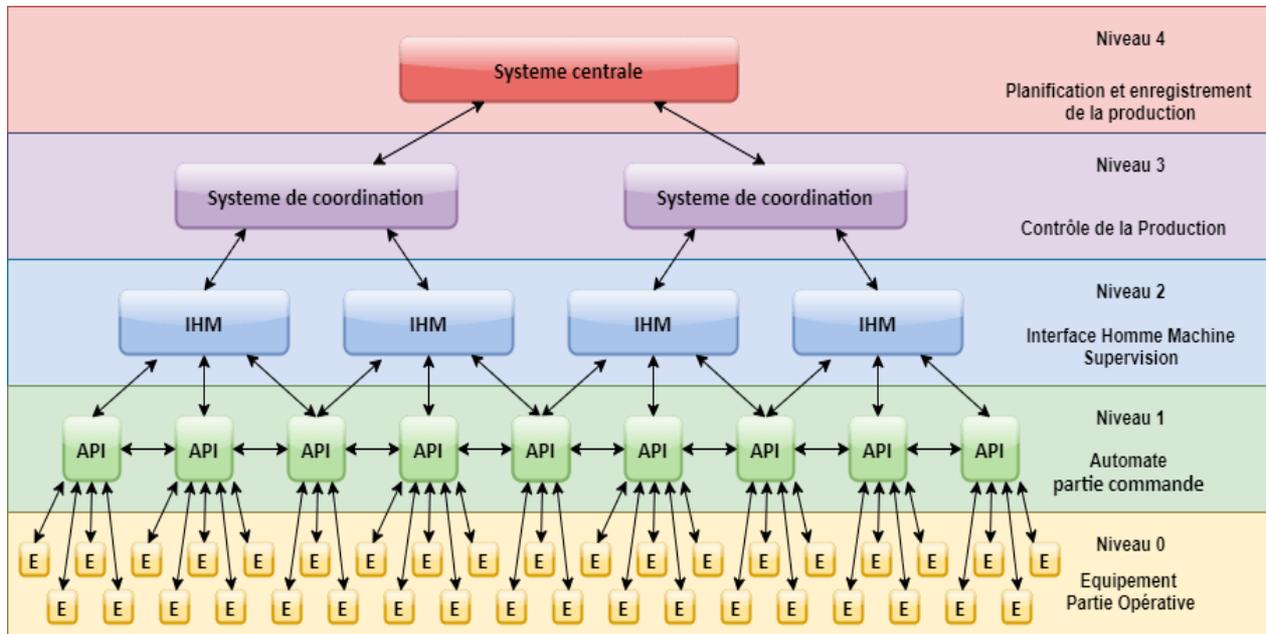


Figure II.5 : Les niveaux d'automatisation

Il y a différents degrés d'automatisation qui vont du niveau totalement manuel correspondant à 0% d'automatisation à un niveau total d'automatisation (100%) dans lequel l'homme ne joue aucun rôle dans l'accomplissement de la tâche. Cependant, dans la plupart des applications, l'opérateur humain et la machine automatisée coopèrent pour mener à bien la tâche ou la mission à accomplir. Dans les systèmes de haut degré d'automatisation, l'opérateur humain joue seulement le rôle de superviseur[9].

### II.5.1 - Niveau 0 - Partie Opérative Equipement :

Niveau du terrain, ou appelé aussi « partie opérative » est l'ensemble des sous-ensembles qui effectue les actions physiques (déplacement, émission de lumière...), mesure des grandeurs physiques (température, humidité, luminosité...) et rend compte à la partie commande. Elle est constituée d'actionneurs tels que vérins, moteurs... utilisant de l'énergie électrique, pneumatique, hydraulique...

- Les effecteurs : dispositifs terminaux qui agissent directement sur la matière d'œuvre pour lui donner sa valeur ajoutée (outils de coupe, pompes, têtes de soudure, etc.) .
- Les actionneurs : éléments chargés de convertir l'énergie afin de l'adapter au besoin de la partie opérative ; cette énergie étant ensuite consommée par les effecteurs (moteur, vérin, électroaimant, résistance de chauffage, etc.)

- Les pré-actionneurs : éléments chargés : – d’adapter le faible niveau énergétique disponible en sortie de la P.C. au besoin de la P.O ; de distribuer ou de moduler l’énergie délivrée aux actionneurs (contacteur, distributeur, variateur de vitesse...).
- Les capteurs qui assument l’ensemble des fonctions de la chaîne d’acquisition de données (fin de course de vérin, détecteur de position, capteur de température, etc.)

## **II.5.2 - Niveaux 1 - PARTIE COMMANDE (Pilotage des machines) :**

appelé aussi « partie commande » est composé d’un ou plusieurs contrôleurs coordonnant la succession des actions sur la Partie Opérative avec la finalité d’obtenir cette valeur ajoutée. Ces contrôleurs peuvent être des automates programmables, des microcontrôleurs ou des PC industriels.

## **II.5.3 - Niveaux 2 - IHM / SCADA :**

Supervision ou interfaces Homme machine : Pour prendre le contrôle ou pour surveiller une installation industrielle, on utilise des interfaces personne-machine ( IHM ) . L’IHM pouvant aller d’une solution basique avec quelques boutons poussoirs et voyants installés sur le pupitre jusqu’à des interfaces de contrôle 3D ou en réalité augmentée. La majorité des IHM sont des écrans tactiles ou des pc industriels.

Oui j’ai déjà présenté le niveau 2 , mais ici il a un sens légèrement différent , il est appelé SCADA qui signifie Supervisory Control and Data Acquisition (système de supervision industrielle qui traite en temps réel un grand nombre de mesures et contrôle à distance les installations). Toute application qui reçoit les données de fonctionnement d’un système pour contrôler et optimiser ce dernier est une application SCADA. Un SCADA est généralement fourni sous forme de logiciel combiné à des éléments matériels, tels que des automates programmables industriels (API) et des unités terminales distantes (RTU). L’acquisition des données commence avec les API et RTU, qui communiquent avec l’équipement d’un centre de production, par exemple les machines et les capteurs d’une usine. Les données recueillies à partir de l’équipement sont ensuite envoyées au niveau supérieur, par exemple à une salle de contrôle, où des opérateurs peuvent superviser les contrôles des API et des RTU à l’aide d’interfaces personne-machine (IHM). Les IHM sont un composant essentiel des systèmes SCADA. Il s’agit des écrans que les opérateurs utilisent pour communiquer avec le système SCADA. Comme le montre très justement le schéma, l’architecture de SNCC, multiplie énormément le nombre de connexions, d’équipement de contrôle, de bus, de protocole, de couche logicielle. Tout cela est un sacré bordel, chaque constructeur ayant ces propres protocoles maison qui ne sont pas toujours interopérables. Cette complexité mais surtout les éléments propriétaire est un réel frein dans l’évolution de l’industrie 4.0. Des initiatives normatives, d’open source et de matériel ouvert (Open hardware) essaye de résoudre ce problème, mais avant que

tout cela soit réellement en place avec le niveau de sécurité adéquate, il faudra faire avec et jonglé avec tout cela.

### **II.5.4 - Niveau 3 - Contrôle de la Production :**

Contrôle du flux de travail et des recettes pour obtenir le produit final souhaité. Tenue de registres et optimisation du processus de production. Il est réalisé par un logiciel de pilotage de la production (en anglais américain manufacturing execution system ou MES) permettant de collecter en temps réel les données de production d'une usine ou d'un atelier, données qui sont analysées quant à la traçabilité, le contrôle de la qualité, le suivi de production, l'ordonnancement et la maintenance préventive et curative.

### **5.5 - Niveau 4 - Planification Centrale :**

Établir le programme de base de l'usine, la production, l'utilisation du matériel, la livraison et l'expédition. Déterminer les niveaux de stocks. Cet ensemble est souvent réalisé par un progiciel de gestion intégrée ou PGI (en anglais : Enterprise Resource Planning ou ERP). Le progiciel permet de gérer l'ensemble des processus d'une entreprise en intégrant l'ensemble de ses fonctions, dont la gestion des ressources humaines, la gestion comptable et financière, l'aide à la décision, mais aussi la vente, la distribution, l'approvisionnement et le commerce électronique[9].

### **II.6 - Différents types de commande :**

Ils existent sur les SAP (Systems, Applications & Products) différents types de commandes.

#### **II.6.1 - Système automatisé combinatoire :**

Ces système n'utilisent aucun mécanisme de mémorisation (ils n'ont pas de mémoire) et à une combinaison des entrées correspond une seule combinaison des sorties. La logique associée est appelée **logique combinatoire**. Les outils utilisés pour les concevoir sont *l'algèbre de Boole, les tables de vérité, les tableaux de KARNAUGH*.

Les systèmes automatisés utilisant la technique du «combinatoire» sont aujourd'hui très peu utilisés. Ils peuvent encore se concevoir sur **des mécanismes simples** où le nombre d'actions à effectuer est limité. Ils présentent en plus l'avantage de n'utiliser que très peu de composants (vérins, distributeurs, capteurs, cellules).

#### *Exemple de système fonctionnant en combinatoire*

Pour ce système présenté dans la figure 1.4., il fonctionne comme suit :

- Si la présence d'objet à transférer est détectée par le capteur « p », alors le vérin-poussoir P entrera en fonction .

- Si l'opérateur du poste 1 ou celui du poste 2 appuie sur le bouton poussoir correspondant (BP1 ou BP2) [1] .

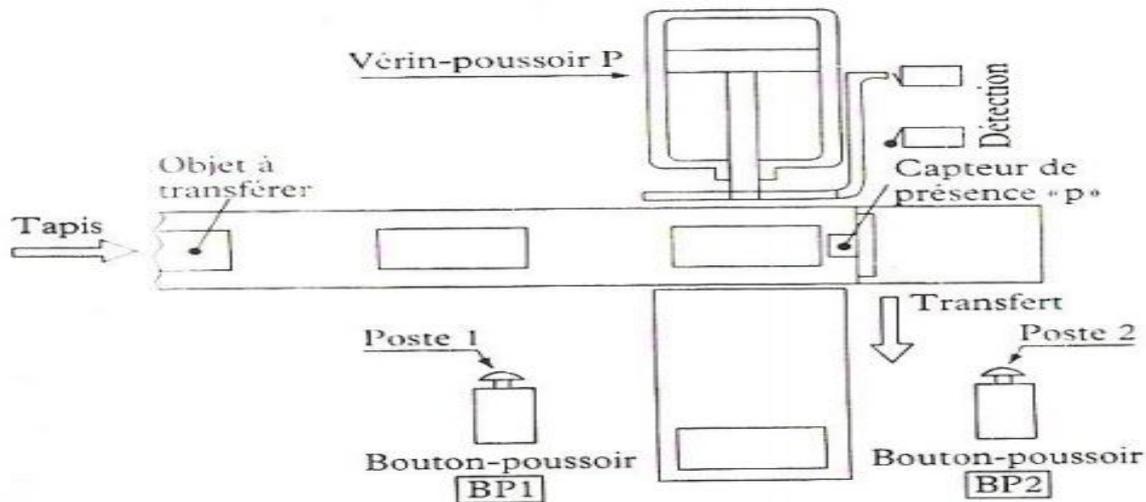


Figure II -6 : Exemple fonctionnement système combinatoire

## II.6.2 - Système automatisé séquentiel :

Ces systèmes sont les plus répandus sur le plan industriel. Le déroulement du cycle s'effectue étape par étape.

A une situation des entres peut correspondre plusieurs situations de sortie. La sélection d'une étape ou d'une autre dépend de la situation antérieure du dispositif. La logique associée est appelée « logique séquentielle ». Elle peut être :

- avec commande pneumatique : logique câblée .
- avec commande électrique : logique programmée .

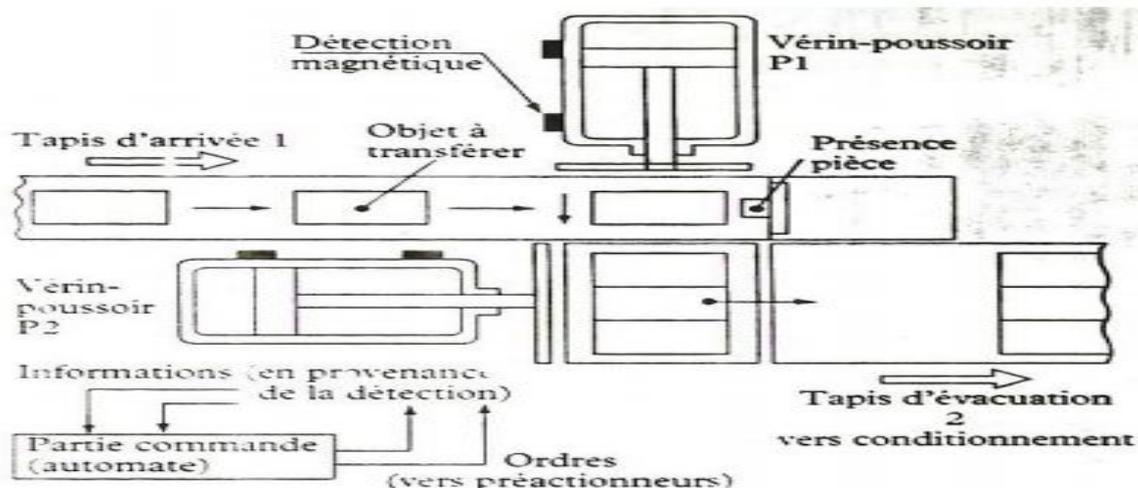


Figure II -7 : Exemple fonctionnement système séquentiel

Ce système place les objets côté 3 par 3 sur un tapis d'évacuation 2. Ainsi placés, les objets sont emmenés vers un dispositif de conditionnement sous film plastique rétractable[1] .

### **6.2.1 La logique câblée :**

La technologie câblée consiste à raccorder des modules par des liaisons matérielles selon un schéma fourni par la description . Ces modules peuvent être électromagnétiques, électriques, pneumatiques ou fluidiques .

En électricité ou en électronique, les liaisons sont faites par câble électrique. En pneumatique et fluide, il s'agit de canalisations reliant les différents composants.

Les outils câblés sont utilisés dans l'industrie où l'on apprécie leurs qualités éprouvées; à savoir la rapidité et le parallélisme. Ils souffrent cependant d'un certain nombre de limitations parmi lesquelles nous citons :

- Leur encombrement (poids et volume) .
- Leur manque de souplesse vis-à-vis de la mise au point des commandes et de l'évolution de celles-ci (améliorations, nouvelles fonctions, modification, etc.): Toute modification impose la modification de câblage voire un changement de composants .
- Leur difficulté de maîtriser des problèmes complexes .
- La complexité de recherche des pannes et donc du dépannage .
- Leur coût élevé pour les systèmes complexes[1] .

### **6.2.2 La logique programmée :**

La technologie programmable consiste à substituer le fonctionnement de l'automatisme par un programme chargé sur un constituant programmable c'est-à-dire des machines destinées à traiter de l'information. Leur utilisation en gestion et en calcul scientifique est connue. Alors, les applications techniques relèvent de l'informatique industrielle.

L'informatique industrielle est une discipline conjuguant les théories de l'automatique et les moyens de l'informatique dans le but de résoudre des problèmes de nature industrielle.

L'informatique offre donc une alternative technologique à l'automatisme et lui ouvre des possibilités nouvelles liées à la puissance de traitement et aux facilités de mémorisation de l'information. En termes d'avantage, nous citons :

- Moins de câble et d'encombrement
- Fiabilité de l'automatisme.
- Facilité de modification
- Flexibilité
- Résolution des problèmes complexes.

Cependant, elle souffre de problème de parallélisme. Le constituant programmable peut être soit un micro-ordinateur, soit une carte électronique ou bien un automate programmable[1].

### II.6.3 Choix de la logique de réalisation des SAP :

Pour choisir la meilleure technologie pour un automatisme donné, on utilise généralement deux critères: la **faisabilité** et l'**optimisation**.

#### Critère 1: Faisabilité :

« La réalisation avec une technologie donnée est-elle possible ou non ? »

#### Critère 2: Optimisation :

« La réalisation avec une technologie donnée conduit-elle au coût global le plus bas ? »

La réponse à ces deux questions est illustrée sur le graphe suivant :

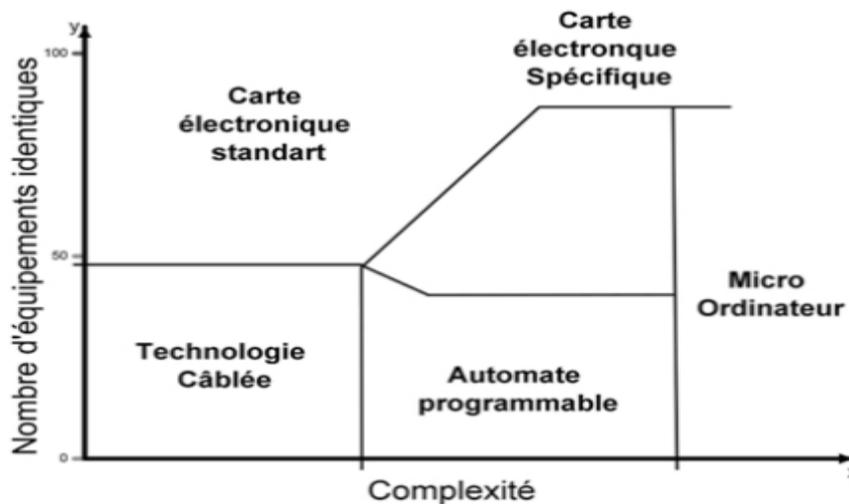


Figure II -8 : Graphe choix PC pour SAP

Le choix de la technologie peut être résumé comme suit :

- Le micro-ordinateur est utilisé surtout dans les cas des systèmes complexes (nombre d'E/S assez grand, calculs sur les réels, etc.).
- Les cartes électriques spécifiques sont utilisées pour résoudre un problème bien défini.
- Elles sont appelées uniquement dans le cas où le nombre d'exemplaire est supérieur à 100 car leur coût est assez élevé.
- Les cartes électroniques standards sont utilisées dans les automatismes grand public : distributeurs, parking, etc.
- Les automates programmables sont utilisés dans les cas des systèmes complexes, flexible et évolutifs[1].

## II.7 Stabilité du Système :

La définition de l'Automatique que propose le "Petit Robert" est assez explicite sur ce que peut-être l'Automatique même. si sa simple lecture ne suffit pas pour analyser les grandes tendances de cette vaste discipline. La voici :

**Automatique** : ensemble des disciplines scientifiques et des techniques utilisées pour la conception et l'emploi des dispositifs qui fonctionnent sans l'intervention d'un operateur humain

On peut revenir sur les trois expressions soulignées de cette définition.

- a) **disciplines scientifiques** : ceci suggère que l'Automatique requiert quelques activités théoriques afin de réaliser :
  - une modélisation mathématique d'un dispositif.
  - une analyse de ses propriétés sur la base du modèle .
  - la conception d'une loi de commande toujours sur la base du modèle.
- b) **conception et emploi de dispositifs** : ceci relève en fait de la mise en œuvre pouvant faire intervenir des disciplines telles que l'électronique, l'informatique
- c) **sans l'intervention d'un operateur humain** : cette dernière expression fait apparaître la notion de systèmes automatisés qui permettent :
  - d'améliorer les performances d'un dispositif, son confort (exemples : climatisation, direction assistée).
  - d'améliorer la sécurité (exemples : pilote automatique, freinage ABS)

Ne sont généralement abordés dans un cours d'Automatique que les aspects 1 et 3. Le point 2 est généralement spécifique au dispositif étudié et ne nécessite souvent pas l'expertise réelle d'un automaticien[10].

### II.7.1 Notion de système :

En Automatique, la notion de système est incontournable. La définition qu'en donne l'automaticien se rapproche de celle classique empruntée à la physique. Généralement, le système est un dispositif qui fonctionne en interaction avec son environnement générant un ensemble de phénomènes. Certaines grandeurs physiques de l'environnement agissent sur le système. Elles sont appelées entrées . D'autres émanent du système et agissent sur l'extérieur. Elles sont appelées sorties . Les signaux associés aux entrées sont généralement notés par la lettre **u** et les signaux associés aux sorties par la lettre **y**.

Les entrées d'un système peuvent a priori être modifiées. Il peut également exister des entrées qui échappent au contrôle et qui ne peuvent être modifiées. Elles sont appelées perturbations et sont notées  $d$ . La figure 1 symbolise ce formalisme.

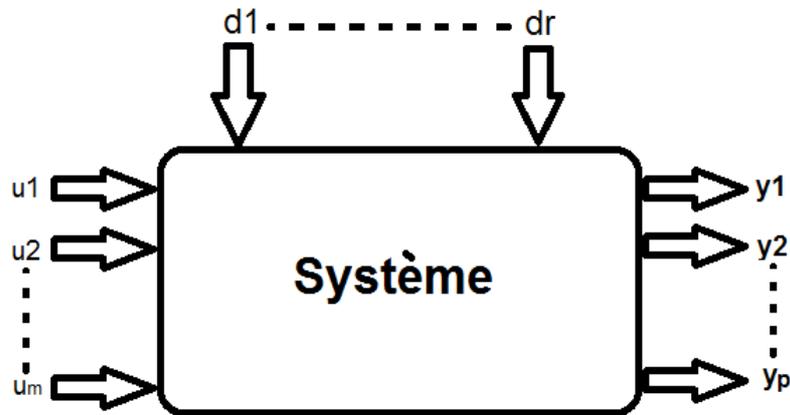


Figure II-9 Système comprenant  $m$  entrées,  $p$  sorties et  $r$  perturbations

Dans la pratique, un système peut correspondre à un dispositif mécanique électronique, chimique... et il est facile de le différencier de l'extérieur de même que de choisir quelles sont les entrées (exemples : une force ou un couple en mécanique, une tension ou un courant en électronique, la concentration d'un produit initial en chimie) ou les sorties (une vitesse ou un couple en mécanique, une tension ou un courant en électronique, une concentration d'un produit final en chimie). Comme exemples de perturbations, on peut citer une force liée aux frottements avec l'air, des tensions parasites, des concentrations de produits négligés ou d'impuretés...

Il existe des systèmes qui ne sont pas physiques tels que des systèmes économiques et financiers et pour lesquels ce formalisme peut paraître moins évident. De tels systèmes, même s'ils peuvent exister dans l'industrie automobile, ne se rencontrent pas sur un véhicule[10].

### II.7.2 Notion de boucle

Une notion fondamentale en Automatique est la notion de boucle que les électroniciens (qui sont les premiers à avoir formalisé cette notion) appellent contre-réaction. Le principe en est d'acquiescer une information présente sur les sorties et de l'utiliser judicieusement pour modifier les entrées. Le but de cette rétroaction est d'obtenir un comportement souhaité du système, c'est-à-dire, des signaux de sortie satisfaisants. L'utilisation de la boucle résulte du fait que les automaticiens ont constaté que la modification convenable des sorties par une action sur les entrées, sans tenir compte des sorties, était insuffisante.

Pour mieux se rendre compte de l'intérêt et de la boucle, on peut prendre l'exemple d'une automobile (voir figure 2) qui lors d'un trajet, fait apparaître des bouclages manuels (c'est le conducteur qui assure ces rétroactions lui-même) ou automatiques (il est assisté par des dispositifs de sécurité ou de confort).

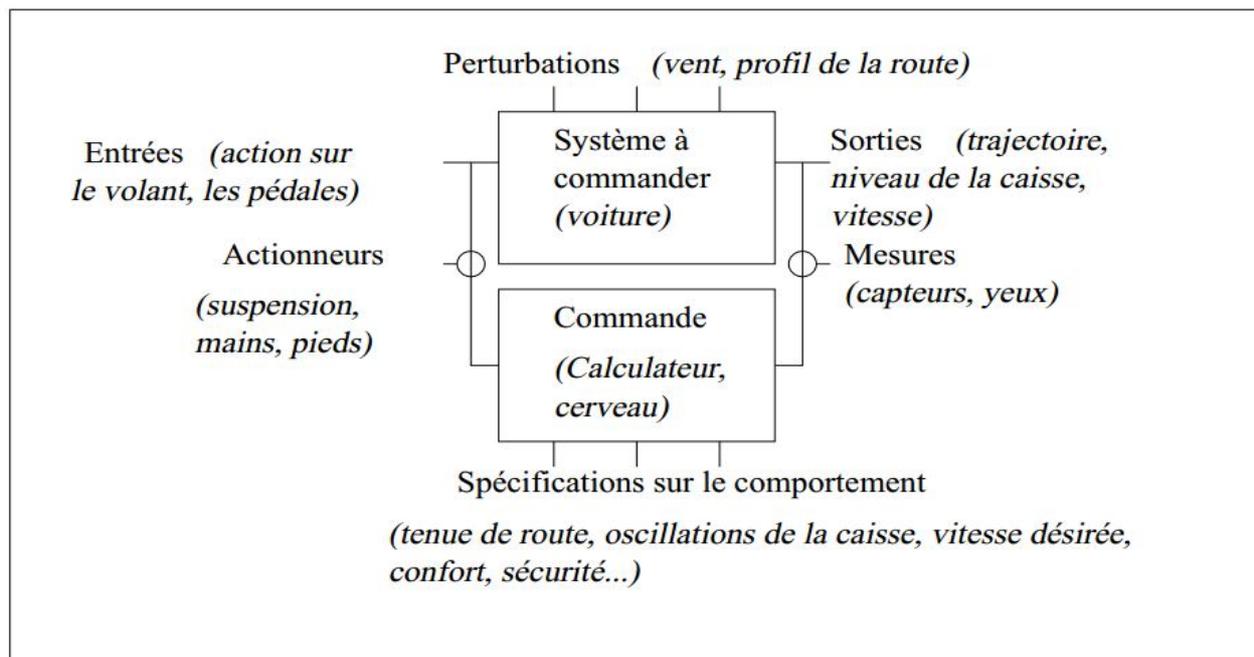


Figure II -10 Boucles possibles correspondant au fonctionnement d'une voiture

Lorsqu'un automobiliste est au volant, la voiture, en interaction avec son environnement (dont le conducteur), peut constituer un système avec de nombreuses boucles. Ainsi, lorsqu'un défaut de la route ou un coup de vent entraîne un déplacement ponctuel latéral du véhicule (le système réagit à une perturbation), alors l'œil de l'automobiliste (entre autres) lui permet de prendre conscience du déplacement latéral et il pourra agir en conséquence sur le volant pour rétablir la trajectoire. Il s'agit là d'une boucle manuelle. De même, si un trou génère une oscillation violente sur l'altitude de la caisse, une suspension active peut réduire cet inconfort en agissant sur l'amortisseur. Ceci est une boucle automatique. Cette dernière suit la plupart du temps un modèle mathématique plus ou moins compliqué qui est appelé loi de commande. L'on dit aussi que le système fonctionne en boucle fermée.

A la vue de cet exemple, on peut comprendre l'importance de la boucle. Elle peut permettre d'assurer deux activités essentielles en Automatique :

- **l'asservissement** qui consiste à faire en sorte que les sorties se comportent comme des références données (tout du moins autant que faire ce peut).
  - **la régulation** qui consiste à tenter de réduire l'effet des perturbations sur les sorties.
- Asservissement .

Dans les deux cas, certaines performances sont souvent requises telles que :

- **la stabilité**
- **le temps de réponse**
- **l'absence d'oscillations des sorties**
- **la précision**

Ces propriétés seront explicitées [11].

### 7.2.1 Quelques exemples concernant la boucle

### 7.2.1.1 Douches collectives

Une douche collective est schématisée par la figure .

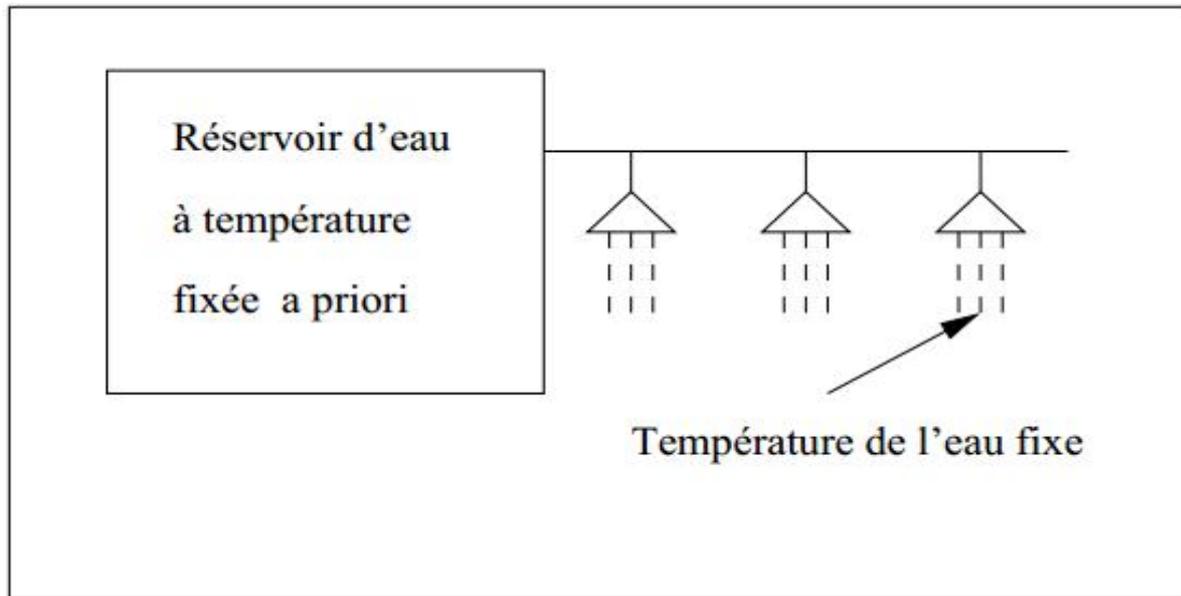


Figure II-11 Exemple de système en boucle ouverte

L'entrée du système est la température de l'eau du réservoir. L'eau s'écoule dans le système et sort des pommes à une température (c'est la sortie) qui n'est pas modifiable. Aucune information sur cette température de sortie n'est utilisée au niveau du réservoir. Il s'agit donc d'un système en boucle ouverte c'est-à-dire sans boucle[11].

### 7.2.1.2 Douche personnelle :

Le fonctionnement d'une douche manuelle est lui représenté sur la figure

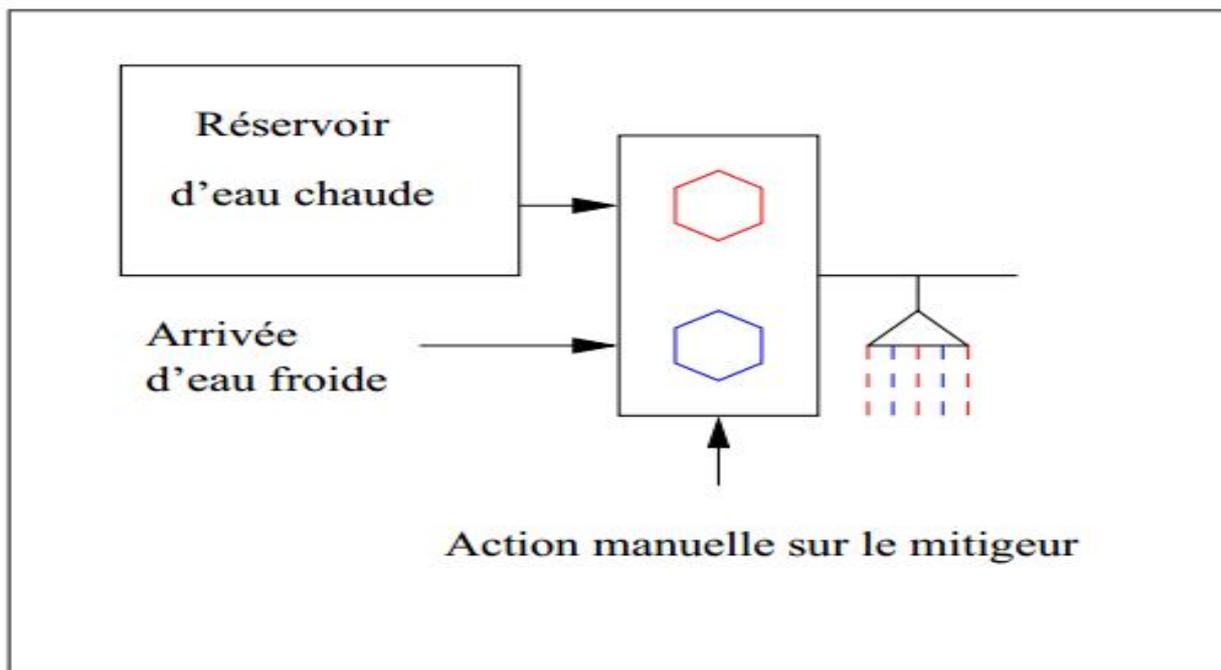


Figure II-12 Exemple de système en bouclage manuel

La personne prenant sa douche peut cette fois-ci jouer sur le mitigeur pour améliorer la température de l'eau. En fonction de sa sensation, elle actionne les robinets jusqu'au confort souhaité. Cette boucle est donc manuelle et non automatique.

La réponse en température d'un tel système, c'est-à-dire l'évolution de la température de sortie au cours du temps, est généralement de la forme donnée par la figure .

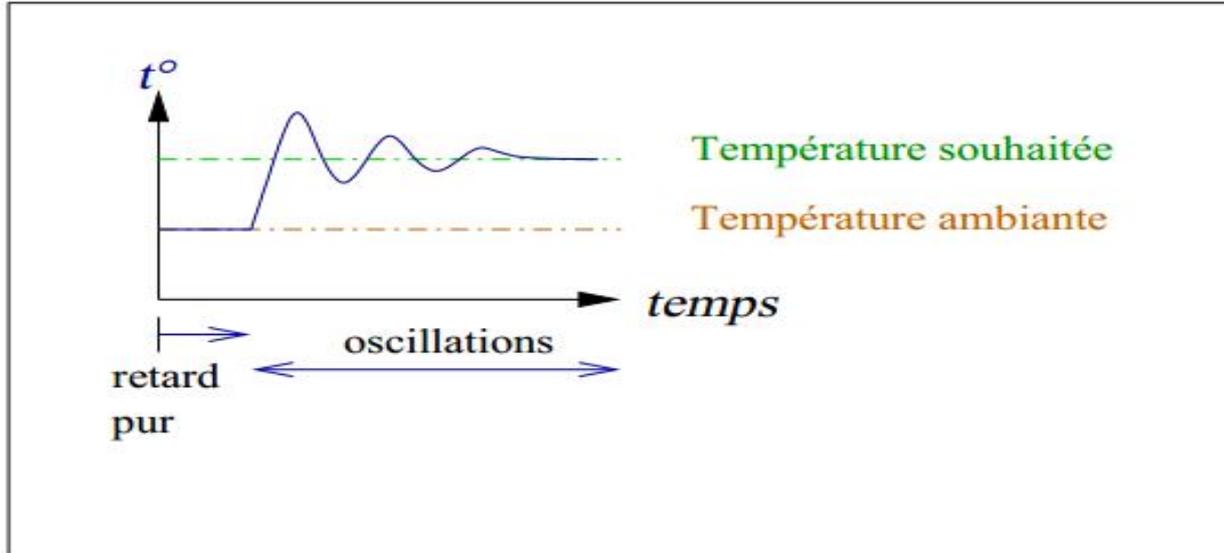


Figure II-13 Evolution de la température de l'eau au cours du temps

La température n'évolue pas dans un premier temps car les tuyaux sont remplis d'eau à température ambiante. On parle de retard pur du système.

Puis, en raison des manœuvres successives de la personne sur les robinets, l'eau devient alternativement chaude et froide jusqu'à ce que la personne trouve un compromis satisfaisant. La durée des oscillations est d'autant plus longue que la personne réagit vivement et est maladroite [11].

### 7.2.1.3 Mitigeur thermostatique

Pour plus de confort, le particulier peut aujourd'hui installer, au niveau de sa douche, un mitigeur thermostatique qui réalise un asservissement en température. Ce dispositif correspond à une boucle automatique qui permet à la fois de diminuer le temps de réglage (en évitant les oscillations) et de faire des économies d'eau .

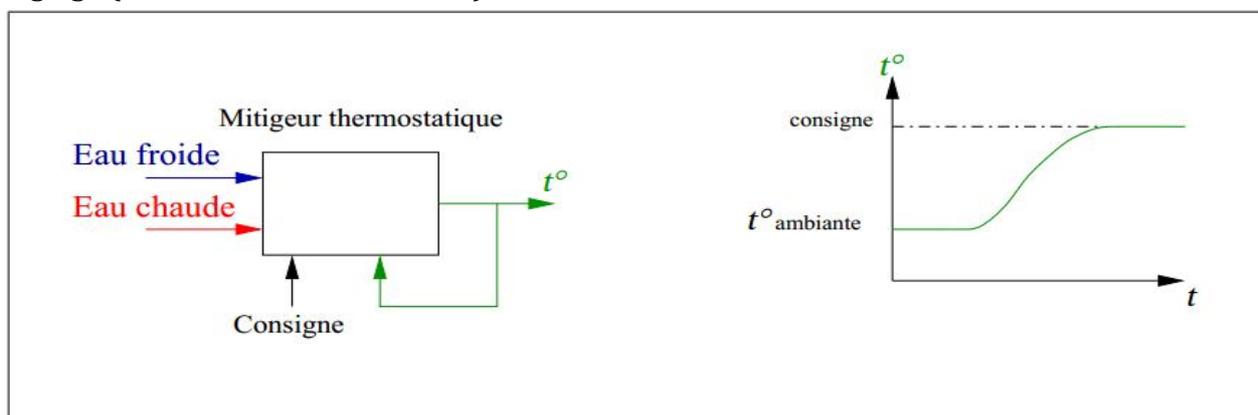


Figure II-14 Exemple de système avec boucle automatique

#### 7.2.1.4 Rétroviseur a réglage de position électronique :

Supposons que deux personnes utilisent le même véhicule et que l'ordinateur de bord de ce dernier propose a chacun de mémoriser une position pour le rétroviseur. Cette position est caractérisée par deux angles et chacun de ces deux angles doit être a la bonne valeur lorsque le conducteur demande sa position préférée. La rotation du rétroviseur est assurée gracia deux petits moteurs a courant continu (un pour chaque angle). Le principe de réglage d'un angle en fonction de la position souhaitée est donne par la figure :

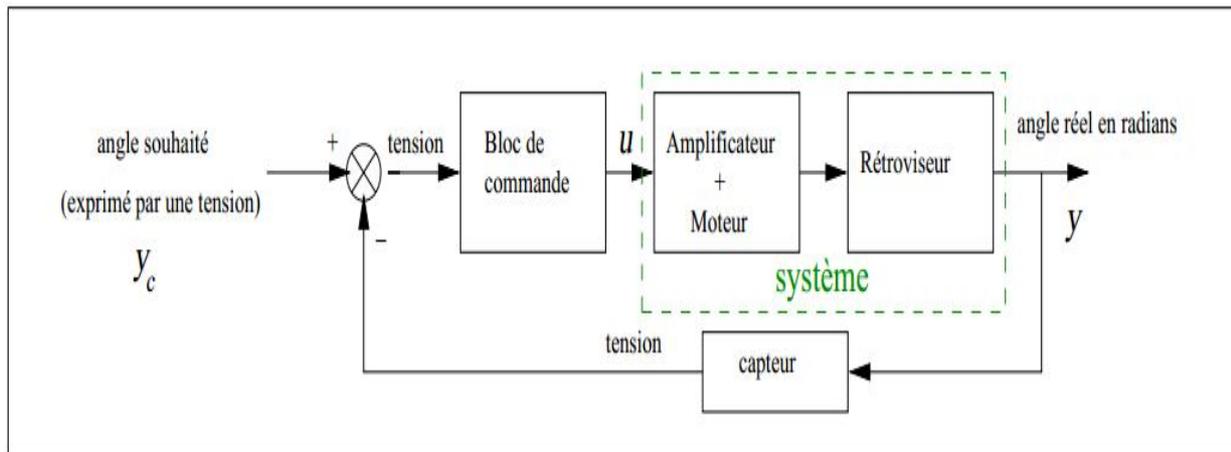


Figure II-15 boucle automatique de réglage d'un angle de rétroviseur (boucle fermée)

On note qu'il convient de ramener la sortie sur l'entrée et de modifier l'excitation du moteur en fonction de l'écart entre l'angle souhaite et celui obtenu. Pour calculer cet écart, il faut spécifier la valeur souhaitée par une tension et convertir l'angle effectif en tension, ce qui est le rôle du capteur. Lorsque l'angle effectif est celui escompte l'écart s'annule et le moteur assurant la rotation n'est plus commande. On verra plus tard que peuvent se cacher des blocs assez complexes derrière ce schéma de principe.

Il faut noter que dans le cas d'un système boucle, on distingue les entrées du système en boucle fermée qui sont ap-pelées consignes et généralement notées  $y_c(t)$  (ici, la tension correspondant a l'angle souhaite) des entrées du système en boucle ouverte (c'est-a-dire le procède compose ici de l'amplificateur, du moteur et du rétroviseur) qui sont appelées commandes et restent notées  $u(t)$  (ici, la tension d'induit du moteur).

On retrouve ce style de problème dans le cas de l'asservissement de l'inclinaison d'une antenne parabolique[12].

### II.7.3 - Cadre de travail :

#### Cadre de travail

On vient de voir que l'étude des systèmes conduisait a s'intéresser a des signaux d'écrivant l'évolution de grandeurs physiques (les entrées et les sorties notamment). On distingue plusieurs automatiques selon la nature des signaux et des modèles utilisés.

- ◆ Ainsi les signaux continus peuvent prendre toutes les valeurs dans un intervalle donne alors que d'autres signaux sont susceptibles de prendre uniquement certaines valeurs bien déterminées. Sur la base de cette différence, on distingue l'Automatique des systèmes a entements (ou états) continus de l'Automatique des systèmes a événements (ou états) discrets. Seul le cas des événements continus sera envisage dans ce cours.
- ◆ Une autre distinction tout aussi fondamentale se fait sur le temps. En effet, les signaux peuvent être définis a tout instant du temps ou simplement connus a des instants donnes (on parle de signaux discrets, discrétises, ou échantillonnes comme sur la figure.

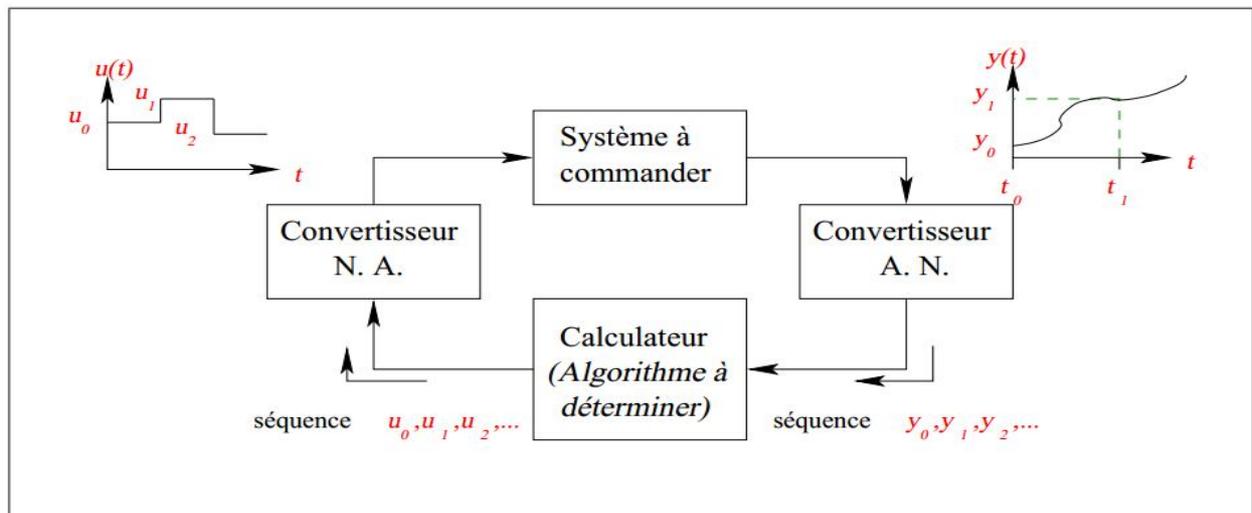


Figure II-16 Commande discrète

Les signaux de sortie sont échantillonnes, c'est-a-dire mesures et donc connus uniquement a certains instants, et la séquence 'des échantillons est obtenue sous forme numérique en sortie d'un convertisseur analogique numérique (CAN). Elle est transmise a un calculateur qui en déduit une séquence de signaux de commande. Celle-ci est transformée par un convertisseur numérique analogique (CNA) qui restitue un signal a temps continu sur l'entrée du système. Pour le calculateur, l'ensemble constitue du système et des convertisseurs est vu comme un système a temps discret (ou "système discret"). Dans ce cours, ne sera considérée que l'Automatique des systèmes a temps continu (ou simplement des "systèmes continus") par opposition a l'Automatique des systèmes a temps discret.

- ◆ Il existe d'autres distinctions qui reposent sur le modèle mathématique utilise pour décrire le comportement du système. Ce modèle est obtenu soit par identification (on fait correspondre un modèle avec une structure donnée au comportement entrées/sorties du système) ou, et ce sera le cas ici, par une utilisation judicieuse des équations correspondant aux lois de la physique régissant le comportement du système. L'on parle alors de modélisation du système. La plupart de ces équations sont différentielles et non linéaires. Cependant, il est souvent recommande de travailler dans une gamme de valeurs autour d'un point de fonctionnement de telle sorte que les équations sont raisonnablement remplaçables par des équations différentielles dites

linéaires a coefficients constants. Cette approximation permet donc de passer d'un modèle non linéaire a un modèle linéaire . Bien que moins fidele a la réalité, ce dernier facilite l'étude et la commande du système ,notamment grâce a un principe fondamental, celui de superposition (ou de séparation), résume sur la figure (2-16) :

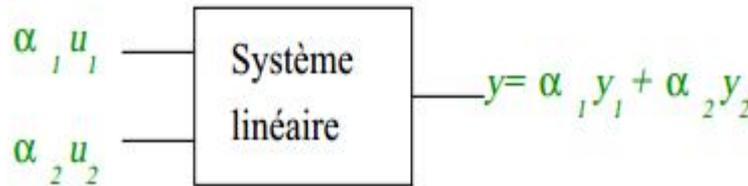


Figure II-17 Principe de superposition

Si l'entrée **u1** entraine la sortie **y1** et si l'entrée **u2** entraine la sortie **y2** alors deux entrées **α1u1** et **α2u2** agissant simultanément entrainent une sortie  $y = \alpha_1 y_1 + \alpha_2 y_2$  (voir justification en annexe B). Ce cours est restreint a l'étude des systèmes linéaires.  
 ♦ Enfin, une dernière distinction est essentielle pour ce cours. Les systèmes sont soit monovariabes (une seule entrée, une seule sortie) soit multivariabes (plusieurs entrées, plusieurs sorties). Seuls les systèmes monovariabes seront étudiés.  
 En résumé, ce cours concerne les systèmes linéaires monovariabes continus[12].

## II.7.4 Réponses des systèmes linéaires :

La réponse d'un système de fonction de transfert **G(p)** correspond a la forme du signal de sortie **y(t)** lorsque le système est excité par un signal d'entrée connu **u(t)**. On distingue plusieurs types de réponse selon le signal d'entrée. Certaines réponses sont très couramment étudiées pour comprendre le fonctionnement d'un système. En toute logique, la réponse d'un système dépend de la valeur de la sortie a l'instant initial considéré. Cependant, a des fins de simplification de ce cours, nous ne nous intéresserons qu'à des réponses pour lesquelles les conditions initiales sont nulles.

### 7.4.1 Réponse impulsionnelle

La réponse impulsionnelle est la réponse a une impulsion unitaire de Dirac<sup>3</sup> . On l'étudiera peu dans ce cours. Cependant, on rappelle que si **u(t) = δ(t)** alors sa transformée de Laplace est **U(p) = 1** (voir tableau 1 et annexe C.1). Celle de **y(t)** est donc :

$$Y(p) = G(p)$$

Le signal temporel **y(t)** recherché est donc tout simplement la transformée de Laplace inverse de la fonction de transfert.

$$y(t) = L^{-1}(G(p))$$

### 7.4.2 Réponse indicielle :

La réponse indicielle d'un système est sa réponse a un échelon unitaire **u(t) = Γ(t)**, également appelé fonction de Heaviside<sup>4</sup>. Cette fonction est représentée sur la figure .

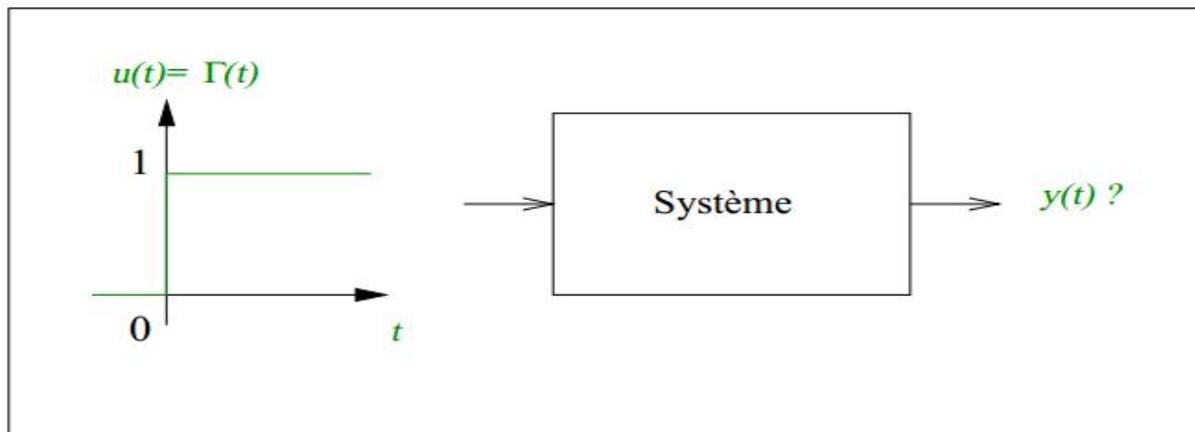


Figure II-18 Réponse a un échelon unitaire

#### 7.4.2.1 Réponse indicielle d'un système canonique de premier ordre :

On rappelle que la fonction de transfert d'un système canonique (numérateur constant) de premier ordre est de la forme :

$$G(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{K}{1 + \tau p}$$

$K$  est appelé gain statique et  $\tau$  est appelé constante de temps . Cette fonction de transfert correspond, en appliquant la transformation inverse de celle de Laplace, a l'équation différentielle :

$$y(t) + \tau y'(t) = Ku(t), t \geq 0$$

- ◆ On peut déterminer la réponse a partir de cette équation. En effet, la solution d'une telle équation, compte tenu que  $u(t) = 1$  pour  $t \geq 0$ , est donnée par :

$$y(t) = \underbrace{C e^{-t/\tau}}_{\text{Solution de l'équation homogène associée}} + \underbrace{K}_{\text{solution particulière}}$$

ou  $C$  est une constante a déterminer. En considérant que  $y(0) = 0$ , on déduit que  $C = -K$ . Il vient donc :  $y(t) = K(1 - e^{-t/\tau})$

- ◆ On peut retrouver ce résultat directement a partir de la fonction de transfert puisque l'on ne considère pas de conditions initiales. On note d'abord que  $U(p) = L(u(t)) = 1/p$  ce qui conduit a écrire :

$$Y(p) = G(p)U(p) = \frac{K}{p(1 + \tau p)}$$

La décomposition en el émets simples aboutit a :

$$Y(p) = \frac{K/\tau}{p(p + 1/\tau)} = \frac{K}{p} - \frac{K}{p + 1/\tau}$$

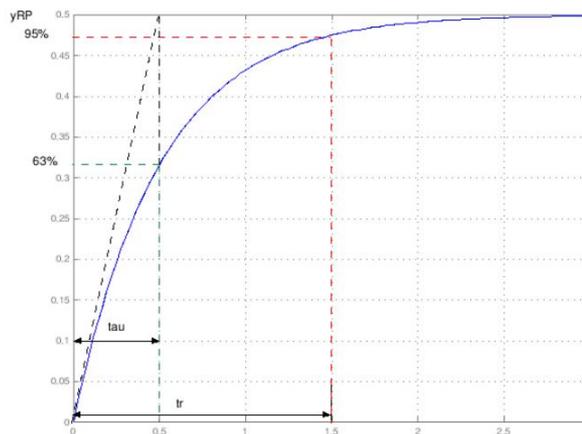
En appliquant  $L^{-1}$ , il vient (cf. tableau ) :

$e^{-at}$	$\frac{1}{p+a}$	Echelon d'amplitude $E$ i.e. $E\Gamma(t)$	$\frac{E}{p}$
-----------	-----------------	---	---------------

$$y(t) = K \Gamma(t) - K e^{-t/\tau}$$

On retrouve, par analyse, le résultat précédent.

La réponse d'un tel système 1er ordre est illustrée à la Fig.



**Figure II-19 Réponse indicielle d'un premier ordre canonique**

A partir de cette réponse, on peut définir plusieurs notions sur les réponses des systèmes en général et des systèmes de premier ordre en particulier. On note d'abord que le signal de sortie tend asymptotiquement vers une valeur (ici 0,5) sans jamais l'atteindre mathématiquement. Cette convergence asymptotique est toujours vérifiée pour les modèles linéaires qui sont dits stables (cette propriété sera étudiée ultérieurement). C'est pourquoi, dans la réponse, on distingue deux phases :

- ◆ le régime transitoire qui correspond à l'évolution du signal de sortie dans les premiers instants de la réponse et qui dure un temps  $t_r$  appelé temps de réponse .
- ◆ Au delà de ce temps, le signal passe en régime permanent , c'est à dire que le signal de sortie reste entre 95% et 105% de sa valeur finale  $y_{RP}$  (correspondant à l'asymptote).

Sur cette courbe, on constate que le temps de réponse correspond à l'instant où le signal atteint **0,475**, soit  $t_r = 1,5s$ .

Par ailleurs, on peut définir  $\Delta Y = y_{RP} - y(0)$ , la variation totale du signal de sortie (ici  $\Delta Y = 0,5 - 0 = 0,5$  puisque la condition initiale est nulle). De même, on peut définir  $\Delta U$ , la variation du signal d'entrée (ici  $\Delta U = 1-0 = 1$  puisqu'il s'agit d'un échelon unitaire). Il est facile (voir annexe E) de démontrer que

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = G(0)$$

On peut donc retrouver le gain statique du système . Cette définition reste valable pour tout système, même d'ordre plus élevé.

On note que dans le cas présent,  $K = 0,5$  ce qui signifie que  $y(t) \approx 0,5u(t)$  en régime permanent.

Néanmoins, certaines propriétés sont spécifiques aux systèmes canoniques de premier ordre. Ainsi, un tel système ne comportant qu'une seule constante de temps, on peut la retrouver, à l'instar du gain statique, sur la réponse du système.

En effet, pour un tel système, il existe trois façons simples de la déterminer :

- à partir du temps de réponse car  $t_r = 3\tau$ .
- $\tau$  correspond au temps que met le signal de sortie pour varier de 63% de  $\Delta Y$
- la tangente à la courbe au niveau du point initial  $(0; y(0))$  coupe l'asymptote du régime permanent à  $t = \tau$ .

La constante de temps traduit la rapidité de la réponse du système. Moins elle est, plus rapide est cette réponse[12].

#### 7.4.2.1 Réponse indicielle d'un système canonique de deuxième ordre :

Un système canonique de deuxième ordre a pour fonction de transfert

$$G(p) = \frac{K}{1 + 2\frac{m}{\omega_n}p + \frac{1}{\omega_n^2}p^2} = \frac{K\omega_n^2}{p^2 + 2m\omega_n p + \omega_n^2}$$

La réponse d'un tel système 2eme ordre est illustrée à la Fig..

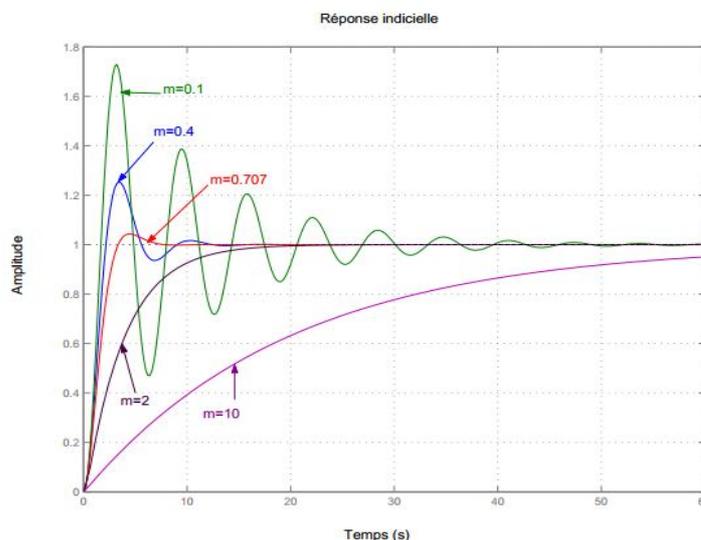


Figure II-20 Réponse indicielle d'un deuxième ordre canonique

#### 7.4.2.2 Remarque sur les pôles des systèmes

De manière générale, quel que soit l'ordre du système, des pôles complexes engendrent une réponse oscillatoire. Plus la partie imaginaire est grande devant la partie réelle, plus les oscillations sont marquées . En revanche, des pôles réels n'engendrent pas de

transitoire oscillant. Alors, que se passe-t-il lorsqu'il y a des pôles réels et complexes dans le même modèle ? Il faut distinguer les pôles dominants (partie réelle faiblement négative) correspondant aux dynamiques lentes (la dynamique mécanique dans le cas du moteur) des pôles rapides (partie réelle fortement négative) correspondant aux dynamiques rapides (la dynamique électrique dans le cas du moteur). Ce sont les pôles dominants qui ont la plus grosse[12]..

## II.7.5 Stabilité des systèmes linéaires :

Dans cette partie, une idée assez superficielle de la stabilité des systèmes linéaires à temps continu est présentée.

### 7.5.1 Définition générale et intuitive de la stabilité d'un état d'équilibre ou d'un système

Un état d'équilibre d'un système est un état non modifié lorsque le système est livré à lui-même (ni entrée, ni perturbation). On dit que le système est autonome.

Par exemple, si l'on considère le moteur à courant continu et que l'on suppose que l'induit de ce dernier ne reçoit aucune tension, alors il ne tourne pas. On peut dire qu'il s'agit d'un état d'équilibre. En l'absence d'entrée, la sortie n'évolue pas.

On s'intéresse maintenant à la stabilité d'un état d'équilibre. Pour mieux comprendre ce concept, on procède par une analogie mécanique matérialisée sur la figure(2-17) où 3 billes sont en équilibre.

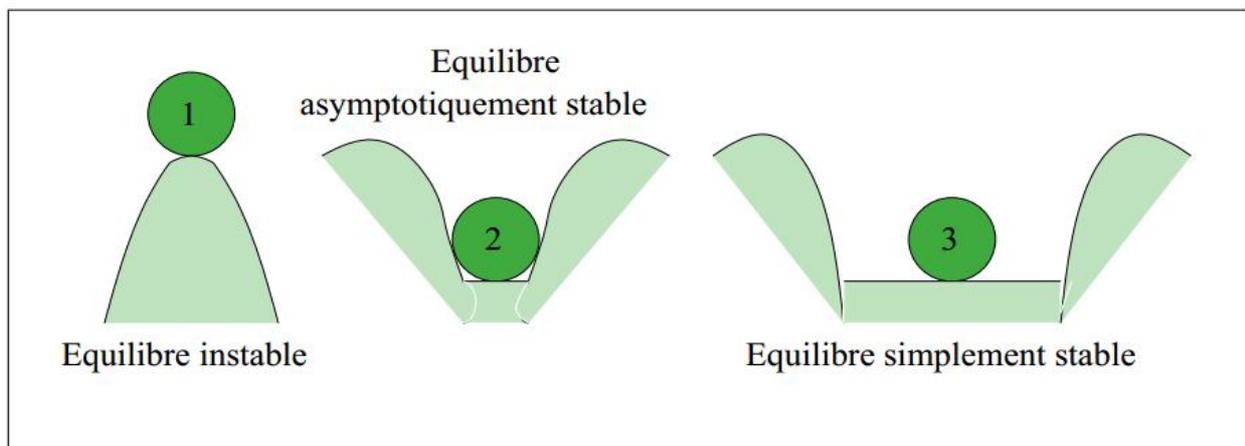


Figure II-21 Stabilité des équilibres d'une bille

La bille 1 est en état d'équilibre mais cet équilibre est précaire puisqu'à peine la pousse-t-on un peu, elle s'éloigne irrémédiablement de sa position d'équilibre. C'est pourquoi l'on dit qu'un tel équilibre est instable.

Au contraire, la bille 2 est encaissée dans un creux et une petite poussée ne peut la d'éloge. Elle conservera sa position. On parle alors d'équilibre asymptotiquement stable.

Enfin, la bille 3 est dans une situation intermédiaire. En effet, une petite poussée la déplacera mais même si sa position change, elle sera voisine de la position initiale et la bille ne s'éloignera pas à l'infini.

En fait, la bille adopte une autre position d'équilibre. On dit alors que l'équilibre initial est simplement stable.

Dans la commande des systèmes linéaires, la stabilité asymptotique est une propriété impérative à satisfaire. On peut en donner la définition formelle suivante :

Un système autonome (sans entrée) est dans un état d'équilibre asymptotiquement stable quand, écarté de cet état sous l'effet d'une perturbation, il revient à cet état (au bout d'un temps éventuellement infini, c'est d'ailleurs le cas mathématiquement avec les systèmes linéaires).

Dans le cadre de la modélisation linéaire, on peut montrer que lorsqu'un système autonome est asymptotiquement stable, il n'a qu'un seul état d'équilibre. On dit alors que c'est le système lui-même qui est asymptotiquement stable (ou stable par concision) [13].

### 7.5.2 Influence sur le comportement entrée/sortie :

Pour bien comprendre l'importance de la stabilité asymptotique sur le comportement d'un système, il faut se préoccuper de ce qu'il advient lorsque le système est excité par un signal d'entrée. En réalité, si le système est asymptotiquement stable, cela signifie que pour toute entrée bornée (c'est-à-dire ne tendant pas vers l'infini), la sortie est elle-même bornée (elle ne diverge pas).

Au contraire, si le système est instable, le moindre petit signal d'entrée peut entraîner une sortie divergeant vers l'infini ce qui en pratique peut causer des dommages matériels mais aussi humains (On peut se convaincre de ceci en consultant l'annexe F après avoir lu l'intégralité de cette partie sur la stabilité). On considère, pour simplifier, que la stabilité simple est un stade intermédiaire entre la stabilité asymptotique et l'instabilité.

Il existe plusieurs critères pour attester ou non de la stabilité d'un système linéaire. Il est inutile de les voir tous mais certains sont présentes dans ce qui suit [13].

### 7.5.3 Critère des racines :

Un modèle linéaire est asymptotiquement stable si et seulement si ses pôles sont tous à partie réelle strictement négative.

On rappelle que les pôles sont les racines du dénominateur de la fonction de transfert. Un seul pôle ayant une partie réelle positive conduit irrémédiablement à des phénomènes d'instabilité.

Il a déjà été vu que les pôles peuvent avoir une influence sur le temps de réponse et sur les oscillations. On voit ici qu'ils revêtent une importance encore plus grande.

On peut résumer tout ceci en faisant apparaître des marges de stabilité dans le plan de Laplace où l'on peut localiser les racines de  $D(p)$  (figure 2-18).

Si l'on suppose que tous les pôles sont situés dans la zone colorée alors on peut définir  $\sigma$ , une marge de stabilité absolue qui traduit la rapidité du système. De même, on peut montrer que le coefficient d'amortissement d'un système est  $m = \sin(\psi)$  où  $\psi$  est l'angle indiqué sur la figure. Si  $\psi$  diminue, alors  $m$  diminue jusqu'à l'instabilité c'est-à-dire  $m < 0$  (réponse indicielle avec oscillations d'amplitude croissante).

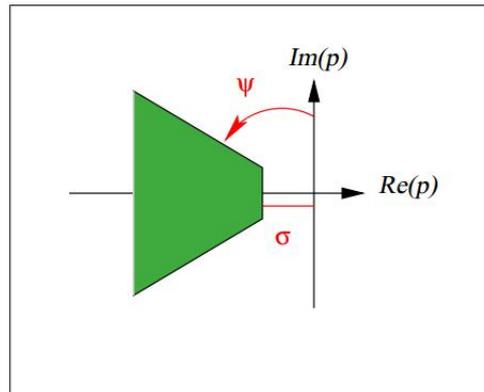


Figure II-22 Stabilité dans le plan de Laplace .

#### 7.5.4 Critère du revers pour la stabilité d'un système boucle :

Il existe un critère établi sur la base de la réponse fréquentielle des systèmes. Il est appelé critère du revers. Historiquement, il fut énoncé dans le **plan de Nyquist**. Il découle d'une forme plus complète dite critère de Nyquist" et est à l'origine de nombreux développements en Automatique. N'étant pas toujours facilement exploitable pour un non-initié, une interprétation simplifiée en est présentée dans le **plan de Bode**.

**Critère du revers** : un système boucle unitairement est stable quand, sur le diagramme de Bode correspondant à la boucle ouverte, à la pulsation pour laquelle on a un gain  $T = 0\text{dB}$ , la courbe correspondant au déphasage est encore au-dessus de  $-180^\circ$  ou quand, réciproquement, à pulsation pour laquelle le déphasage atteint  $-180^\circ$ , le gain en décibels est déjà inférieur à  $0\text{dB}$ .

Ce critère exprime ainsi attesté de manière booléenne de la stabilité. On peut toutefois quantifier de façon plus précise la stabilité en définissant les marges de stabilité d'un système .

En effet, on appelle marge de phase (notée  $\Phi_m$ ) l'opposé du déphasage à la pulsation  $\omega_g$  pour laquelle  $T(\omega_g) = 0\text{dB}$ . Cette même pulsation  $\omega_g$  est appelée pulsation critique. De la même manière, on définit  $G_m$ , la marge de gain, comme l'opposé du gain  $T(\omega_\varphi)$ , appelé gain critique ou  $\omega_\varphi$  désigne la pulsation à laquelle le déphasage est de  $-180^\circ$ . Ces marges sont représentées sur la figure(2-19) dans le cas d'un système stable.

Il est évident que ces marges doivent être positives pour que le système soit stable. Elles donnent un degré de la stabilité du système boucle. Plus elles sont élevées, plus le système boucle est stable. Un système boucle en limite de stabilité est un système pour lequel, sur le diagramme de Bode de la chaîne directe,  $\Phi_m = G_m = 0$  et  $\omega_\varphi = \omega_g$ . Par ailleurs, il peut arriver que les marges ne puissent être définies si les horizontales  $T = 0\text{dB}$  et  $\varphi = -180^\circ$  ne sont pas coupées par le diagramme. Les marges sont alors considérées comme infinies[13] .

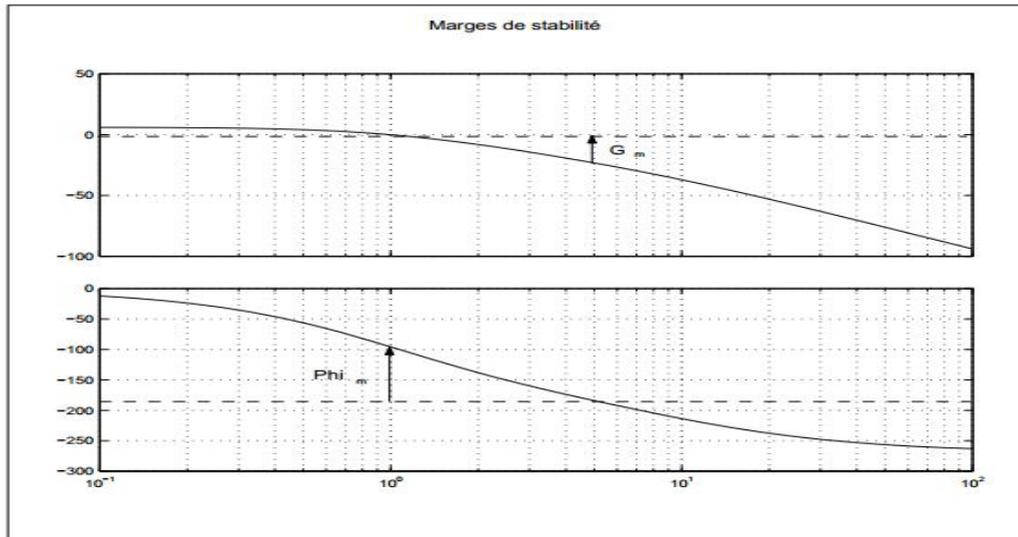


Figure II-23 Marges de stabilité d'un modèle stable quelconque

### 7.5.4.1 Diagramme de Bode :

Dans le diagramme de Bode, l'information est présentée en deux parties. Une première courbe représente le gain du système en fonction de la pulsation. La seconde montre le déphasage en fonction de cette même pulsation. Pour que ces graphes puissent être construits efficacement, il faut toutefois satisfaire quelques règles :

- La pulsation est graduée en échelle logarithmique.
  - L'amplification n'est pas donnée directement mais on porte en ordonnée ce qu'on appelle le gain en décibels soit  $T(\omega) = 20\log(|G(j\omega)|)$ , l'échelle restant alors linéaire.
  - Le déphasage est gradué en degrés ou en radians en utilisant une échelle linéaire
- L'avantage d'un tel diagramme est que les courbes suivent des asymptotes. De ce fait, on peut tracer un diagramme asymptotique de Bode qui aide à la construction du diagramme réel.

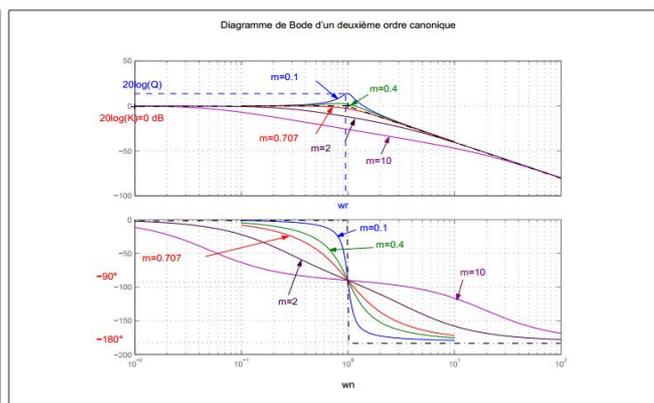
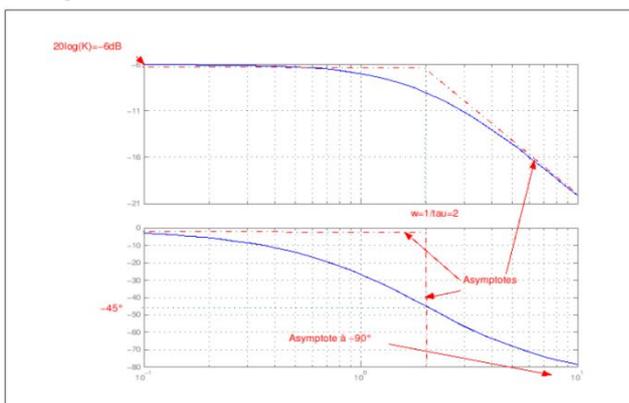


Figure II-24 Diagramme de Bode du modèle de premier ordre

Figure II-25 Diagramme de Bode du modèle canonique de deuxième ordre

### 7.5.4.2 Lieu de Nyquist :

Le lieu de Nyquist est une autre manière de présenter la même information. Cette fois-ci, l'abscisse du repère est la partie réelle de  $G(j\omega)$  et l'ordonnée est sa partie imaginaire (Voir figure II-22).

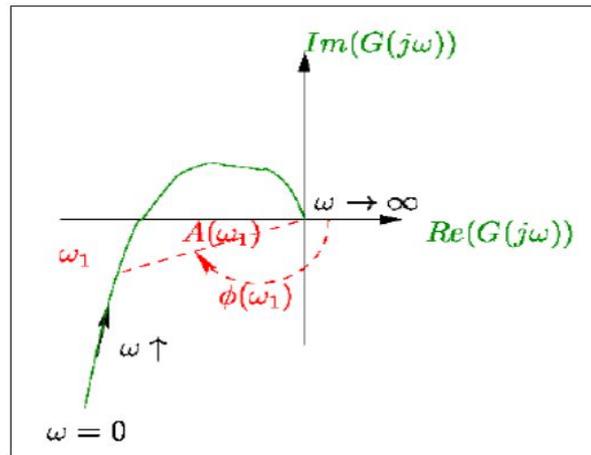


Figure II-26 Lieu de Nyquist d'un système quelconque

Ce lieu est très utile aux automaticiens pour établir les propriétés des systèmes ou développer des outils d'analyse et de commande. Dans la pratique quotidienne, on lui préfère généralement le diagramme de Bode.

## II.8 - Réglage des systèmes bouclés :

Dans cette dernière partie, les problèmes de commande sont abordés même si ce cours se contentera d'évoquer une technique sans l'approfondir.

### II.8.1 Principe de la commande par retour unitaire

On se contente d'envisager des commandes du type de celle schématisée sur la figure II-22 ou un régulateur de fonction de transfert  $R(p)$  est placé devant le système de fonction de transfert  $G(p)$ . La sortie est rebouclée unitairement sur l'entrée du régulateur et l'on distingue l'entrée du système en boucle fermée  $Y_c$ , appelée consigne ou référence de l'entrée du système en boucle ouverte  $u$ , dite commande, générée par le régulateur à partir de l'erreur  $\epsilon$  entre la consigne  $Y_c$  et la sortie du système  $Y$ . Tout l'art de la commande consiste à concevoir un régulateur, à partir du modèle du système en boucle ouverte, qui puisse conférer au système en boucle fermée des propriétés satisfaisantes parmi lesquelles la stabilité, la rapidité, la présence plus ou moins marquée d'oscillations, la précision, le rejet de perturbation [14].

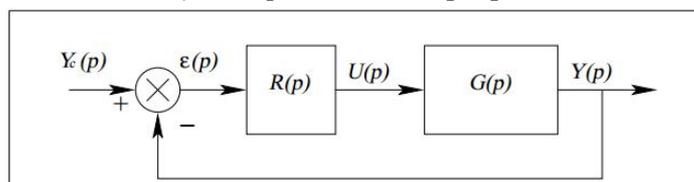


Figure II-27 Schéma classique d'une régulation avec retour unitaire

### II.8.2 Régulateur PID :

Voir qu'une simple régulation proportionnelle pouvait permettre d'accélérer un système. Toutefois, elle peut aussi générer des phénomènes d'instabilité. Par ailleurs, la précision peut être obtenue à l'aide d'une commande comportant un intégrateur mais il y a encore, le risque d'une telle commande est l'instabilité du système bouclé. On peut également envisager un régulateur comportant une action intégrale et une action

proportionnelle . Le risque d'instabilité est double mais sur certains systèmes (notamment les systèmes de premier ordre), cette solution est envisageable. Il conduit à la conception d'un régulateur **PID** (Proportionnel Intégral Dérive) dont la description temporelle correspond à l'équation suivante :

$$u(t) = k \left( \epsilon(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t \epsilon(\theta) d\theta + \tau_d \frac{d\epsilon(t)}{dt} \right)$$

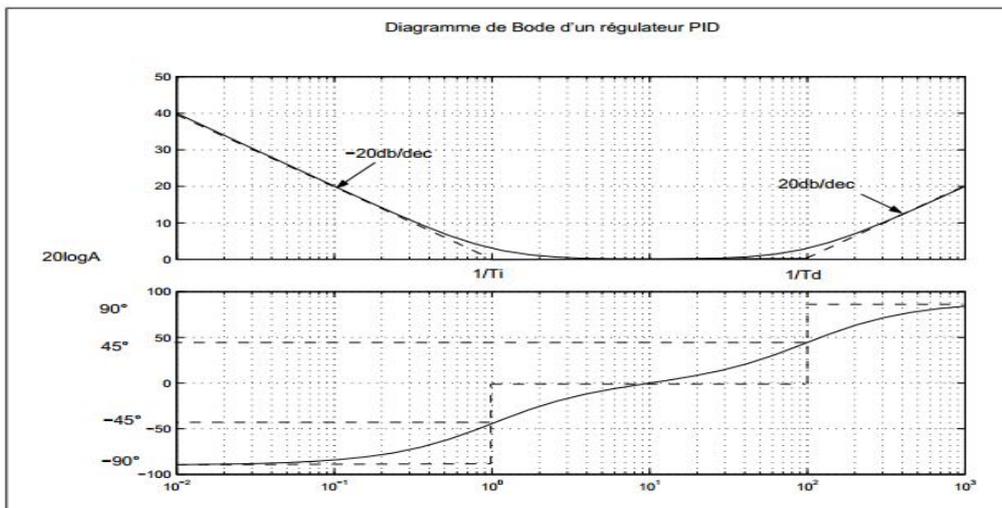
et où l'on voit clairement apparaître les trois effets. La fonction de transfert d'un tel régulateur est :

$$R(p) = \frac{U(p)}{\epsilon(p)} = k + \frac{k}{\tau_i p} + k\tau_d p$$

L'expression ci-dessus est appelée forme parallèle du régulateur **PID** et sert notamment à l'implantation physique d'un tel régulateur. En réduisant **R(p)** au même dénominateur, on constate que ce régulateur est de type 1. On peut aussi exprimer la fonction de transfert d'un **PID** sous une forme dite série :

$$R(p) = A(1 + 1/T_i p)(1 + T_d p)$$

L'on retrouve, en développant cette expression, les trois termes : proportionnel, intégral et dérive. Cette forme est particulièrement utile pour construire le diagramme de Bode du régulateur donc pour la conception de la loi de commande. Ce diagramme est donné sur la figure II-23.



**Figure II-28 Diagramme de Bode possible d'un régulateur PID**

Sur cette figure, on remarque que l'on a un comportement de type grand gain en statique (basses fréquences) ce qui est propice à la précision du système. Cette propriété comme on l'a vu, est due aux effets proportionnel et intégral. Par ailleurs, le terme dérive (que l'on repère ici en hautes fréquences) a pour effet d'augmenter la phase (au sens algébrique). Encore faut-il que cet apport de phase intervienne dans la gamme de pulsations où l'on va mesurer la marge de phase. En conséquence, il convient de choisir avec discernement les valeurs  $A$ ,  $T_i$  et  $T_d$  sachant que ce diagramme viendra s'ajouter géométriquement dans le plan de Bode à celui du système en boucle ouverte modifiant ainsi le transfert de la chaîne directe. Généralement, on recherche une marge de phase de l'ordre de  $40^\circ$  à  $50^\circ$ . En effet, en raison des incertitudes

qui peuvent être liées à la connaissance du modèle qui ne traduit qu'approximativement le comportement du système, il serait très dangereux de vouloir laisser une faible marge. La moindre méconnaissance d'un paramètre dans le modèle ou sa moindre variation pourrait conduire à l'instabilité. Le terme de marge prend ici tout son sens. En outre, il faut noter que cette marge classique que l'on cherche à atteindre correspond, sur un système de deuxième ordre, à un coefficient d'amortissement  $m$  d'environ 0.7 permettant une réponse rapide en autorisant un léger dépassement.

Les techniques de calcul des coefficients d'un régulateur PID sont nombreuses et dépendent des performances escomptées. Cependant, il n'existe pas de panacée dans ce domaine. On s'attachera plutôt à décrire, lors des Travaux Dirigés, des méthodes s'appuyant sur le modelage du diagramme de Bode de la chaîne directe (comme il vient d'être en partie expliqué et en utilisant les propriétés énoncées dans la partie 7.6.4.1). Néanmoins, le concepteur d'un PID doit garder présents à l'esprit les trois effets de ce régulateur :

- ◆ effet proportionnel :
  - + assure la raideur du système.
  - risque d'entraîner des oscillations voire l'instabilité.
- ◆ effet intégral :
  - + assure la précision ( $\epsilon_p = 0$ ).
  - entraîne un ralentissement du transitoire et peut générer des oscillations allant jusqu'à l'instabilité.
- ◆ effet dérive :
  - + anticipe la réaction du système car utilise la variation de l'erreur. Ceci évite des oscillations et a un effet stabilisateur. En fait, cet effet ajoute de l'amortissement en augmentant la marge de phase ce qui permet d'accroître le gain proportionnel.
  - ne peut être utilisé seul car génère des accroissements dans la commande. Il accentue la sollicitation des actionneurs et peut répercuter l'effet des perturbations de hautes fréquences, en particulier celles apparaissant sur la mesure des sorties.

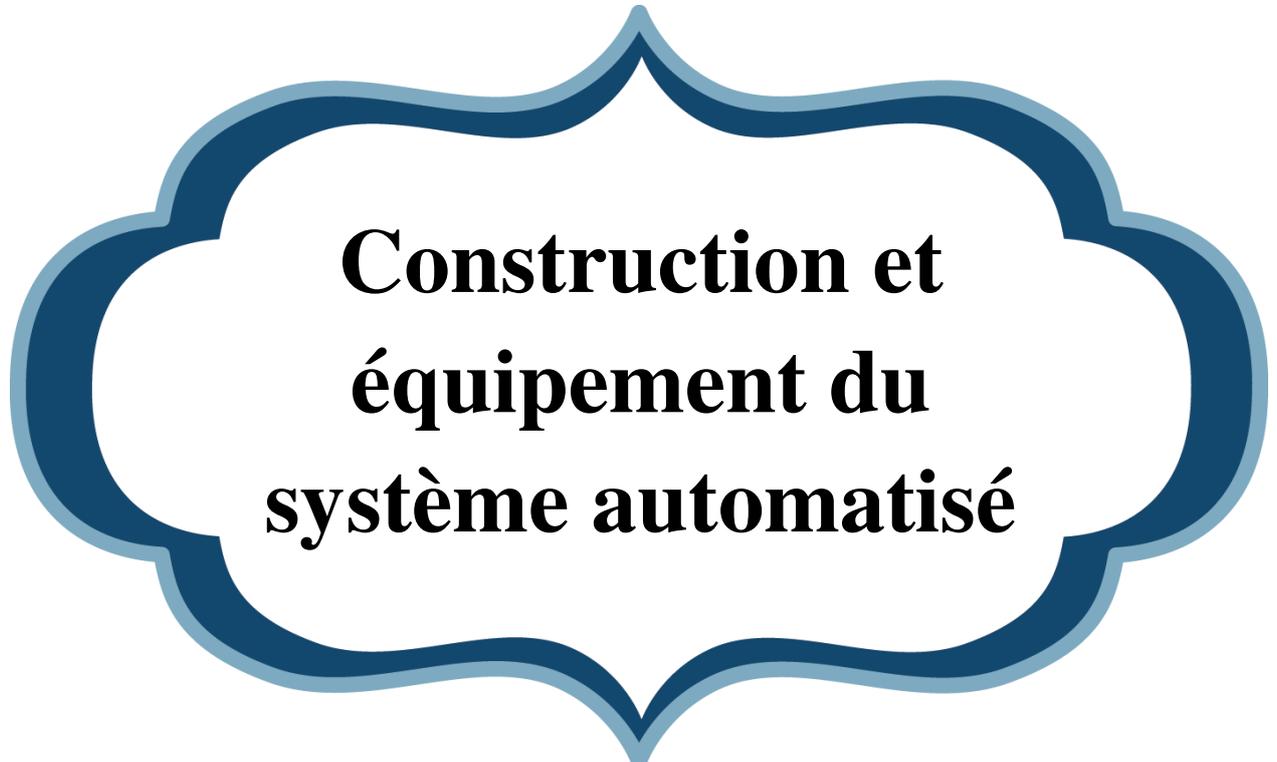
Une fois une première synthèse d'un PID effectuée, il convient d'affiner les réglages en considérant ces faits. On peut trouver des régulateurs P, PD, PI, et même PID avec des sophistications diverses. Il existe également d'autres types de régulateurs qui ne sont pas envisagés ici mais qui peuvent être tout aussi efficaces. Le PID reste le plus célèbre, le plus couramment utilisé, et il résout une bonne part des problèmes d'asservissement et de régulation rencontrés dans l'industrie, ceci de manière assez satisfaisante[14].

## **II.9 - CONCLUSION**

Ce parcours se voulait très simple et les évolutions sportives ont été évitées au maximum. Quelques-uns sont listés en annexe. Il donne une vision de ce que pourrait être l'automatisation, mais toute personne amenée à réaliser des activités d'automatisation est appelée à consolider ses connaissances. Il existe de nombreuses possibilités d'appliquer des concepts d'automatisation pour améliorer les performances, le confort ou la sécurité d'un véhicule. On peut citer les applications les plus connues : suspension active, injection électronique (notamment pour réduire la pollution) et inclure également une structuration précise du système automatisé et comment induire la stabilité, tout en mentionnant quelques-unes des plus connues dans ce domaine .

# **CHAPITRE**

## **III**

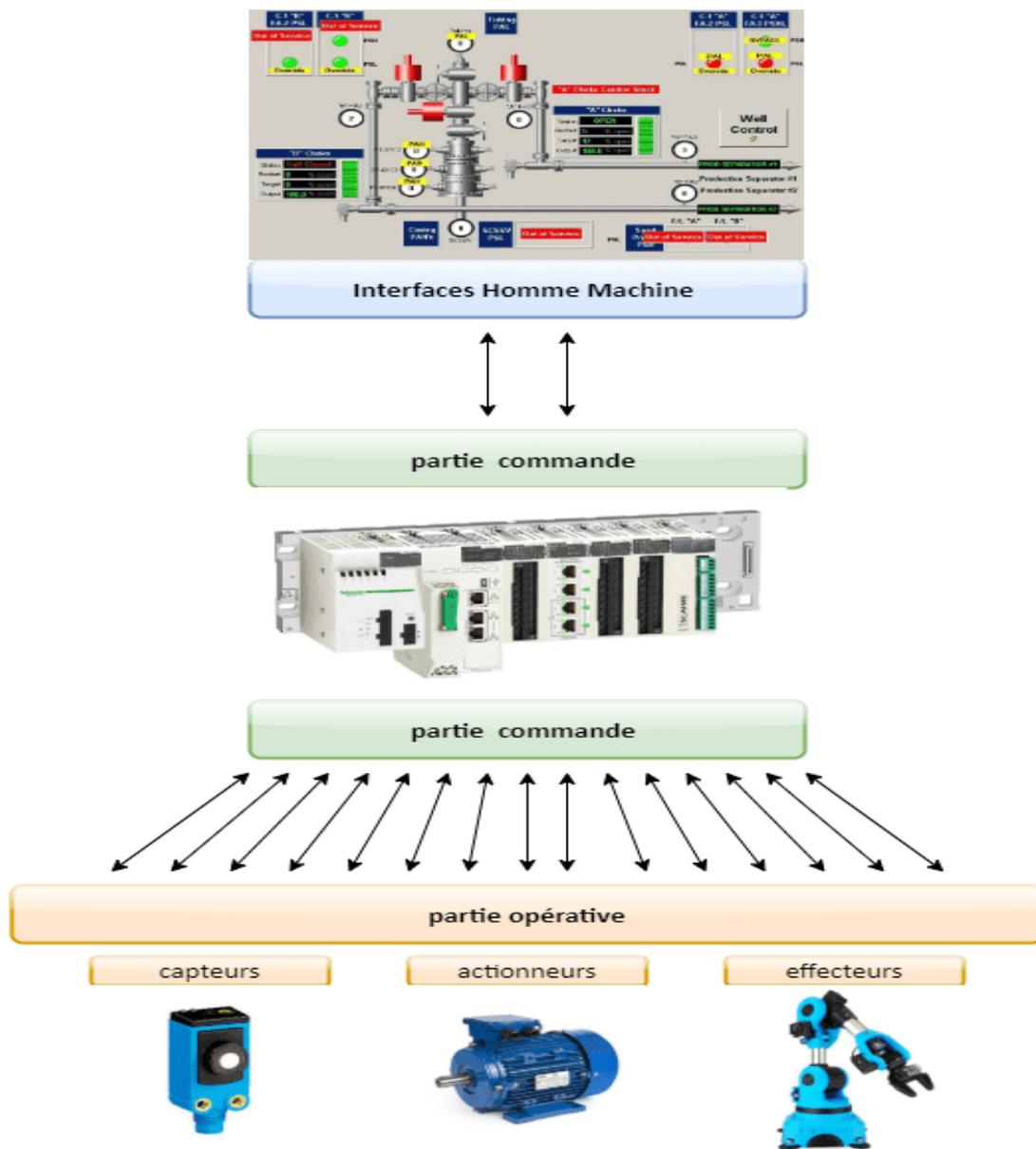


**Construction et  
équipement du  
système automatisé**

### III.1 INTRODUCTION :

Pour construire un système automatisé, nous avons besoin de matériel, de logiciels et d'un moyen de communiquer entre eux de manière cohérente qui assure le bon fonctionnement du système sans erreurs, car nous éliminerons le rôle de l'être humain qui le surveille.

Dans ce chapitre, nous apprendrons comment construire un système automatisé, le matériel et les logiciels utilisés dans le système automatisé, ainsi que la méthode de communication, de fonctionnement et de contrôle.



## III.2 Conception un système automatisé :

Afin de concevoir un système automatisé ou une machine spéciale ,on a besoin d'établir l'analyse fonctionnelle ou l'analyse des besoins .Cela permet de déterminer toutes les fonctions à intégrer dans le système .Lors de l'analyse fonctionnelle ,différents paramètres rentrent en jeux tels que le cout ,la qualité et le délai .Il faut recenser ,hiérarchiser et pondérée les différentes fonctions .On distingue 3 types de fonctions les fonctions principales(fonction pour lesquelles le système a été crée) ,les fonctions secondaires(fonctions amélioratives) et les fonctions de contrainte(fonction qui limitent dans les choix).

### III.2.1 Cahier des charges automatisme industriel :

Dans le cas d'un projet entre un prestataire de service et son client ,le cahier des charges va service d'interface entre ceux ci. Le client va exprimer ses besoins de manière plus ou moins détaillée et lancer un appel d'offre ,ainsi la société de prestation par l'intermédiaire d'un chargé d'affaire ou d'un chef de projet va se charger de répondre à l'offre en proposant une solution qui répond au mieux au besoin du client .Tout au long du projet ,des réunions bilan se tiendront afin de suivre l'évolution du dossier ,si besoin des changements pourront être fait à la demande du client.

Et le cahier des conditions permet à un schéma bidimensionnel du système de montrer les positions des pièces mécaniques et électriques[15] .

#### 2.1.1 exemple Cahier des charges ( charges Système automatisé de trie de pièces)

Cahier des charges

Nous voulons concevoir un système de trie de pièces suivant leur taille, ainsi le processus fonctionne comme suit :

L'opérateur appuie sur le bouton T0(mode automatique) et T1(mode manuel) selon son choix ce qui permet de démarrer le cycle .Ainsi, les pièces sont acheminées par un tapis roulant au niveau du poste de contrôle/aiguillage. Deux cas de figure peuvent se produire :

- Si la pièce est de grande taille (capteur T4 actionné), le moteur M du tapis s'arrête et le vérin V sort pour éjecter la pièce. Le capteur T3 actionné, il rentre de nouveau. T2 actionné, le tapis s'arrête après 30 minutes si on est en mode manuel ou redémarre si on est en mode automatique.
- Si la pièce est de petite taille (T5 actionné), le moteur continue de tourner pour acheminer les pièces au poste de stockage puis s'arrête après 30 minutes si on n'est en mode manuel ou continue de tourner si on est en mode automatique[15].

### III.2.2 Le modèle GRAFCET

Le GRAFCET (GRAPhe Fonctionnel de Commande Étape Transition) est un langage graphique de modélisation destiné à représenter le fonctionnement d'automatismes séquentiels dont les informations sont de type logique (vrai ou faux). On parle également de diagramme séquentiel fonctionnel. On l'utilise en général pour représenter ou spécifier les systèmes de commande de ces dispositifs, pour définir les cahiers des charges des automatismes séquentiels ou pour programmer des systèmes aptes à les piloter comme par exemple des automates programmables.

Pour considérer un exemple simple qui nous permettra de cibler le type de systèmes concernés par notre propos, imaginons une chaîne de remplissage très simple qui consiste à remplir des pots de peinture initialement vides et défilant sur un tapis roulant (Figure III.1) [16] .

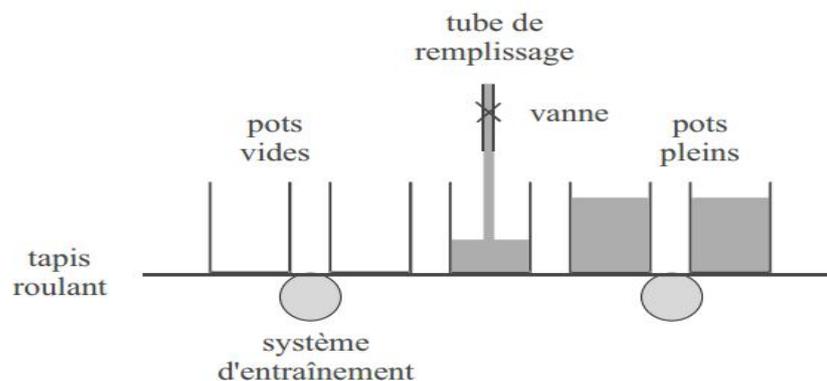


Figure III.1: Système de remplissage

#### 2.2.1 Analyse du système

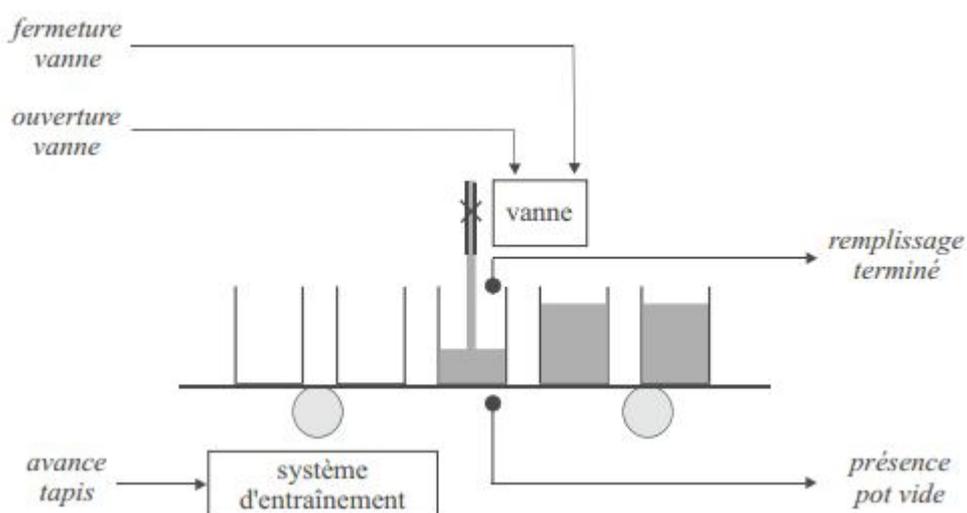
Une première analyse rapide de ce système fait nettement apparaître son caractère séquentiel, autrement dit son fonctionnement devant obéir à une certaine séquence d'opérations. Ces opérations, au cours desquelles un certain nombre d'actions doivent être réalisées, peuvent être considérées comme des étapes élémentaires. Ici, trois actions élémentaires peuvent être identifiées : avance du tapis roulant sur une distance prédéfinie, ouverture de la vanne et fermeture de la vanne.

Pour que notre système fonctionne correctement, il convient également, sans aucun doute, de disposer de capteurs permettant de détecter un certain nombre d'événements qui peuvent s'avérer déterminants : un capteur de présence d'un pot vide en dessous du tube de remplissage et un capteur permettant de détecter que le pot en cours de remplissage est devenu plein. Ce sont effectivement ces événements qui sont à même de valider le passage à l'action suivante ou pas.

La transition d'une étape à une autre ne peut donc se faire qu'en fonction des informations délivrées par ces capteurs. On notera bien que ces informations, tout comme les ordres de commande, d'ailleurs, sont bien d'ordre logique (ou booléen ou encore « tout ou rien ») ce qui est conforme à nos attentes.

La figure III.2 reprend le schéma original de notre dispositif en faisant apparaître les informations qui commandent le fonctionnement du système et celles que le système « envoie » par l'intermédiaire des capteurs. C'est ce qu'on appelle la partie opérative du système. Vu la simplicité du dispositif, il est relativement facile d'en établir la séquence de fonctionnement et de montrer comment les différentes étapes s'enchaînent en fonction des informations délivrées par les capteurs (tableau de la figure III.3). On ne peut ainsi passer d'une étape à l'autre que lorsqu'une condition est remplie, la transition étant en quelque sorte, conditionnée par une information logique.

Nous venons clairement de mettre en évidence, dans le fonctionnement séquentiel de cette chaîne de remplissage, des notions d'étapes et de transitions, deux mots clés a priori important dans le concept de GRAFCET. Si l'on considère le GRAFCET comme un langage descriptif, même s'il se représente graphiquement de manière très simple, il convient d'en connaître l'ensemble du vocabulaire ainsi que, en quelque sorte, les règles de syntaxe. C'est ce que le prochain paragraphe se propose de détailler[16].



**Figure III.2: Informations essentielles du système**

### 2.2.2 Notions d'entrées et de sorties :

Le schéma de la figure III.2 ne représente en réalité que la partie dite opérative du système. La gestion des informations, quant à elle, sera dévolue à ce qu'il est convenu d'appeler la partie commande. Les deux sont liées par le double flux d'informations, envoyées par la partie opérative par l'intermédiaire des capteurs et

étape 1	avance tapis
	<i>présence pot vide</i>
étape 2	ouverture vanne
	<i>remplissage terminé</i>
étape 3	fermeture vanne

**Figure III.3 : Étapes de fonctionnement du système**

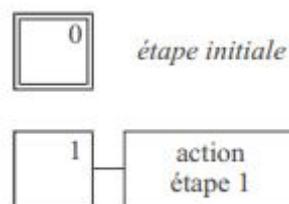
reçues par cette même partie opérative par les organes appelés actionneurs et qui transforment les ordres en actions. Vu de la partie opérative, on parle alors respectivement de sorties et d'entrées[16].

### III.2.3 PRINCIPES DE REPRÉSENTATION :

#### 2.3.1 Notion d'étape et de liaison :

Une étape correspond, d'une manière générale à un état donné du système. Elle peut être associée à une action ou encore à un comportement particulier dans l'organisation générale de sa séquence ; elle peut être active ou inactive. Dans le fonctionnement séquentiel d'un système, les étapes ont vocation à être successivement actives et inactives au fur et à mesure du déroulement du processus. On associe à chaque étape une variable logique d'étape qui est considérée à 1 lorsque l'étape est active et à 0 dans le cas contraire.

Dans la représentation GRAFCET, on représente une étape par un carré ou un rectangle auquel on associe un numéro et parfois une étiquette qui indique, le cas échéant, l'action réalisée par l'étape. La figure III.4 illustre cette représentation. Si le déroulement de la séquence fait intervenir une étape initiale, celle-ci n'est en général associée à aucune action particulière et on la représente symboliquement par un carré à trait double[16].



**Figure III.4 : Représentation des étapes**

L'enchaînement entre deux étapes successives est représenté par une liaison qui n'est rien d'autre qu'un trait (ou un arc) liant une étape à l'étape suivante. L'usage consiste à considérer que la lecture d'une liaison se fait de haut en bas ou de gauche à droite. Dans le cas contraire ou en cas d'ambiguïté, on peut orienter l'arc par une flèche pour préciser le sens d'évolution de la séquence (figure III.5). Lorsqu'on représente l'état du système à un instant donné, on indique la ou les étape(s)

active(s) en plaçant un « jeton », autrement dit un petit cercle noir à l'intérieur de celles-ci.

### 2.3.2 Notion de transition :

Le passage d'une étape à un autre, s'il est schématisé par un trait ou par un arc, est en général conditionné par une condition (ou réceptivité) : c'est la notion de transition que l'on représente par une petite barre au travers de cet arc. Il se peut qu'une transition ne soit associée à aucune condition. On dit alors que la réceptivité de la transition est toujours vraie. C'est le cas où deux étapes s'enchaînent sans condition particulière.

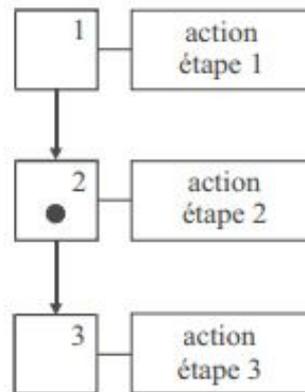
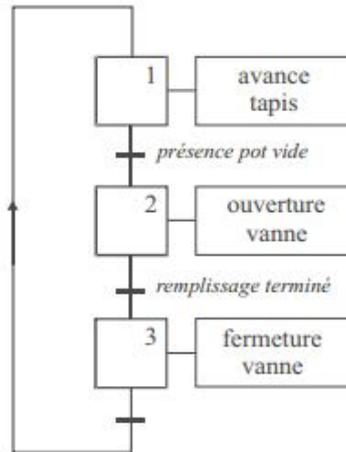


Figure III.5 : Représentation de l'évolution d'une séquence

### 2.3.3. Exemple :

Reprenons l'exemple développé au paragraphe III.1 à propos de la chaîne de remplissage et aidons-nous du tableau de la figure III.3 pour en modéliser le GRAFCET (figure III.6). Chaque étape est matérialisée par un carré et les deux transitions principales sont caractérisées par leur réceptivité, autrement dit, respectivement par les conditions « présence pot vide » et « remplissage terminé ». On notera qu'une fois le remplissage d'un pot terminé, la vanne d'alimentation est fermée et comme nous supposons cette action instantanée, une transition inconditionnelle nous ramène à l'étape 1 pour faire avancer un nouveau pot vide

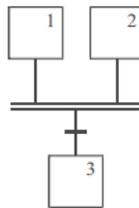


**Figure III.6 : GRAFCET de la chaîne de remplissage**

### 2.3.4 Règles de construction d'un GRAFCET :

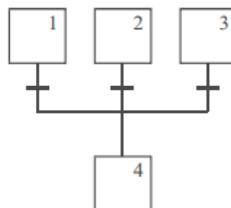
Le système de remplissage dont nous venons d'établir un GRAFCET somme toute très simplifié a certes valeur d'exemple mais dans la réalité industrielle, les dispositifs séquentiels sont souvent plus complexes et les GRAFCETs associés le sont également. Ainsi, plusieurs étapes peuvent être reliées à une seule transition ou inversement.

Dans le cas de la figure III.7, nous avons effectivement deux étapes reliées à une seule transition. On trace alors un double trait horizontal qui symbolise ce qu'on appelle la « convergence en ET » ou synchronisation amont. Dans ce cas, les deux étapes situées en amont de la transition devront être actives et la condition de transition devra être validée pour que la transition puisse être franchie vers l'étape suivante.



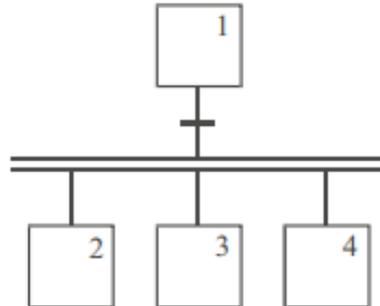
**Figure III.7 : Convergence en ET**

Sur la figure III.8, plusieurs étapes amont sont reliées à une étape « aval » par l'intermédiaire de trois transitions. Ici, il s'agit de symboliser le fait qu'une seule de ces transitions suffit pour activer l'étape suivante. C'est la « convergence en OU ».



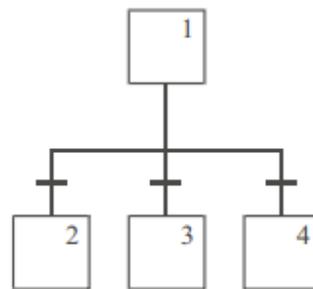
**Figure III.8 : Convergence en OU**

La divergence en ET correspond à la synchronisation du démarrage simultané de plusieurs étapes qui seront actives en même temps. Lorsque la condition de la transition est vraie, les trois étapes représentées sur la figure III.9 deviennent actives.



**Figure III.9 : Divergence en ET**

Pour finir, la figure III.10 représente la divergence en OU qui correspond à l'activation conditionnelle de plusieurs étapes « aval » possédant chacune leur propre condition d'activation.



**Figure III.10 : Divergence en OU**

### **2.3.5 - DIFFÉRENTS TYPES D'ACTION :**

L'activation d'une étape a en général pour objet de déclencher une action particulière sur le système. Ces actions peuvent être de différents ordres.

#### **2.3.5.1 Actions continues :**

Une action est dite continue si elle est effectuée pendant toute la durée d'activation de l'étape correspondante. Il peut s'agir, par exemple, de mettre en marche un indicateur lumineux tant que l'étape est active.

#### **2.3.5.2 Actions mémorisées :**

Une action mémorisée correspond à une opération déclenchée lorsque l'étape est activée, sans que la désactivation de l'étape n'interrompe l'action. Il peut s'agir d'une opération qui sera interrompue naturellement une fois sa tâche terminée (par exemple l'ordre de fermeture d'une vanne, une fois reçu par l'actionneur correspondant, déclenche l'action requise qui ne s'interrompra qu'une fois la vanne fermée) ou encore d'une opération qui sera arrêtée par une étape ultérieure.

### **2.3.5.3 Actions conditionnelles :**

Une action conditionnelle est une tâche effectuée lorsque l'étape est active si de surcroît une condition particulière est vérifiée.

### **2.3.5.4 Actions temporisées :**

Une action temporisée n'est déclenchée qu'après un certain délai après l'activation de l'étape correspondante. Elle peut être continue ou mémorisée.

## **III.2.4 ÉVOLUTION D'UN GRAFCET**

### **2.4.1 État initial d'un système**

Les étapes initiales sont celles qui sont actives au début du fonctionnement du système, en quelque sorte, lors de sa mise sous tension ou de son démarrage. Nous avons déjà évoqué leur symbole (carré aux traits doublés) et il peut y en avoir plusieurs au sein d'un même système. À l'instant 0 du fonctionnement du système, des jetons sont placés dans toutes ses étapes actives (exemple figure III.11).

### **2.4.2 Règles de franchissement des transitions**

Pour qu'une transition soit franchie, elle doit être validée en réunissant les deux conditions suivantes :

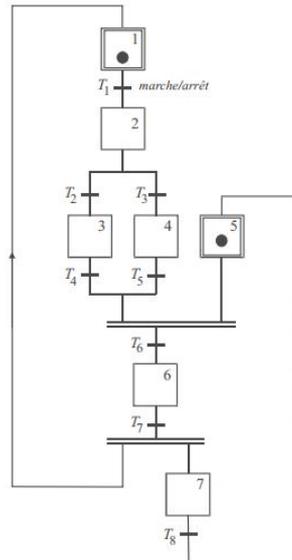
- les étapes immédiatement précédentes doivent être actives,
- sa réceptivité (c'est-à-dire sa condition intrinsèque) doit être vraie.

Dans ce cas, les étapes suivantes sont automatiquement activées et les étapes précédentes désactivées.

Dans l'exemple de la figure III.11, l'appui sur le bouton marche/arrêt rend vraie la réceptivité de la transition  $T1$  (que l'on supposera rester vraie en permanence).

Comme l'étape 1 était active, cette action active l'étape 2 et désactive l'étape 1. Le jeton placé initialement dans l'étape 1 « descend » donc dans l'étape 2 (figure III.12).

L'étape 2 est suivie d'une divergence en OU. Plusieurs cas de figure peuvent alors se produire. Si une seule des réceptivités  $T2$  ou  $T3$  est vraie (par exemple  $T3$ ), alors l'étape 2 est désactivée et c'est l'étape 4 qui s'active (figure III.13). On notera que l'étape 3 ne peut donc plus devenir active. Pour que les deux étapes .

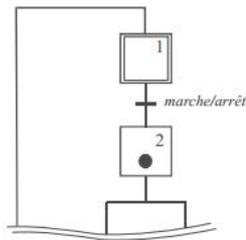


**Figure III.11 : Illustration des règles de franchissement des étapes**

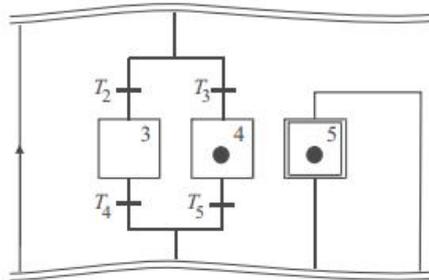
3 et 4 puissent s'activer en même temps, il faudrait que les deux réceptivités  $T_2$  et  $T_3$  soit vraies avant que l'étape 2 ne s'active.

Une convergence en OU est placée immédiatement après les étapes 3 et 4. Puisque l'étape 4 a été validée, il faudra attendre que la transition  $T_5$  soit validée pour atteindre la convergence en ET. Dès que la réceptivité  $T_6$  sera vraie, l'étape 6 deviendra active et les étapes 4 et 5 seront désactivées (figure III.14).

Lorsque la réceptivité  $T_7$  devient vraie, le GRAFCET évolue selon une divergence en ET : les étapes 1 et 7 s'activent et comme nous avons supposé que la transition  $T_1$  restait vraie en permanence, l'étape 2 s'active immédiatement[17].



**Figure III.12 : Déplacement du jeton**



**Figure III.13 : Activation d'étape**

On peut continuer à simuler ainsi à l'infini l'évolution de ce GRAFCET. On notera par exemple que tant que la transition  $T_8$  n'est pas validée, le jeton se trouvant, le cas échéant, dans l'étape 7, ne peut revenir dans l'étape 5. Dans ces conditions, la convergence en ET se trouvant au-dessus de la transition  $T_6$  ne peut plus (momentanément) être franchie, même si, entre-temps, l'évolution du système a activé l'étape 3 ou l'étape 4.

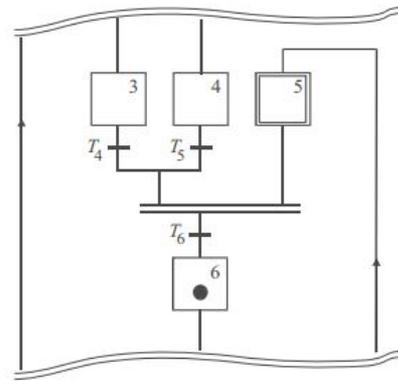


Figure III.14 : Désactivation d'étapes

### 2.4.3 Notion d'évolution fugace :

On dit que le GRAFCET d'un système subit une évolution fugace lorsque plusieurs transitions qui s'enchaînent dans une séquence possèdent des réceptivités vraies (figure III.15).

Dans ce cas, le jeton d'activation d'étape va progresser de manière très rapide (pour ne pas dire instantanée) le long de la séquence jusqu'à s'immobiliser sur une étape dont la transition aval ne sera pas encore franchissable (l'étape 4 dans notre exemple). Le terme d'évolution fugace évoque bien cette notion de parcours au cours duquel un certain nombre d'étapes ne vont rester actives qu'un très court laps de temps. Si des actions continues sont associées à ces étapes, elles ne seront pas réalisées. En revanche, s'il s'agit d'actions mémorisées, elles le seront[17].

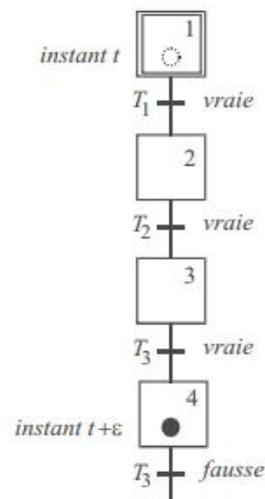


Figure III.15 : Évolution fugace .

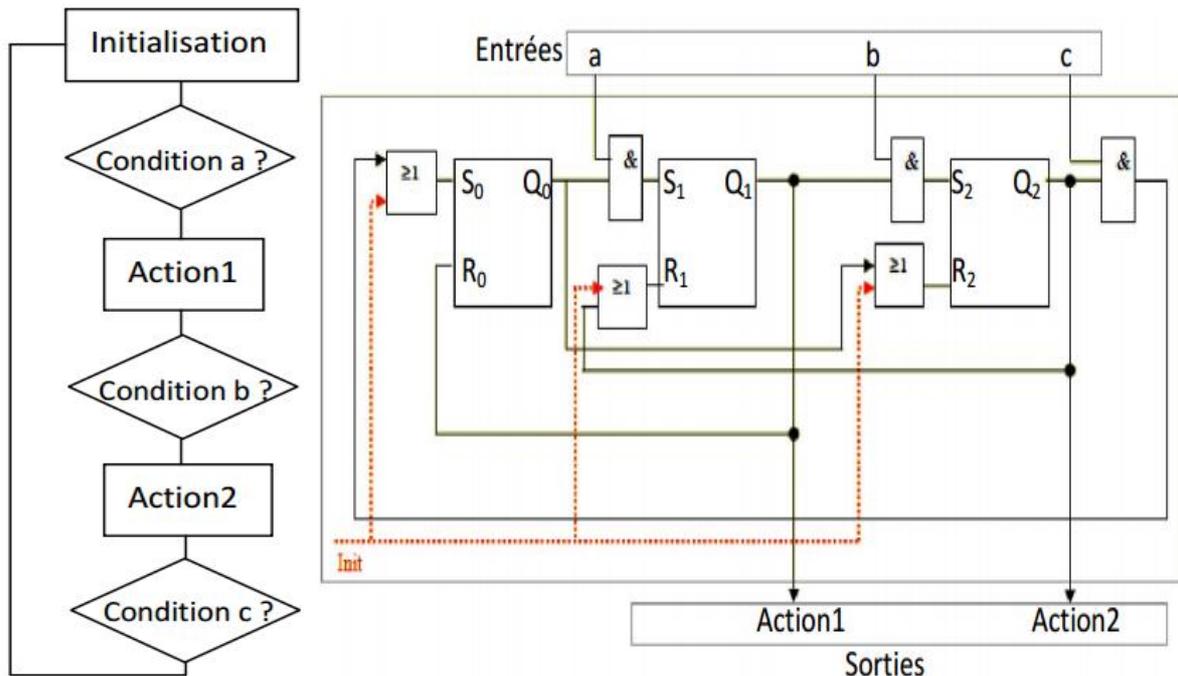
### III.3 - EQUIPEMENT DU SYSTEME AUTOMATISE (HARDWARE) :

#### III.3.1 La Partie Commande :

La partie de commande a pour tâche de donner les ordres de fonctionnement à la partie opérative. Elle reçoit les consignes de l'opérateur et les informations de la partie opérative transmises par les capteurs. En fonction de ces consignes et de son programme de gestion des tâches implanté dans un automate programmable (logique programmée) ou réalisé par des relais et circuits (logique câblée). Elle va commander les pré-actionneurs et renvoyer des informations aux systèmes de supervision. Deux solutions sont empruntées pour la réalisation de la partie commande :

##### 3.1.1 Logique câblée :

L'automatisme est obtenu en reliant entre eux les différents constituants de base ou fonctions logiques (combinatoire et séquentielle) par câblage[8] .



**Figure III.16 :** Exemple de réalisation de la partie commande d'un système automatisé linéaire à l'aide de câblage par des bascules RS.

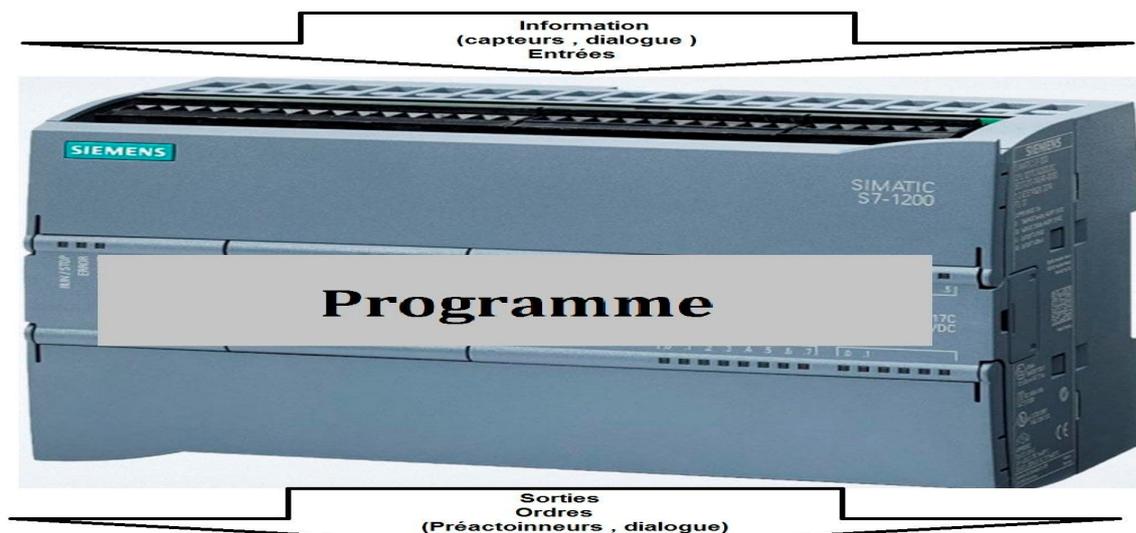
##### 3.2.2 Logique programmée :

Le schéma du système est transcrit en une suite d'instructions constituant le programme, qui s'exécute par un équipement spécial (automate programmable API, microprocesseur,...). En cas de modification, l'installation ne comporte aucune modification de câblage seul le jeu d'instructions est modifié.

	Câblée	Programmée
<b>Usage</b>	S'utilise pour des systèmes simples	S'utilise pour des systèmes complexes.
<b>Complexité</b>	la taille des circuits croit avec la complexité du problème.	La taille de circuits n'augmente plus avec la complexité du problème
<b>Evolutivité</b>	La moindre modification du problème entraîne le renouvellement du montage	Nécessite seulement une modification du programme .
<b>Rapidité</b>	l'avantage en terme de rapidité	La rapidité diminue avec la complexité du système
<b>Coût</b>	Faible (Pour un système simple)	Plus élevé

### 3.2.3 Les automates programmables industriels API :

Les API (en anglais : PLC programmable logic controller) sont apparues à la fin des années soixante, à la demande de l'industrie automobile américaine (GM). Il existe sur le marché de nombreuses marques d'automates : Siemens, Omron, Allen Bradley, Cegetel, Jetter, Shneider, etc. L'API est un appareil électronique programmable (par un automaticien, non informaticien) similaire à un ordinateur servant à commander des procédés industriels en élaborant des actions (pour les préactionneurs) selon un programme, à partir des informations fournies par les capteurs Un API est constitué essentiellement des parties suivantes :



**Figure III.17 : programmable logic controller (PLC)**

**3.2.3.1 Le microprocesseur :** c'est le cerveau de l'automate, il réalise toutes les fonctions logiques, de comptage, de calcul... à partir d'un programme contenu dans sa mémoire. Il est

connecté aux autres éléments (mémoire et interface E/S) par des liaisons parallèles appelées BUS, qui véhiculent les informations sous forme binaire[8].

**3.2.3.2 La mémoire :** est conçue pour recevoir, gérer, stocker des informations issues des différents éléments du système : l'utilisateur (PC ou console), le microprocesseur, les capteurs. Deux types de mémoire cohabitent :

- La mémoire Programme (**ROM** : mémoire morte) : où est stocké le langage de programmation. Elle est en général figée, c'est à dire en lecture seulement.
- La mémoire de travail (**RAM** : mémoire vive) : utilisable en lecture-écriture pendant le fonctionnement Elle s'efface à l'arrêt de l'automate. Elle est répartie en différentes zones mémoires : Table image des entrées, Table image des sorties, Mémoire des bits internes, Mémoire programme d'application.

**3.2.3.3 Les interfaces et les cartes d'Entrées / Sorties:**

- L'interface d'entrée comporte des adresses d'entrée. Chaque capteur est relié à une de ces adresses.
- L'interface de sortie comporte de la même façon des adresses de sortie. Chaque préactionneur est relié à une de ces adresses. Le nombre de ces entrées est sorties varie suivant le type d'automate.
- Cartes d'entrées : Elles sont destinées à recevoir les signaux en provenance des capteurs (signaux logiques TOR, analogiques, ou numériques) et adapter le signal en le mettant en forme.
- Cartes de sorties: Elles sont destinées à commander les pré-actionneurs et éléments des signalisations du système et adapter les niveaux de tensions de l'unité de commande à celle de la partie opérative.

**3.2.3.4 Alimentation des différentes parties :**

Architecture interne d'un API

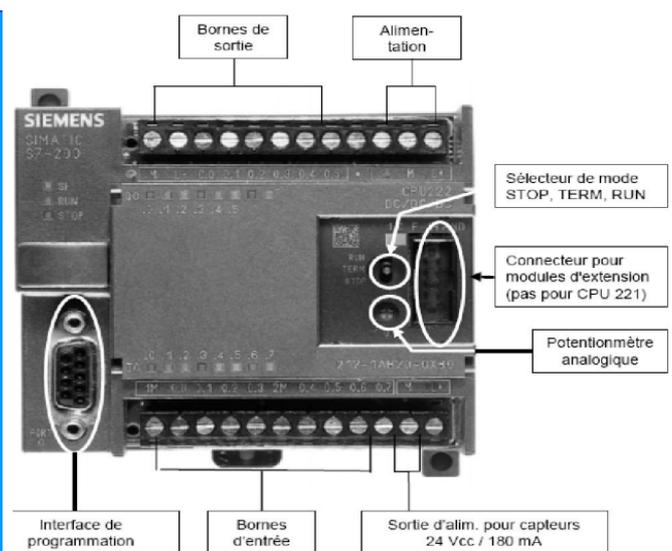
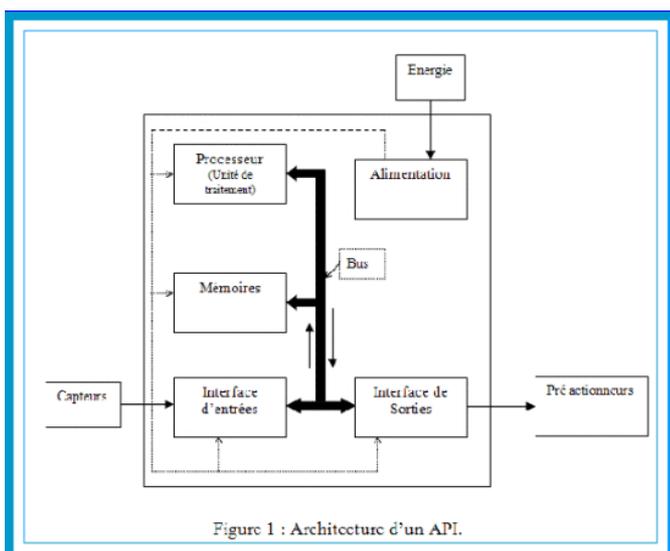


Figure III.18: Installation intérieure programmée industrielle Figure III.19: Connexions externes du programmeur industriel

Les API peuvent être compacts ou modulaires :

- **Le type compact (monobloc)** possède: un nombre d'entrées et de sorties restreint et son jeu d'instructions ne peut être augmenté. Ce type a pour fonction de résoudre des automatismes simples avec la logique séquentielle et utilisant des informations TOR.
- **Le type modulaire** : est adaptable à toutes situations. Selon le besoin, des modules d'E/S analogiques sont disponibles en plus de modules spécialisés tels : PID, BASIC, Langage C,... La modularité permet un dépannage rapide et une plus grande flexibilité[8].



Figure III.20 PLC Siemens S7-1200



Figure III.21 PLC Siemens S7-300

### III.3.2 La Partie opérative :

#### 3.2.1 Les Actionneurs :

Un actionneur est un constituant permettant de mettre en mouvement les organes de machines suite aux commandes électriques. Ceci en convertissant une énergie d'entrée (électrique, hydraulique ou pneumatique...) en une énergie de sortie (mécanique). Les actionneurs les plus utilisés sont :

##### 3.2.1.1 Actionneurs pneumatiques et hydrauliques :

Les actionneurs pneumatiques ou hydrauliques convertissent l'énergie pneumatique ou l'énergie des fluides en énergie mécanique de translation ou de rotation ou en énergie d'aspiration. Ses principales caractéristiques sont : la course, la force et la vitesse. Parmi les actionneurs pneumatiques et hydrauliques, on retrouve principalement des vérins, des actionneurs et des ventouses.

- **Le Vérin** : Un vérin pneumatique ou hydraulique sert à créer un mouvement mécanique, et consiste en un tube **cylindrique** (le cylindre) dans lequel une pièce mobile, appelé le **piston**, sépare le volume du cylindre en deux chambres isolées l'une de l'autre. Un ou plusieurs orifices permettent d'introduire ou d'évacuer un **fluide** dans l'une ou l'autre des chambres et ainsi déplacer le piston..

Une tige rigide est attachée au piston et permet de transmettre effort et déplacement. Généralement la tige est protégée contre les agressions extérieures par un traitement augmentant la dureté superficielle. Selon les conditions d'exploitation, des revêtements appropriés à base de **chrome**, de **nickel** et chrome ou de céramique sont réalisés.

L'étanchéité entre les chambres du vérin ou entre corps et tige est réalisée par des **joints**. Cette fonction est primordiale, car elle caractérisera le rendement et

la durée de vie du vérin. On protégera particulièrement le vérin des risques d'introduction de pollution par la tige grâce à l'installation d'un joint racleur.

Le guidage est assuré par des porteurs en matériaux à faible

friction (**bronze**, matériaux

composites...). Leur choix dépendra du fluide et des caractéristiques de charge et de vitesse du vérin[18].

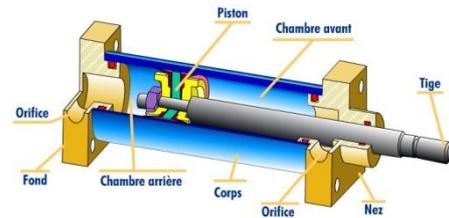


Figure III.22 : Le Vérin

Exemples d'utilisation :

Leur classification tient compte de la nature du fluide, pneumatique ou hydraulique, et du mode d'action de la tige : simple effet (air comprimé admis sur une seule face du piston), double effet (air comprimé admis sur les deux faces du piston)... Les vérins pneumatiques utilisent l'air comprimé, de 2 à 10 bars en usage courant. Du fait de la simplicité de mise en œuvre, ils sont très nombreux dans les systèmes automatisés industriels.

de position, dispositifs de fin de course, dispositifs de détection, distributeurs, guidage,

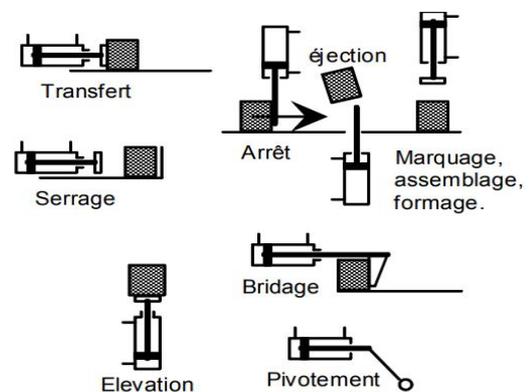


Figure III.23 : Exemples d'utilisation Le Vérin

Remarque : une grande quantité de fonctions complémentaires peut leur être intégrée : amortissement de fin de course, capteurs

### Vérins simple effet (VSE)

L'ensemble tige-piston se déplace dans un seul sens sous l'action du fluide sous pression. Le retour est effectué par un autre moyen que l'air comprimé : ressort charge, ...Pendant le retour, l'orifice d'admission de l'air comprimé est mis à l'échappement.

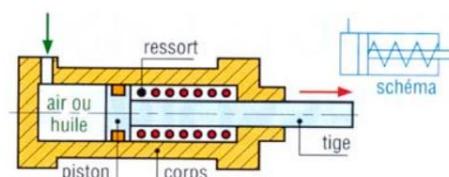


Figure III.24 : Vérin simple effet

### Vérins double effet (VDE)

L'ensemble tige-piston peut se déplacer dans les deux sens sous l'action du fluide sous pression (air comprimé). L'effort en poussant (sortie de la tige) est légèrement plus grand que l'effort en tirant (entrée de la tige) car la pression n'agit pas sur la

partie de surface occupée par la tige[18].

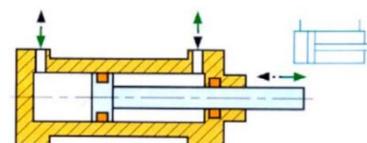


Figure III.25 : Vérin double effet

### 3.2.1.2 Actionneurs électriques :

Les actionneurs électriques sont principalement les moteurs électriques ; qui sont des appareils qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique. Leur fonctionnement repose sur les principes de l'électromagnétisme. Le moteur comporte deux parties : - une partie fixe (le stator) et une partie mobile (le rotor). Il existe un grand nombre de types de moteurs : moteurs asynchrones (généralement à courants triphasés : moteurs à cage, moteurs à bagues), moteurs à courant continu, moteurs synchrones, moteurs pas à pas... L'électroaimant est un autre type des actionneurs électriques dans lequel la force magnétique est utilisée[8].

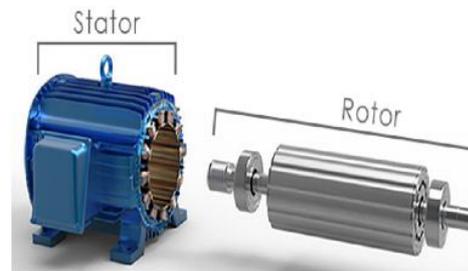


Figure III.26 : moteurs asynchrones

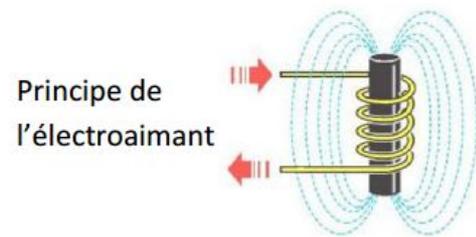


Figure III.27 : champ magnétique

### 3.2.2 Les préactionneurs :

Les préactionneurs sont des interfaces d'énergie entre la Partie Commande et la Partie Opérative. La Partie Commande est généralement incapable de distribuer directement l'énergie nécessaire à l'actionneur. Par exemple :

- Partie Commande en très basse tension (24Volts continu), et Partie Opérative 400Volts triphasée (moteurs de forte puissance).
- Partie Commande électrique et Partie Opérative pneumatique (vérins).

Le préactionneur est donc là pour s'occuper de distribuer une énergie forte adaptée à l'actionneur en fonction de la commande (signal faible) venant de l'API.

#### 3.2.2.1 Types de préactionneurs :

**a. Les distributeurs (préactionneurs pneumatiques ou hydrauliques) :** Un distributeur est constitué d'une partie fixe et d'une partie mobile (le tiroir) :

- La partie fixe est dotée d'orifices connectés à la source d'énergie (air comprimé,...), à l'actionneur et à l'échappement.
- Le tiroir mobile, coulissant dans la partie fixe, il est doté de conduites permettant le passage de fluide entre les différents orifices et la partie fixe[8].

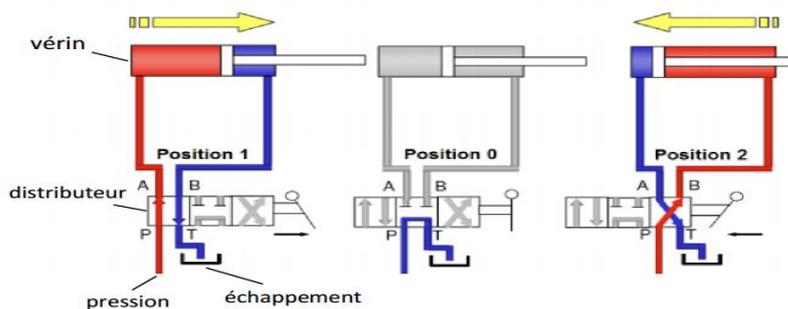


Figure 3.28 : Principe de fonctionnement d'un distributeur

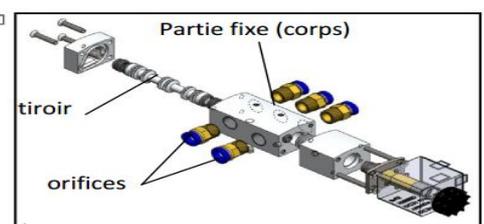


Figure 3.29 : Constituants d'un distributeur

### Schématiquement :

- On représente un distributeur à l'aide de cases. Chaque position est symbolisée par une case
- A l'intérieur des cases, on représente les voies de passage de fluide pour chacune des positions.
- Une possibilité de passage du fluide est symbolisée par une flèche indiquant le sens de circulation. Un blocage du fluide est symbolisé par un "T".
- Pour caractériser un distributeur, il faut définir le nombre de voies ou d'orifices ainsi que le nombre de positions (par exemple un distributeur 3/2 : comprend 3 orifices et 2 positions). Pour en comprendre le fonctionnement, il faut imaginer que les canalisations sont fixes et que ce sont les cases qui se déplacent devant les canalisations, et non l'inverse.

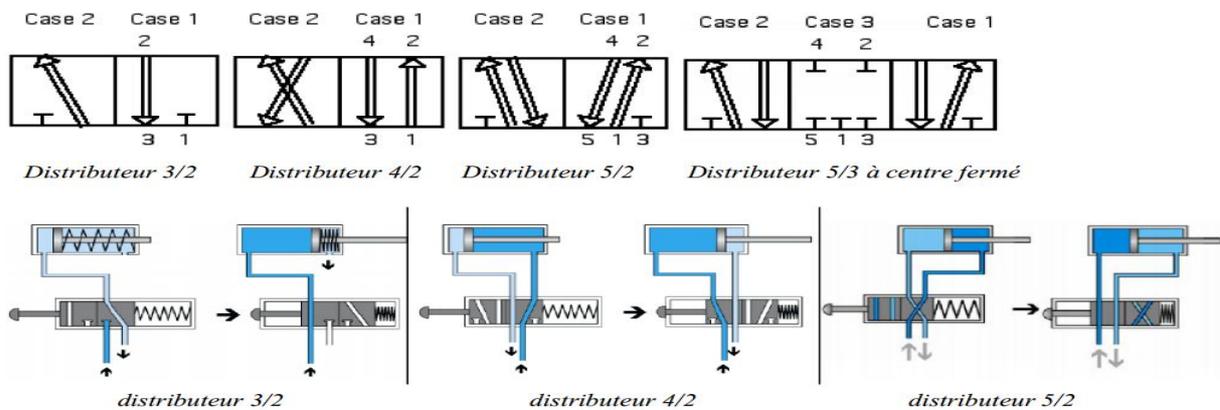


Figure III.30 : les distributeurs

**b. Les Relais et Contacteurs (pré-actionneurs électriques) :** Le Relais est le terme général qui désigne les pré-actionneurs électriques. Les contacteurs sont des relais conçus pour commuter des courants électriques forts.

**b.1. Relais :** Un relais électromécanique est un organe électrique permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande : il permet l'ouverture et la fermeture d'un circuit électrique par un second circuit complètement isolé (isolation galvanique) et pouvant avoir des propriétés différentes. Un relais est composé principalement d'une bobine, un ressort de rappel, de 2 à 4 contacts de puissance ou pôles, un circuit magnétique constitué d'un aimant fixe et d'un aimant mobile (armature fixe et mobile), Son fonctionnement est comme suit :

- En l'absence d'ordre de la P.C., les contacts sont au repos.
- Quand l'automate envoie l'ordre de commande (signal de 24 V), le courant électrique crée un champ magnétique dans la bobine, qui pousse la barre de commande. Les contacts changent alors d'état.

Dès la disparition de l'ordre, les contacts reprennent leur état de repos[8].

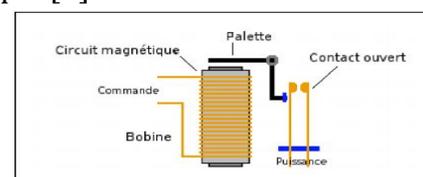


Figure III.31 : Relais

**b.2. Contacteur** : Le contacteur a la même fonction qu'un relais électromécanique, sauf que ses contacts sont prévus pour supporter un courant beaucoup plus important. Des contacteurs sont utilisés afin d'alimenter des moteurs industriels de grande puissance (plus de 50 kW). Ils sont aussi utilisés en milieu domestique pour alimenter des appareils électriques comme le chauffage ou le chauffe-eau, car les organes de commande (thermostat, interrupteur horaire...) risqueraient d'être rapidement détériorés par un courant trop important.

Selon leur utilisation ils peuvent être unipolaires, bipolaires, tripolaires ou encore tétrapolaires, en d'autres termes ils possèdent de un à quatre contacts de puissance[8].

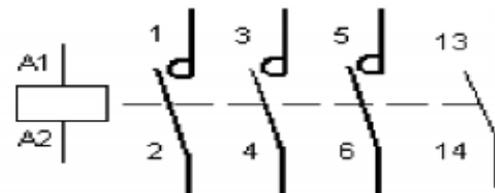


Figure III.32 : Symbole d'un contacteur tripolaire : à gauche la bobine, au centre les contacts de puissance, à droite un contact auxiliaire

### 3.2.2.2 Pilotage des pré-actionneurs :

C'est la Partie Commande qui pilote les pré-actionneurs en leur envoyant des ordres sous forme de signaux.

**Pré-actionneur monostable** : Il est actif si et seulement si l'ordre de commande est présent. Autrement dit, dès que l'ordre de commande cesse, le pré-actionneur monostable retourne à son état de repos.

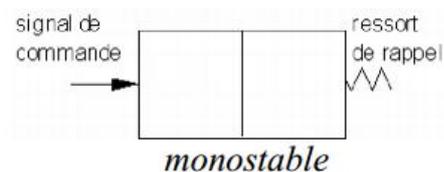


Figure III.33 : Pré-actionneur monostable

**Un pré-actionneur bistable** : Il reste dans l'état que lui impose un ordre de la Partie Commande et reste dans cet état jusqu'à un nouvel ordre.

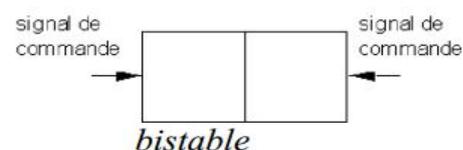


Figure III.34 : Pré-actionneur bistable

### 3.2.3 Les Capteurs :

Les capteurs sont des éléments sensibles à des grandeurs physiques (température, pression, force, position, vitesse, luminosité,...) qu'ils transforment en signal électrique[8].

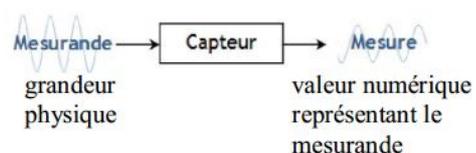


Figure III.35 : Principe de Capture

On peut classer les capteurs sur la base de consommation ou pas de l'énergie en :  
**Capteurs actifs** : n'exigent pas d'alimentation. Ils sont directement générateurs d'une tension, d'un courant ou d'une charge à partir de la grandeur physique. Les principes physiques mis en jeu sont :

**Effet thermoélectrique** : c'est le principe de thermocouple. C'est un circuit constitué de deux conducteurs de nature chimique différente et dont les jonctions sont à des températures différentes. Il apparaît aux bornes de ce circuit une tension (force électromotrice) liée à la différence de température.

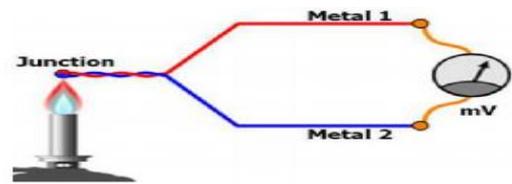


Figure III.36 : Thermocouple.

**Effet piézoélectrique** : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézoélectriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une charge électrique de signe différent sur les faces opposées. Exemple : Mesure d'effort, d'accélération (accéléromètre)

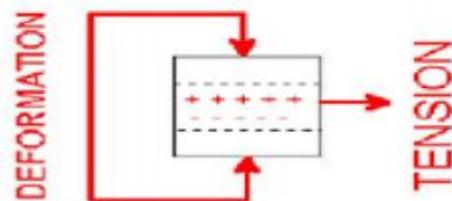


Figure III.37 : Piézoélectrique

**Effet pyroélectricité** : certains cristaux présentent une polarisation électrique proportionnelle à leur température. Ainsi, en absorbant un flux de rayonnement, le cristal pyroélectrique va s'échauffer et ainsi sa polarisation va se modifier entraînant une variation de tension détectable.

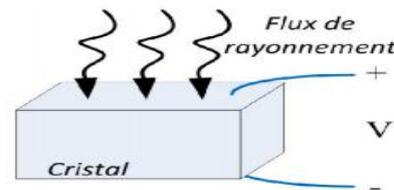


Figure III.38 : Pyroélectricité

**Effet d'induction électromagnétique** :

La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique. Exemple : Détection de passage d'un objet métallique

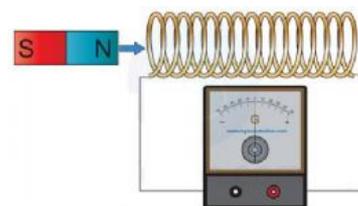


Figure III.39 : d'induction électromagnétique

**Effet photoélectrique et photovoltaïque** : Basés sur la libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux, ou plus généralement d'une onde électromagnétique. Exemple : Mesure de lumière (capteur CCD, photodiode)[8].

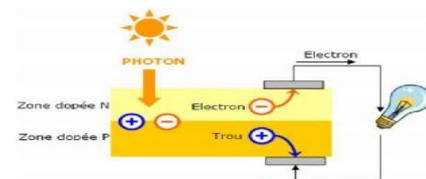


Figure III.40 : photoélectrique et photovoltaïque

**Effet Hall** : Un barreau de semi-conducteur soumis à un champ magnétique uniforme  $B$  et traversé par un courant  $I$ , est le siège entre les faces supérieure et inférieure du barreau d'une tension  $V_H$  proportionnelle à  $B$  qui constitue le signal de sortie.

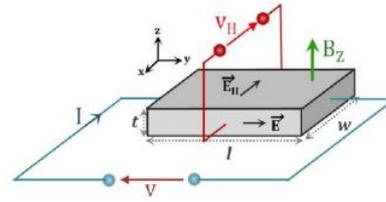


Figure III.41 : Hall

**Capteurs passifs** : Ils ont besoin dans la plupart des cas d'apport d'énergie extérieure pour fonctionner. Il s'agit en général d'une impédance dont la valeur varie avec la grandeur physique. Parmi ces capteurs on a :

- **Capteurs résistifs** : La résistance interne du capteur varie avec la grandeur physique. Exemples : Mesure de température par résistance à fil de platine, thermistance - Mesure d'effort par jauge de contrainte - Mesure d'intensité lumineuse par photorésistance.
- **Capteurs inductifs** : La valeur de l'inductance  $L$  varie avec la grandeur physique. Exemples : Mesure de déplacement par inductance variable - Mesure d'effort par capteur magnéto-élastique.
- **Capteurs capacitifs** :  $C$  varie avec la grandeur physique. Exemples : - Mesure de déplacement et de position : l'objet dont on veut mesurer le déplacement se déplace avec une armature du condensateur - Mesure de niveau : la présence de liquide modifie la valeur de la capacité.

Le tableau suivant présente les Types des matériaux utilisés et caractéristique électrique des capteurs passifs

MESURANDE	EFFET UTILISE (Grandeur de sortie)	MATERIAUX
Température	Résistivité	Platine, nickel, cuivre, semi-conducteurs.
Très basse température	Constante diélectrique	Verre
Flux optique	Résistivité	Semi-conducteurs
Déformation	Résistivité Perméabilité	Alliages nickel Alliages ferromagnétiques
Position	Résistivité	Magnétorésistances : Bismuth, antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

On peut également classer les capteurs, en fonction du type de grandeurs physiques à mesurer, en :

- ◆ Capteurs Mécaniques : déplacement, force, masse, débit etc...
- ◆ Capteurs Thermiques : température, capacité thermique, flux thermique etc...
- ◆ Capteurs Electriques : courant, tension, charge, impédance, diélectrique etc...
- ◆ Capteurs Magnétiques : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique etc...
- ◆ Capteurs Radiatifs : lumière visible, rayons X, micro-ondes etc...

- ◆ Capteurs Bio/Chimique : humidité, gaz, sucre, hormone etc...

### III.3.3 La partie dialogue :

Assure l'échange d'informations entre l'opérateur et le système (dialogue homme-machine). On distingue :

• **Le dialogue de programmation** : lors de la phase de développement et de mise au point du système ; Il consiste à :

- Ecrire et interpréter l'ensemble des instructions du programme ;
- Implanter le programme en mémoire.

• **Le dialogue d'exploitation** : A partir d'un terminal d'exploitation (clavier et écran) l'opérateur peut :

- Lire sur un écran un message relatif à : l'état du système, à la nature du produit traité, à des mesures, à des défauts de fonctionnement.
- Commander par l'intermédiaire d'un clavier l'évolution du système (sélection des modes de fonctionnement ; saisie de consignes ; émission d'ordres...)

• **Le dialogue de supervision** : assure la coordination avec les autres systèmes concernés[8].

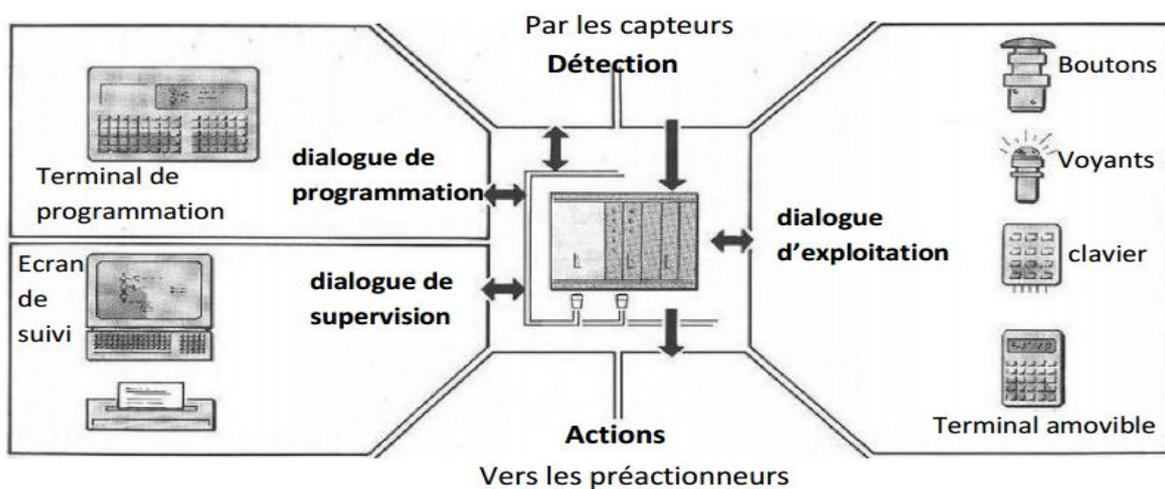


Figure III.42 : Sections du réseau

### III.4 - LOGICIEL DE SYSTEME AUTOMATISE (SOFTWARE) :

**III.4.1 Langages de programmation des API :** Il existe 4 langages de programmation des automates qui sont normalisés par la norme CEI 61131-3. L'automate se programme via une console de programmation ou par un PC équipé d'un logiciel spécifique.

- ◆ **Langage à contacts (LD : Ladder diagram) :** Langage graphique utilise les symboles tels que : contacts, relais et blocs fonctionnels et s'organise en réseaux (labels). C'est le plus utilisé.
- ◆ **Blocs Fonctionnels (FBD : Function Bloc Diagram) :** Langage graphique où des fonctions sont représentées par des rectangles avec les entrées à gauche et les sorties à droites. Les blocs sont programmés (bibliothèque) ou programmables. Utilisé par les automaticiens.
- ◆ **Liste d'instructions (IL : Instruction list) :** Langage textuel de même nature que l'assembleur (programmation des microcontrôleurs). Très peu utilisé par les automaticiens.
- ◆ **Langage littéral structuré (ST : Structured Text) :** Langage informatique de même nature que le Pascal, il utilise les fonctions comme if ... then ...else ... Peu utilisé par les automaticiens.[19]

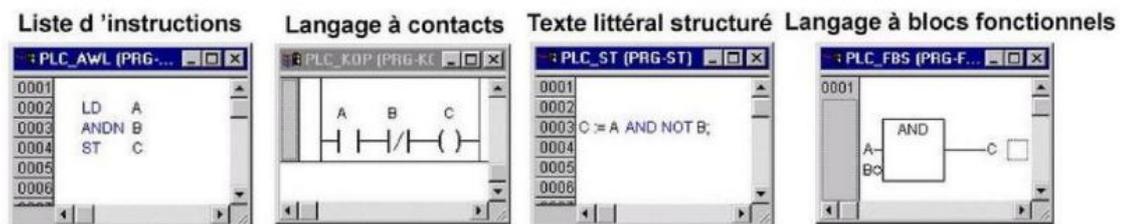


Figure III.43 : Langages de programmation des API

### III.4.2 TIA PORTAL STEP 7 :

La plateforme de développement TIA Portal de Siemens permet de faire un gain important en temps lors du développement de systèmes d'automatisation. C'est une plateforme tout en un comportant le logiciel Step 7 pour la programmation d'automates et WinCC Flexible pour les interfaces homme-machine. Cette plateforme est très architecturée proposant les sections HMI pour les interfaces, réseaux et Motion pour la commande de moteurs et variateurs. Grâce à PLCSim, on peut simuler de manière intuitive notre projet avant de la déployer sur un contrôleur.

### III.4.3 Principe de fonctionnement :

Lorsque l'on lance TIA Portal, l'environnement de travail se décompose en deux types de vue :

- ◆ **La vue du portail :** elle est axée sur les tâches à exécuter et sa prise en main est très rapide.

- ◆ **La vue du projet** : elle comporte une arborescence avec les différents éléments du projet. Les éditeurs requis s'ouvrent en fonction des tâches à réaliser. Données, paramètres et éditeurs peuvent être visualisés dans une seule et même vue[20].

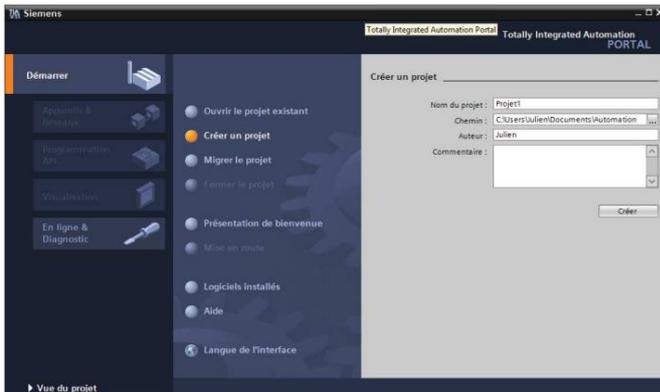


Figure III.44 : Vue du portail

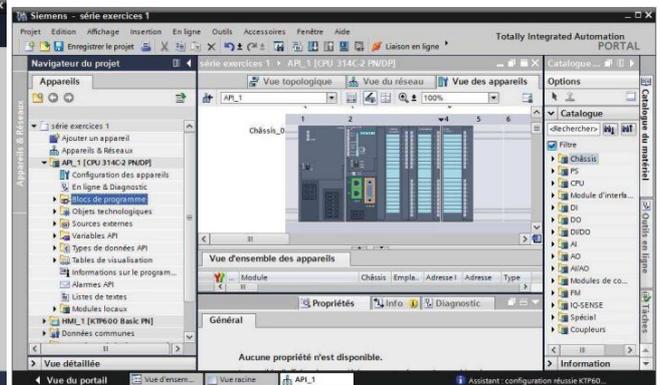


Figure III.45 : Vue du projet

**4.3.1 Vue du portail** : Chaque portail permet de traiter une catégorie de tâche (actions). La fenêtre affiche la liste des actions pouvant être réalisées pour la tâche sélectionnée.

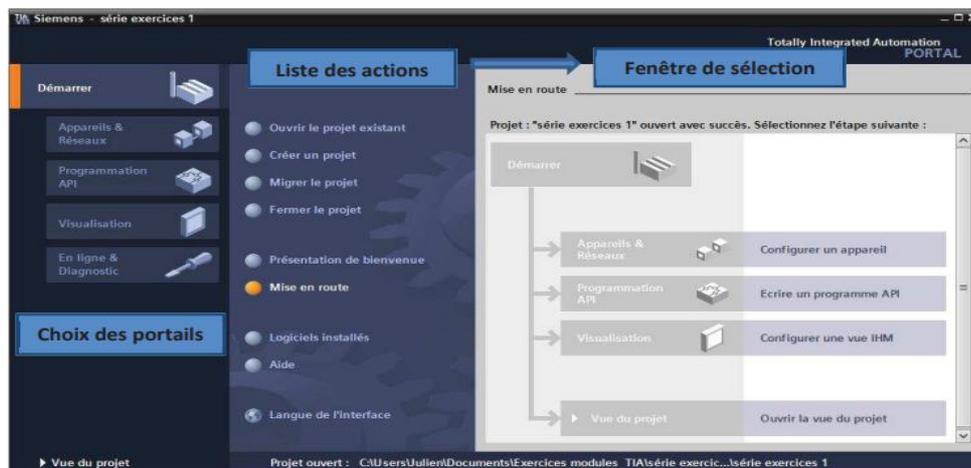


Figure III.46: Vue du portail

**4.3.2 Vue du projet** : L'élément « Projet » contient l'ensemble des éléments et des données nécessaires pour mettre en œuvre la solution d'automatisation souhaitée.

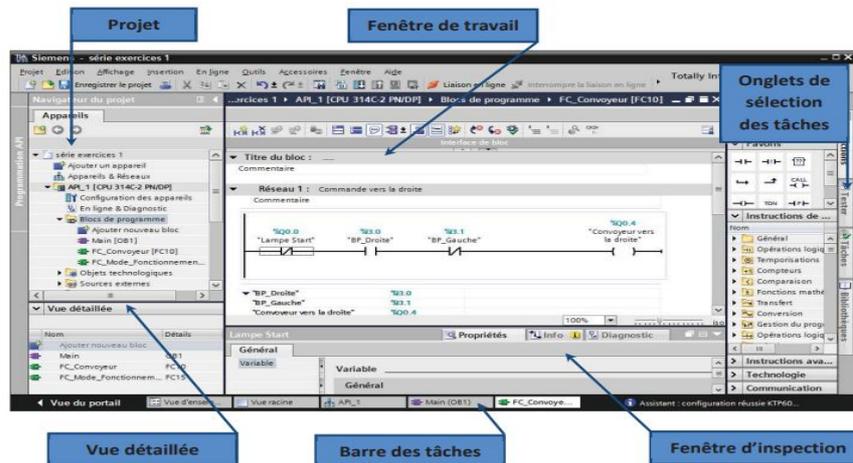


Figure III.47: Vue du projet

- ◆ La **fenêtre de travail** permet de visualiser les objets sélectionnés dans le projet pour être traités. Il peut s'agir des composants matériels, des blocs de programme, des tables des variables, des HMI,...
- ◆ La **fenêtre d'inspection** permet de visualiser des informations complémentaires sur un objet sélectionné ou sur les actions en cours d'exécution (propriété du matériel sélectionné, messages d'erreurs lors de la compilation des blocs de programme,...).
- ◆ Les **onglets de sélection de tâches** ont un contenu qui varie en fonction de l'objet sélectionné (configuration matérielle > bibliothèques des composants, bloc de programme > instructions de programmation).

Cet environnement de travail contient énormément de données. Il est possible de masquer ou réduire certaines de ces fenêtres lorsque l'on ne les utilise pas.

Il est également possible de redimensionner, réorganiser, désancrer les différentes fenêtres[20].

### III.4.4 Création d'un projet et configuration d'une station de travail :

**4.4.1 Création d'un projet :** Pour créer un projet dans la vue du portail, il faut sélectionner l'action « Créer un projet ». On peut donner un nom au projet, choisir un chemin où il sera enregistré, indiquer un commentaire ou encore définir l'auteur du projet. Une fois que ces informations sont entrées, il suffit de cliquer sur le bouton « créer »

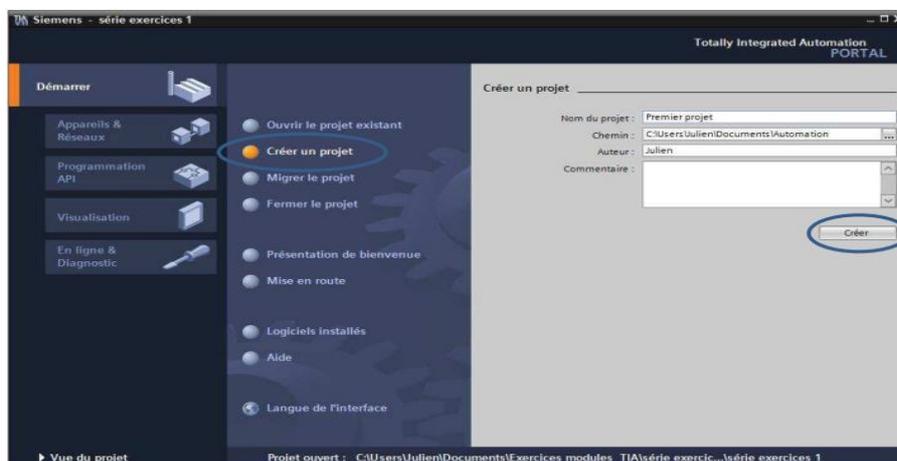


Figure III.48: Créer un projet

#### 4.4.2 Configuration et paramétrage du matériel :

Une fois votre projet créé, on peut configurer la station de travail.

La première étape consiste à définir le matériel existant. Pour cela, on peut passer par la **vue du projet** et cliquer sur « **ajouter un appareil** » dans le navigateur du projet.

La liste des éléments que l'on peut ajouter apparaît (API, HMI, système PC). On commencera par faire le choix de notre CPU pour ensuite venir ajouter les modules complémentaires (alimentation, E/S TOR ou analogiques, module de communication AS-i,...). [20]

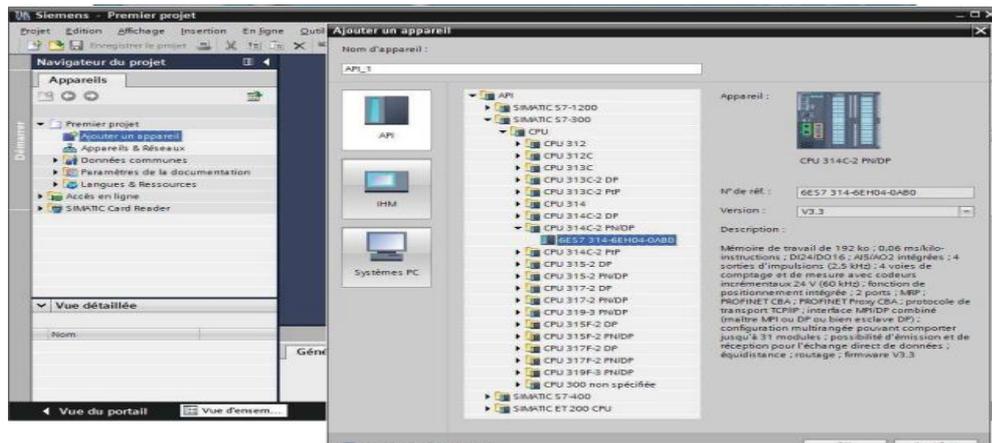


Figure III.49: ajouter un appareil

Les modules complémentaires de l'API peuvent être ajoutés en utilisant le catalogue. Si l'on veut ajouter un écran ou un autre API, il faut repasser par la commande « ajouter un appareil » dans le navigateur du projet.

Lorsque l'on sélectionne un élément à insérer dans le projet, une description est proposée dans l'onglet information.

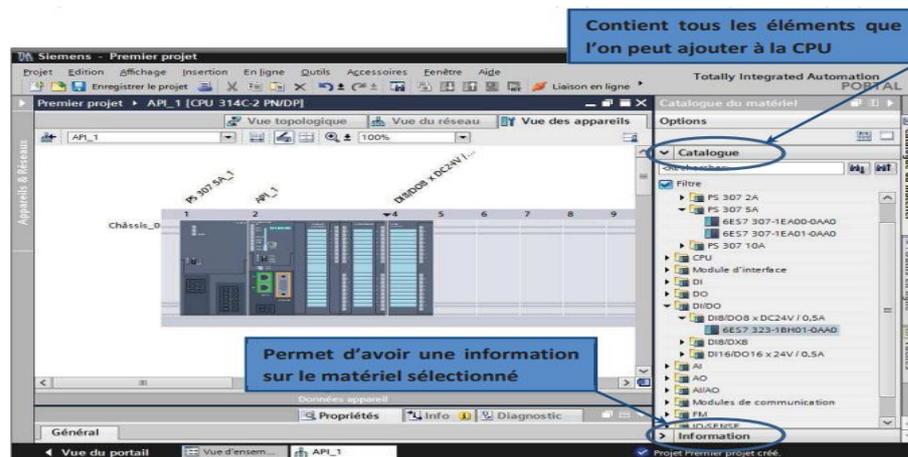


Figure III.50: l'onglet information

**4.4.3 Adressage des E/S :** Pour connaître l'adressage des entrées et sorties présentes dans la configuration matériel, il faut aller dans « **appareil et réseau** » dans le navigateur du projet. Dans la fenêtre de travail, on doit s'assurer d'être dans l'onglet « **Vue des appareils** » et de sélectionner l'appareil voulu.

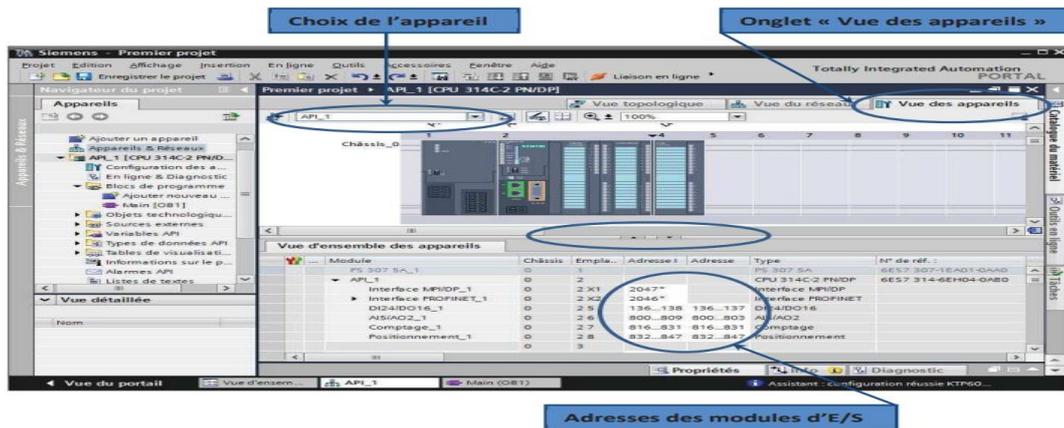


Figure III.51: Adressage des E/S

On sélectionne la CPU puis à l'aide des deux petites flèches (voir figure), on fait apparaître l'onglet « Vue d'ensemble des appareils » (n'hésitez pas à masquer certaines fenêtres et à en réorganiser d'autres). Les adresses des entrées et sorties apparaissent. Vous pouvez les modifier en entrant une nouvelle valeur dans la case correspondante.

**4.4.4 Memento de cadence :** Une fois la CPU déterminée, on peut définir le memento de cadence. Pour cela, on sélectionne la CPU dans la fenêtre « **Vue des appareils** » et l'onglet « **propriété** » dans la fenêtre d'inspection. Dans le menu « Général », choisir l'option « Memento de cadence », cocher la case « Memento de cadence » et choisir l'octet du memento de cadence que l'on va utiliser.



Figure III.52: Memento de cadence

**4.4.4 Adresse Ethernet de la CPU :** Toujours dans les propriétés de la CPU, il est possible de définir son adresse Ethernet. Un double clic sur le connecteur Ethernet de la station fait apparaître la fenêtre d'inspection permettant de définir ses propriétés. Pour établir une liaison entre la CPU et la console de programmation, il faut affecter aux deux appareils des adresses appartenant au même réseau. On utilisera comme adresse pour l'automate 192.168.2.n° de l'automate[20].

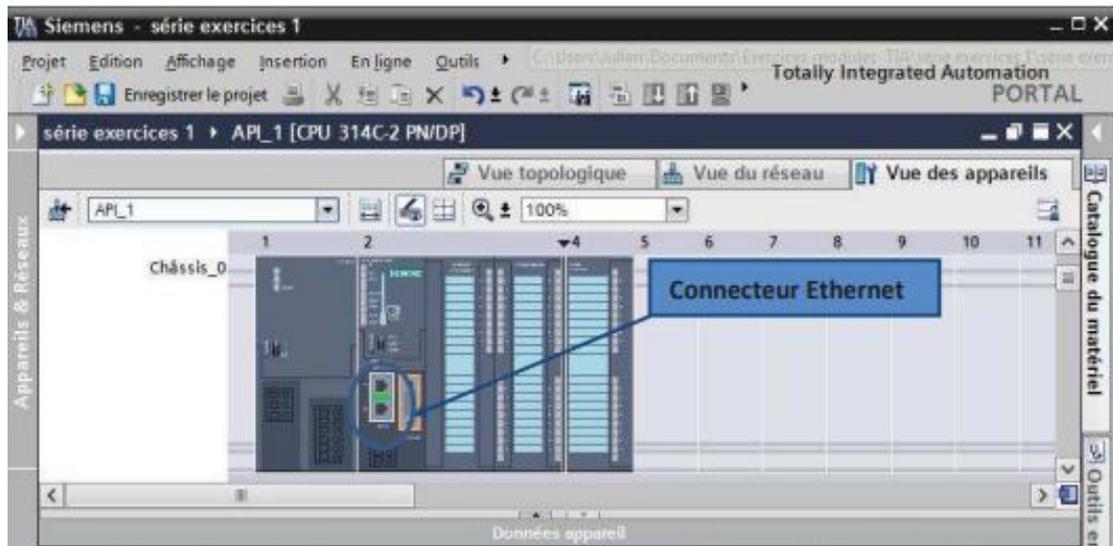


Figure III.53: Adresse Ethernet de la CPU

Pour charger la configuration dans l'automate, on effectue un clic sur l'icône « charger dans l'appareil ». La fenêtre ci-dessous s'ouvre et vous devez faire le choix du mode de connexion (PN/IE, Profibus, MPI). Si vous choisissez le mode PN/IE, l'API doit posséder une adresse IP.

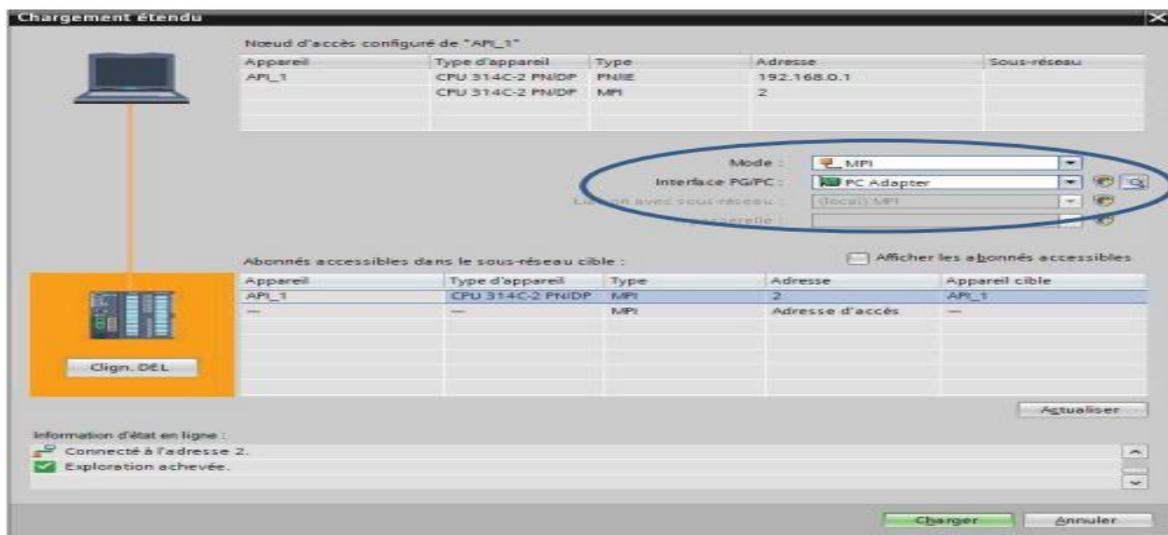


Figure III.54: charger la configuration dans l'automate(liaison)

Pour une première connexion ou pour charger l'adresse IP désirée dans la CPU, il est plus facile de choisir le mode de connexion MPI et de relier le PC à la CPU via le « PC Adapter ». Si le programme trouve un appareil, il figure dans la liste en bas de la fenêtre. La touche « **Clign. DEL** » permet de faire clignoter une LED sur la face avant de l'appareil afin de s'assurer que l'on est connecté à l'appareil désiré.

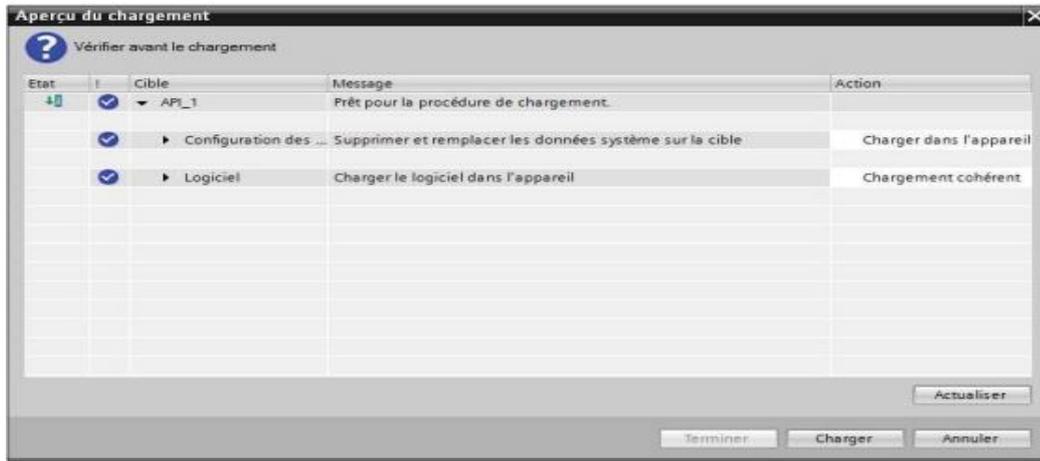


Figure III.55: charger la configuration dans l'automate

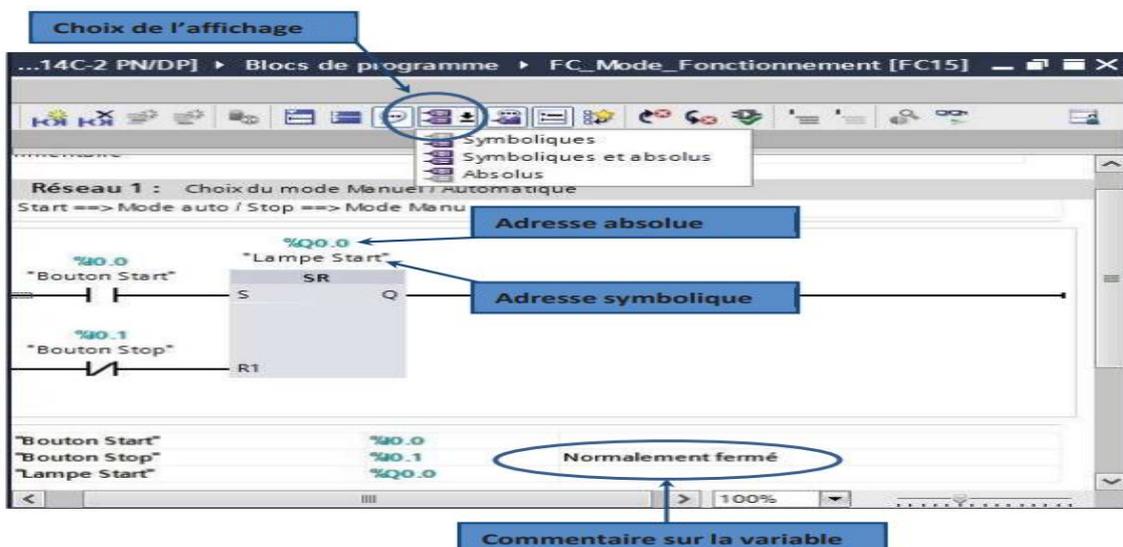
Une fois la configuration terminée, on peut charger le tout dans l'appareil. Des avertissements / confirmations peuvent être demandés lors de cette opération. Si des erreurs sont détectées, elles seront visibles via cette fenêtre. Le programme ne pourra pas être chargé tant que les erreurs persistent[20].

### III.4.5 . Les variables API

**4.5.1 Adresses symbolique et absolue** : Dans TIA Portal, toutes les variables globales (entrées, sorties, mémentos,..) possède une adresse symbolique et une adresse absolue. - **L'adresse absolue** représente l'identificateur d'opérande (I, Q, M,...) et son adresse et numéro de bit. --

**L'adresse symbolique** correspond au nom que l'utilisateur a donné à la variable (ex : Bouton\_Marche).

Le lien entre les adresses symbolique et absolue se fait dans **la table des variables API**. Lors de la programmation, on peut choisir d'afficher les adresses absolues, symboliques ou encore les deux simultanément[20].



III.56: Adresses symbolique

Figure

**4.5.2 Table des variables API :** C'est dans la table des variables API que l'on va pouvoir déclarer toutes les variables et les constantes utilisées le programme. Lorsque l'on définit une variable API, il faut définir :

- ◆ Un nom : c'est l'adressage symbolique de la variable.
- ◆ Le type de donnée : BOOL, INT,...
- ◆ L'adresse absolue : par exemple Q1.5

On peut également insérer un commentaire qui nous renseigne sur cette variable. Le commentaire peut être visible dans chaque réseau utilisant cette variable[20].

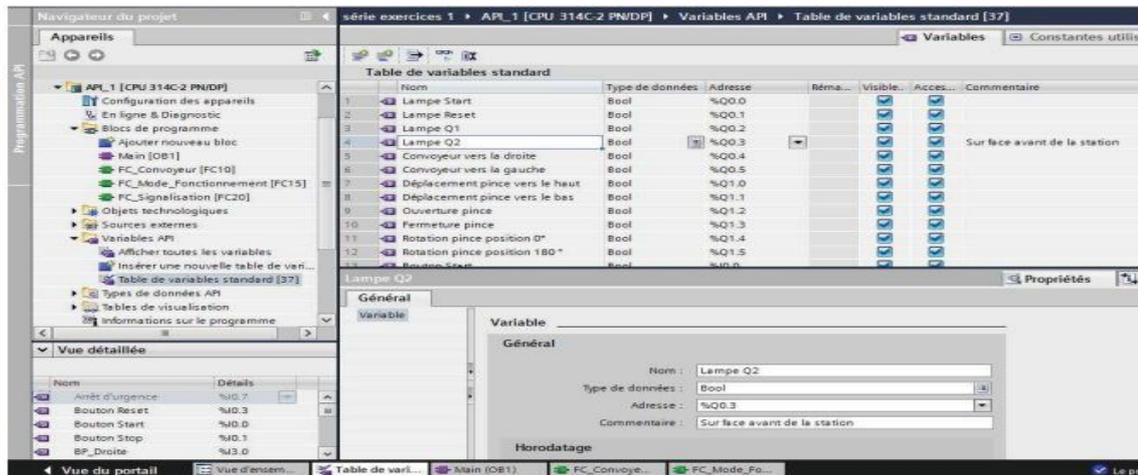


Figure III.57: Table des variables(Adressage)

**4.5.6.1 Signalisation des erreurs dans la table des variables :**

Lorsqu'il y a une erreur de syntaxe dans la table des variables API, celle-ci est signalée en rouge ou en orange. Lorsque l'on sélectionne la case colorée, un message signalant le type d'erreur apparaît.

Une table des variables contenant des erreurs peut être enregistrée mais ne pourra pas être compilée et chargée dans l'automate.

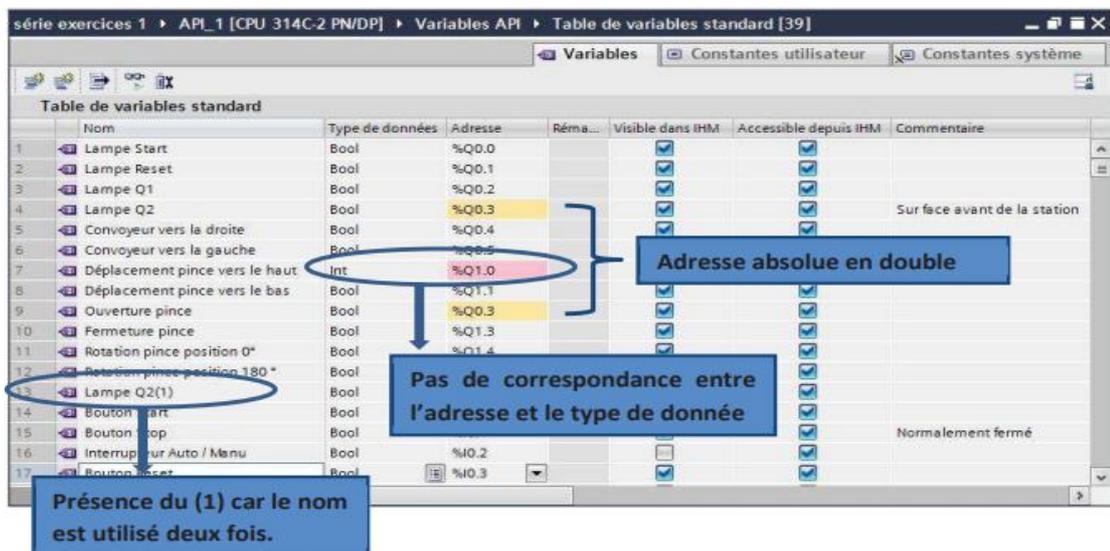


Figure III.58: Table des variables

### III.4.6 WinCC :

#### 4.6.1 IHM (Interface Homme Machine) :

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. D'autre part, HMI est l'abréviation de "Human Machine Interface". Cette interface peut être désignée aussi comme HMI, Pupitre opérateur, Interface Homme Machine, Terminal Opérateur, Interface Opérateur, IHM, etc. Un exemple courant d'IHM est celui d'un distributeur automatique de billets que nous utilisons tous dans la vie quotidienne. Dans ce cas, l'écran et les boutons poussoirs permettent à la machine de distribuer des billets de banque, de déposer de l'argent, entre autres opérations. Les systèmes d'interface homme-machine (IHM) permettent également des **opérations technologiques fiables dans toutes les applications**, notamment les trains à grande vitesse, les centres d'usinage à commande numérique, les équipements de production de semi-conducteurs et les équipements de diagnostic médical ou de laboratoire.

En bref, l'interface IHM englobe tous les éléments qu'une personne touchera, verra, entendra ou utilisera pour **exécuter des fonctions de contrôle et recevoir un retour d'information** sur ces actions. Ainsi, un opérateur ou le personnel de maintenance peut commander ou surveiller des machines à partir de l'IHM, y compris des informations telles que la température, la pression, les étapes du processus de production, le calcul des matériaux nécessaires, les positions exactes des lignes de production, le contrôle des niveaux des réservoirs de matières premières et de nombreuses autres fonctions.

Pour finir, ces panneaux de contrôle peuvent être connectés à des **automates programmables** et afficher leur comportement afin de résoudre les problèmes pour les techniciens de maintenance, ce qui représente une économie précieuse[21].



Figure III.59 : IHM

#### 4.6.1.1 Ecran IHM :

Les écrans IHM sont utilisés pour **optimiser un processus industriel** en numérisant et en centralisant les données. Ainsi, les opérateurs peuvent visualiser les informations importantes dans des graphiques, des tableaux de bord numériques, voir et gérer les alarmes, et se connecter aux systèmes **SCADA** et MES, via une console.

L'interface homme-machine (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 des opérations plus sophistiquées, comme l'arrêt des machines ou l'augmentation de la vitesse de production, selon la façon dont ils sont mis en œuvre. Auparavant, les opérateurs devaient examiner visuellement la progression de la mécanique et la noter sur une feuille de papier ou un tableau blanc. Aujourd'hui, les **automates programmables** peuvent communiquer des informations en temps réel directement sur un **écran IHM**. Par conséquent, cette technologie élimine le besoin de ces pratiques manuelles et réduit donc de nombreux problèmes coûteux causés par des informations manquantes ou des erreurs humaines.

Les données jouant un rôle de plus en plus essentiel dans la fabrication, **l'avenir semble très prometteur pour les panneaux opérateur IHM**. La technologie a peut-être parcouru un long chemin, mais son potentiel de croissance reste pratiquement illimité.

D'autre part, un système IHM bien conçu ne se contente pas de présenter les fonctions et les informations de contrôle ; il fournit également à l'opérateur des **fonctions actives intuitives à exécuter** sur les résultats de ces actions et des informations sur les performances du système. Un autre concept important est la **facilité d'utilisation du panneau de commande**. En d'autres termes, ses fonctions et son fonctionnement doivent faciliter la vie de l'opérateur et des techniciens impliqués dans les processus de fabrication. Parmi les fonctions de base des IHM figurent les suivantes :

- Affichage des données
- Suivi du temps de production
- Suivi des indicateurs clés de performance
- Surveillance des entrées et sorties de la machine

Les interfaces homme-machine (IHM) peuvent se présenter sous **différents formats**, depuis les affichages intégrés aux machines, les écrans d'ordinateur, jusqu'aux écrans tactiles et aux dispositifs mobiles, mais quel que soit leur format ou le terme utilisé pour les désigner (pupitre opérateur, HMI...), leur objectif est de fournir des informations sur les performances mécaniques et le développement des processus de production.

Au cours de la dernière décennie, l'évolution des besoins opérationnels et commerciaux a conduit à des développements passionnants de la technologie IHM. Il est désormais de plus en

plus courant de voir des modèles d'IHM évolués. Ces interfaces plus modernes créent davantage de possibilités d'interaction et d'analyse des équipements[21].

#### **4.6.2 SCADA :**

SCADA est un acronyme désignant quatre lettres : Système de Contrôle et d'Acquisition de Données.

En réalité, il fait référence à une catégorie de logiciels dédiés au contrôle des processus industriels et à la collecte de données en temps réel dans des sites éloignés. Les systèmes SCADA peuvent être utilisés pour garder le contrôle sur vos équipements, vos procédés industriels, et pour optimiser leurs conditions d'exploitation.

Un système SCADA typique est composé d'émetteurs, d'une unité de télégestion (Remote Terminal Unit – RTU), de protocoles de communication permettant la communication entre les serveurs et les émetteurs RTU, de serveur de données destiné à l'archivage des données et à alimenter les interfaces homme-machines (IHM). Les IHM sont des interfaces utilisateur pouvant relier l'opérateur au dispositif de commande d'un système industriel.

Si une infrastructure d'automatisation SCADA est correctement conçue, elle devrait permettre aux entreprises de :

- Mieux répondre aux questions opérationnelles
- Faire plus, faire mieux et à moindre coût
- Accroître la disponibilité et le cycle de vie de leurs équipements
- Améliorer la performance et réduire les coûts de maintenance de leurs équipements
- Etc.

##### **4.6.2.1 comment ça marche SCADA :**

Comme nous l'avons déjà mentionné, SCADA est un terme utilisé pour désigner des systèmes centralisés conçus pour contrôler et surveiller l'ensemble d'un site industriel ou des équipements complexes répartis sur de vastes zones. Presque toutes les actions de contrôle sont réalisées automatiquement par des PLC ou des RTU.

Prenons l'exemple d'un processus industriel d'approvisionnement en eau : le PLC peut dans ce cas contrôler le débit d'eau de refroidissement et le système SCADA peut enregistrer et afficher tous les changements liés aux conditions d'alarme en cas de variations ou de perte de débit, d'une élévation importante de la température, etc.

Les données sont collectées au niveau d'une interface de programmation applicative ou d'une RTU. Elles incluent les rapports d'état de l'équipement surveillés ainsi que les relevés de compteurs. Elles seront alors formatées de façon à ce que l'opérateur de la salle de commande puisse prendre les mesures

nécessaires pour ajouter ou outrepasser les commandes normales du PLC (RTU), en utilisant une Interface homme-machine (IHM).

Ainsi, la RTU peut se connecter à l'équipement physique et convertir tous les signaux électriques provenant de cet équipement en valeurs numériques, telles que l'état ouvert ou fermé d'une vanne ou d'un commutateur, les mesures de débit ou de pression, la tension du courant, etc.

De cette manière, la RTU peut contrôler automatiquement l'équipement ou permettre à un opérateur de le faire, par exemple en fermant ou en ouvrant une vanne ou un interrupteur, ou en réglant la vitesse de la pompe[21].

#### **4.6.2.2. L'interface homme-machine :**

Il convient de mentionner ce que signifie l'IHM. Il s'agit d'un appareil qui fournit les données traitées par la RTU à l'opérateur humain. Ce dernier peut donc l'utiliser pour contrôler les procédés industriels.

L'IHM est reliée aux bases de données du système SCADA, ce qui lui permet d'afficher les données de diagnostic, les informations de gestion, les informations logistiques, les schémas détaillés du fonctionnement d'une machine ou d'un capteur donné, les procédures de maintenance ou encore les guides de dépannage.

L'opérateur peut donc avoir, par exemple, l'image d'une pompe raccordée à la tuyauterie. L'IHM lui fournit un schéma qui montre si cette pompe fonctionne ou non, ou bien si la quantité de liquide pompé dans la tuyauterie est conforme aux conditions de fonctionnement de l'équipement à un moment donné. En cas d'ajustement, par exemple lorsqu'une pompe est arrêtée, le logiciel IHM va montrer instantanément la diminution du débit de fluide dans les tuyaux.

À noter que les schémas synoptiques fournis par l'IHM peuvent se présenter sous forme de photographies numériques de l'équipement de procédé et être accompagné de symboles animés (symboles schématiques, graphiques linéaires, etc.). De ce fait, les représentations peuvent être aussi simples qu'un réseau de feu de circulation à l'écran, représentant l'état du feu de circulation en temps réel dans une zone donnée. Elles peuvent aussi être très complexes, comme l'affichage multi projecteur représentant la position de tous les trains sur un vaste réseau de chemins de fer.

D'une manière générale, les systèmes SCADA sont utilisés dans les systèmes d'alarme, ce qui signifie qu'il n'y a que deux points d'état numériques. D'une part, lorsque les exigences de l'alarme sont satisfaites, elle s'active. Le cas échéant, elle reste dans son état. Autrement dit, ils ressemblent au système d'alarme du niveau de carburant de votre voiture. Lorsque le réservoir est presque vide, l'alarme s'active automatiquement sous la forme d'un signal lumineux.

Quant aux systèmes SCADA, les opérateurs et gestionnaires de l'entreprise sont avertis par des messages texte et des e-mails envoyés avec l'activation de l'alarme. Mais en plus, ils peuvent visualiser les tendances graphiques, gérer les différents paramètres relatifs à la configuration de leurs équipements, etc. [21]

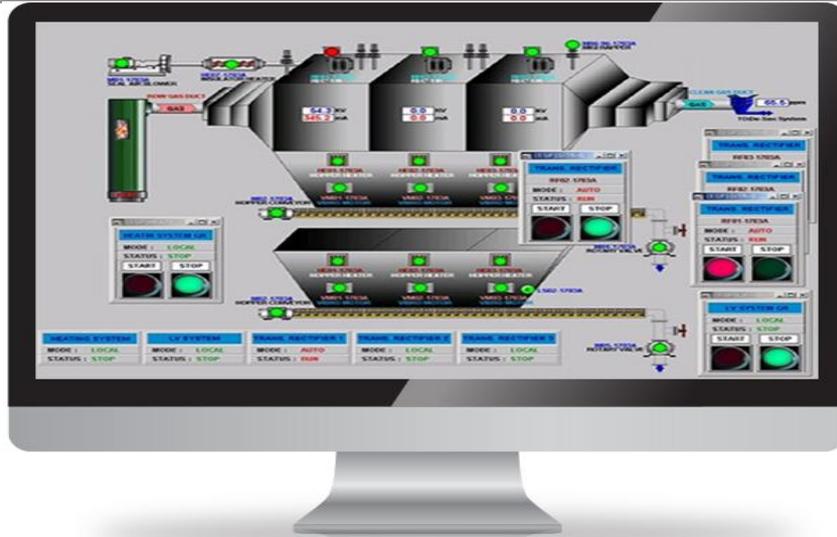
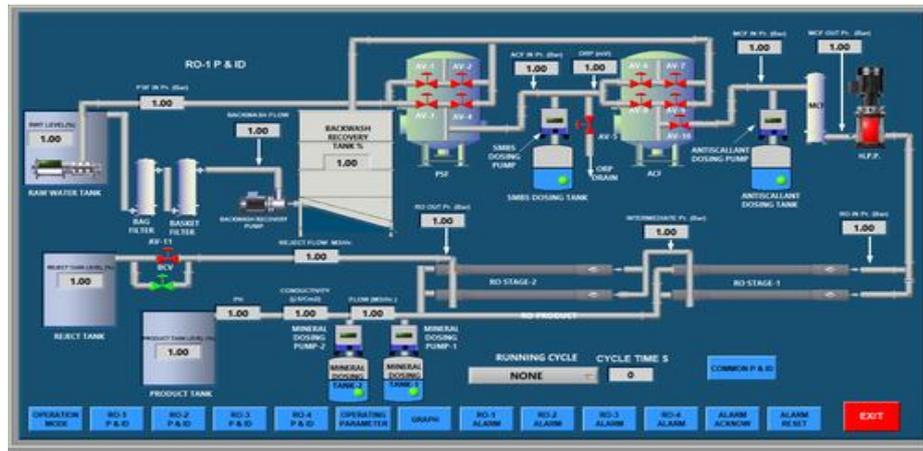


Figure III.60 : SCADA

### **III.5 CONCLUSION :**

Avant de démarrer le projet, il est nécessaire de s'assurer que tous les équipements sont compatibles entre eux et de leur qualité, et il doit être pré-test avant d'installer toute pièce pour assurer sa sécurité et son bon fonctionnement, tels que les moteurs et capteurs du réseau de transmission électrique, ainsi que les systèmes de transmission, et à un autre niveau, la possibilité de remplacer n'importe quelle pièce en cas de dysfonctionnement ou s'il n'y a pas assez de place pour elle et puisque nous utilisons de l'électronique programmable, nous devons également expérimenter des codes simples.

# **CHAPITRE**

## **IV**



**AUTOMATISATION ET GESTION  
D'UN PROTOTYPE DE CANAL  
HYDRAULIQUE A PENTE  
VARIABLE à BASE  
D'AUTOMATES SIEMENS**

## IV.1 – INTRODUCTION :

Le processus de passage d'un système manuel à un système est très complexe car nous devons remplacer de nombreux rôles que les gens ont donnés à des machines très précises pour effectuer la même tâche, en tenant compte du contrôle précis des pièces dans le temps, auquel cas le la machine peut surpasser l'humain

Dans cet chapitre , nous verrons comment passer d'un système de contrôle manuel à un système de contrôle à un système automatisé :



**Figure IV.1 : CANAL HYDRAULIQUE**

## IV.2 – MONTAGE - MISE EN ROUTE - UTILISATION :

### IV.2-1 Description :

Le canal se compose de :

- une cuve d'alimentation en PVC, fixée sur un châssis en tubes d'acier protégé,
- une pompe (débit : 16 m<sup>3</sup>/h), fixée sur le châssis,
- un débitmètre à lecture directe (flotteur) gamme de 1,6 à 16 m<sup>3</sup>/h,
- une vanne de réglage manuelle,
- un canal en 3 éléments, de longueur totale 6 m,
- un dispositif de réglage de l'inclinaison,
- un jeu de profils,
- un tube de Pitot, . deux limnimétries à vernier,
- une entretoise.

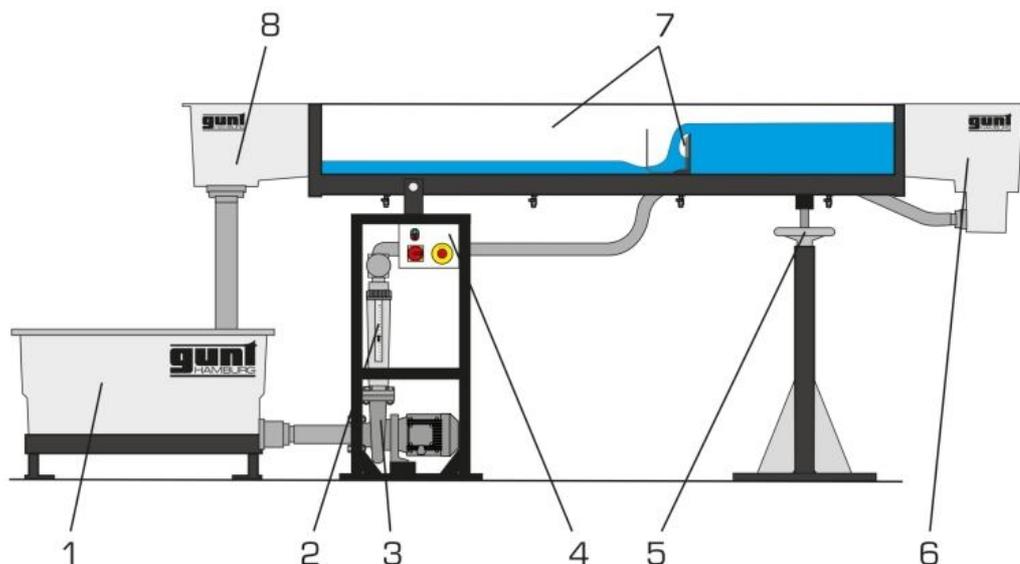


Figure IV.2 : éléments de canaux hydrauliques HM 160 Canal d'essai 86x300mm

- 1- réservoir d'eau,
- 2- débitmètre,
- 3- pompe,
- 4- coffret de distribution,
- 5- système d'ajustage de l'inclinaison,
- 6- élément d'entrée,
- 7- section d'essai avec déversoir à plaques HM 160.30,
- 8- élément de sortie . [23]

## **IV-2-2 INSTALLATION :**

### **2-2-1 Implantation :**

- installer le canal dans un local à l'abri des intempéries, sur une dalle plate.
- la température de la salle doit être comprise entre 20°C et 30°C.

**Afin d'éviter toutes déformations des tronçons dues aux variations de température, le canal EH 1000 ne doit pas être placé près d'une baie vitrée.**

- prévoir une alimentation en eau pour le remplissage de la cuve, une vidange et une alimentation électrique 230v-50Hz-monophasé.
- l'éclairage nécessaire dans le local d'utilisation est de 500 Lux minimum.
- aucune disposition particulière n'est à prendre concernant le bruit émis par L'appareil, celui-ci restant inférieur à 50 dBA.
- aucune disposition particulière n'est à prendre concernant la zone d'utilisation : le ou les utilisateurs peuvent intervenir debout face à la zone d'intérêt.[22]

### **2-2-2 Montage :**

- positionner la cuve d'alimentation. La mettre à niveau à l'aide des pieds réglables,
- assembler les 3 tronçons du canal selon les repères marqués sur les brides (au préalable, mettre un cordon de silicone pour l'étanchéité entre brides)
- fixer sur la cuve d'alimentation le côté du canal muni d'une articulation (coté vanne guillotine) -repère A-,
- fixer le dispositif d'inclinaison sur le tronçon, coté bec de canard -repère C-
- fixer le câble de réglage de la flexion du canal entre le système d'inclinaison et le châssis cuve,
- monter les tuyauteries sous le canal, monter la manchette souple.

L'ensemble est prêt pour la mise en service!

### **2-2-3 Mise en service**

- brancher la pompe (prise 220 V mono),
- remplir d'eau la cuve d'alimentation, 200 mm au-dessous du bord supérieur,
- mettre en route la pompe vanne fermée, . ouvrir progressivement la vanne pour remplir les circuits et le canal,
- régler la vanne de sortie pour maintenir un niveau dans le canal, réduire le débit au minimum,
- mettre le canal de niveau :

à l'aide de 2 limnimétries placés à l'amont et à l'aval du canal, régler le niveau d'eau dans le canal en agissant à la fois sur les pieds réglables et sur le volant de réglage, le canal étant horizontal, repositionner la réglette graduée à zéro, en utilisant les lumières prévues à cet effet sur le châssis,

- déplacer les limnimétries pour contrôler la flexion; si le niveau est plus haut dans le milieu du canal, tendre le câble pour régler la flexion.

Lorsque toutes ces opérations ont été effectuées avec succès, le canal EH 1000 est prêt à fonctionner !

## **IV-2-3 ESSAIS**

### **2-3-1 Mise en place des profils :**

les profils fournis avec le canal EH 1000 sont de 2 sortes :

- ceux qui se fixent sur le fond du canal :
  - \* déversoir triangulaire,
  - \* seuil étroit à nappe ventilé,
  - \* seuil épais,
  - \* seuil Neyrpic (seuil dérivé du seuil Creager),
  - \* pile de pont ronde.

Il faut vidanger le canal, dévisser le bouchon fixé au milieu, et fixer l'ouvrage à poser au fond par l'intermédiaire de la vis de serrage, puis resserrer le bouchon pour l'étanchéité.

. Ceux qui se fixent sur les parois du canal :

- \* venturi "à ciel ouvert" (type Parshall simplifié).
- \* vanne à ouverture par le fond (vanne guillotine).
- \* pile de pont rectangulaire.

Il n'est alors pas nécessaire de vidanger le canal.

En ce qui concerne le lit rugueux, il faut introduire les éléments par le bout du canal, et les glisser sur le fond, pour éviter de rayer les parois du canal.

Il existe également, en option, un certain nombre d'obstacles spéciaux :

- \* canal de Parshall .
- \* déversoir en voûte à guide d'eau .
- \* déversoir en doucine et à saut de ski .
- \* siphon .
- \* siphon automatique, vanne à secteur radial .
- \* passage souterrain (droit et arrondi) .
- \* fond mobile .[23]

### **2-3-2 Réglage de la pente :**

Le réglage de la pente se fait par un volant et une tige filetée. Il faut desserrer légèrement la vis de blocage de position et actionner le volant pour monter ou descendre.

Un repère indique la pente -positive ou négative- en %.

Pente maxi : +4 %,

Pente mini : -2%.

Des réglages intermédiaires peuvent être faits, en mesurant les écarts entre repère :

- la distance entre l'axe d'articulation et le dispositif d'inclinaison est de 500 cm,
- la distance entre les repères 0 et 1 est de 5 cm.

#### **IV-2-4 UTILISATION ET MISE EN MARCHÉ DE LA POMPE :**

Ne jamais faire fonctionner l'électropompe sans eau : le manque d'eau peut endommager sérieusement les composants internes.

##### **2-4-1. Avertissements :**

- a) Le fonctionnement prolongé de l'électropompe avec la vanne de refoulement fermée peut endommager la pompe.
- b) Il faut éviter de mettre en marche et d'arrêter trop fréquemment la pompe.
- c) En cas de panne de courant, il est préférable de désactiver l'interrupteur de mise en marche.

##### **2-4-2 Mise en marche :**

- a) Contrôler que le clapet de pied n'est pas bouché.
- b) Actionner deux ou trois fois l'interrupteur pour vérifier les conditions de fonctionnement.
- c) Commencer le service continu et ouvrir progressivement la vanne de refoulement.
- d) S'assurer à ce qu'aucun obstacle ne vienne obstruer le canal et risquer un débordement.
- e) Contrôler que le bruit, les vibrations, la pression et la tension électrique sont au niveau normal.

##### **2-4-3 Arrêt :**

- a) En premier lieu, fermer la vanne de refoulement pour éviter les surpressions occasionnées dans les tuyaux ou dans la pompe par les coups de bélier.
- b) Arrêter la pompe en actionnant l'interrupteur.[24]

#### **IV-2-5 UTILISATION DU DÉBITMÈTRE**

Le débitmètre fonctionne selon le principe de mesure « à section variable ». Un flotteur de forme appropriée coulisse librement de haut en bas du tube de mesure, qui est constitué d'un cône métallique.

Le débitmètre est montés verticalement avec écoulement de bas en haut.

Le flotteur guidé prend une position d'équilibre entre la force ascendante  $A$  et sa propre résistance  $W$  d'une part et son poids  $G$  d'autre part, de telle sorte que ( $G = A + W$ ), et forme un orifice annulaire. La position du flotteur est fonction du débit et est transmise par un système magnétique à l'échelle de l'indicateur. Le mouvement angulaire de l'aimant suiveur est transmis directement sur l'échelle de mesure.[24]

## **IV-2-6 ENTRETIEN :**

### **2-6-1 Nettoyage des pièces en matières plastiques :**

Toutes les pièces transparentes (tronçons, obstacles...) sont réalisées en PMMA (polyméthacrylates de méthylène) et les pièces couleurs ivoires en PVC. Elles peuvent se nettoyer à l'aide de produit ménager utilisé généralement pour le nettoyage des vitres.

**Aucun solvant ou produit à base d'hydrocarbure ne doit être utilisé.**

### **2-6-2 Remplissage et périodicité des vidanges de la cuve :**

Remplir avec 250 L d'eau la cuve d'alimentation, (200 mm au-dessous du bord supérieur). Afin d'éviter une éventuelle pollution naturelle de l'eau dans la cuve, il est possible de rajouter des pastilles de chlore utilisées pour le traitement de l'eau de piscine. Se référer alors aux documents constructeurs pour le dosage. Il est déconseillé de laisser la cuve pleine pendant de longue période d'inutilisation (supérieure à 2 mois). La vidange de la cuve doit se faire tous les ans, avant chaque congé d'été scolaire par exemple.

## **IV-2-7 CONTRE-INDICATIONS :**

Aucun solvant ou produit à base d'hydrocarbure ne doit être utilisé pour le nettoyage des pièces en PMMA ou PVC.

Ne jamais faire fonctionner l'électropompe sans eau : le manque d'eau peut endommager sérieusement les composants internes.

Le fonctionnement prolongé de l'électropompe avec la vanne de refoulement fermée peut endommager la pompe.

Afin d'éviter toutes déformations des tronçons dues aux variations de température, le canal EH 1000 ne doit pas être placé près d'une baie vitrée.[25]

## **IV-2-8 CONSIGNATION HORS ENERGIE :**

**IMPORTANT : LA PROCEDURE DE CONSIGNATION HORS ENERGIE DEVRA SE FAIRE UNIQUEMENT PAR LE CONSIGNATEUR. CETTE PERSONNE SERA DESIGNEE PAR LE CHEF DE L'ETABLISSEMENT.**

Il y a une source d'énergie électrique 230v monophasée. Le sectionneur peut être verrouillé à l'aide d'un cadenas en position arrêt. La clef du cadenas sera conservée par le consignateur.

## **IV-2-9 MANUTENTION**

Le canal EH1000 ne peut pas être déplacé sans être démonté ! (voir consignes de montage). Après démontage, toutes les pièces peuvent être manutentionnées sans accessoire de levage.[25]

### IV.3 - Cahier des charges :

Dans ce système automatique, le niveau de hauteur d'eau dans le réservoir est contrôlé

Lorsque le bouton de démarrage est enfoncé et que la valeur de la montée d'eau est entrée dans le système, la pompe est allumée jusqu'à ce que le niveau d'eau atteigne la limite connue par le capteur, et la pompe cesse de fonctionner.

#### IV-3-1 Manipulation Structurale :

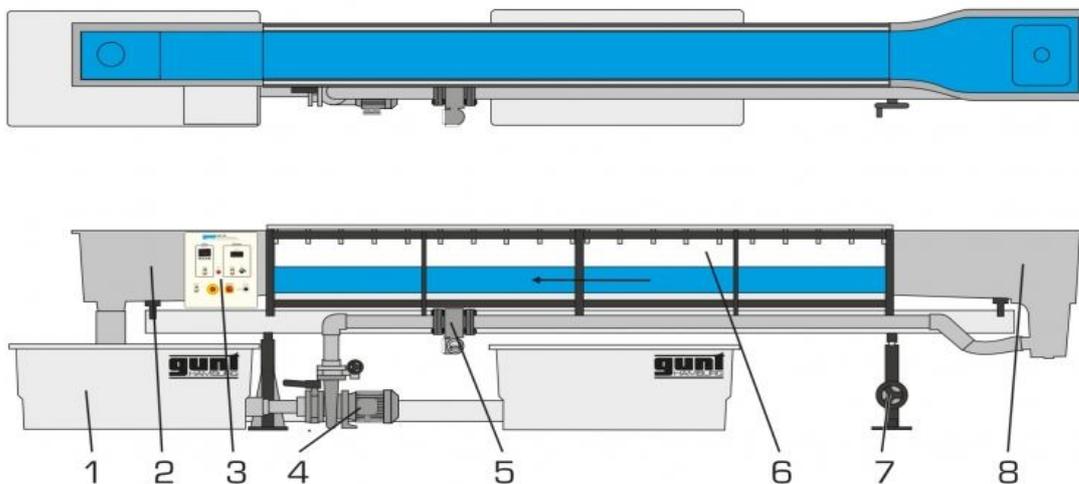


Figure IV.3 : Composants du canal hydraulique

1 réservoir d'eau, 2 éléments de sortie, 3 boîtiers de commutation, 4 pompe, 5 capteur de débit, 6 section expérimentale, 7 réglages d'inclinaison, 8 éléments d'entrée

#### IV.4 - Tableau des choix technologiques :

Une fonction	Actionneur	Pré actionneur	capteur
remplissage	M : POMP	KM : relais électromagnétique	NIV : capteur de mesure de distance
déchargement	EV : Électrovanne	/	NIV : capteur de mesure de distance

## IV.5 - GRAFCET :

Dans ce système automatisé, nous avons deux cas, soit le remplissage et le déchargement, selon la valeur mesurée par le capteur et la valeur saisie :

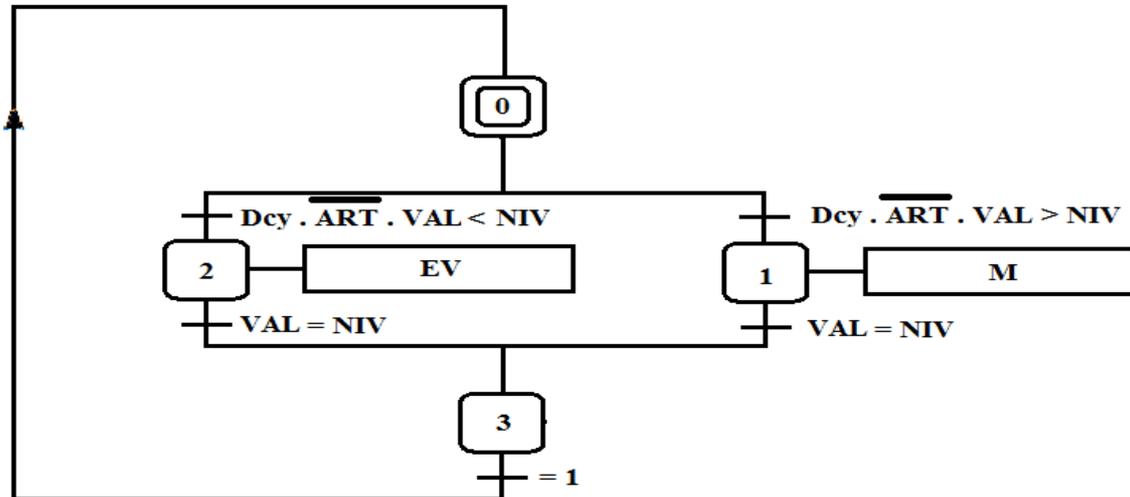


Figure IV.4 : GRAFCET de système

## IV-6 Hardware :

### IV-6-1 La Partie Commande :

Le principe de connexion de PLC avec alimentation et alimentation des entrées et sorties, en plus de la connexion des entrées (boutons et capteurs) et sorties avec le pré-actionneur :

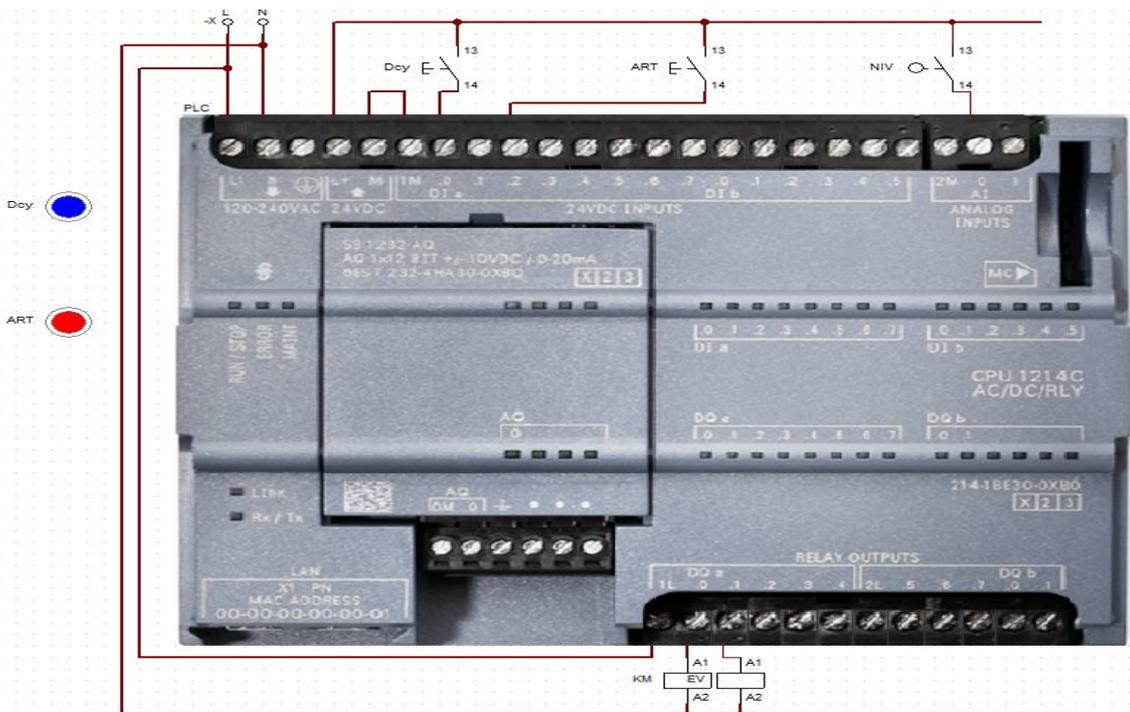


Figure IV.5 : Circuit de Commande

- PLC : Semence S7 1200
- L : phase
- N : Neutre
- Dcy : Bouton Start
- ART : bouton d'arrêt d'urgence
- NIV : capteur de mesure de distance
- KM : relais électromagnétique
- EV : relais Électrovanne

#### IV-6-2 La Partie Opérative :

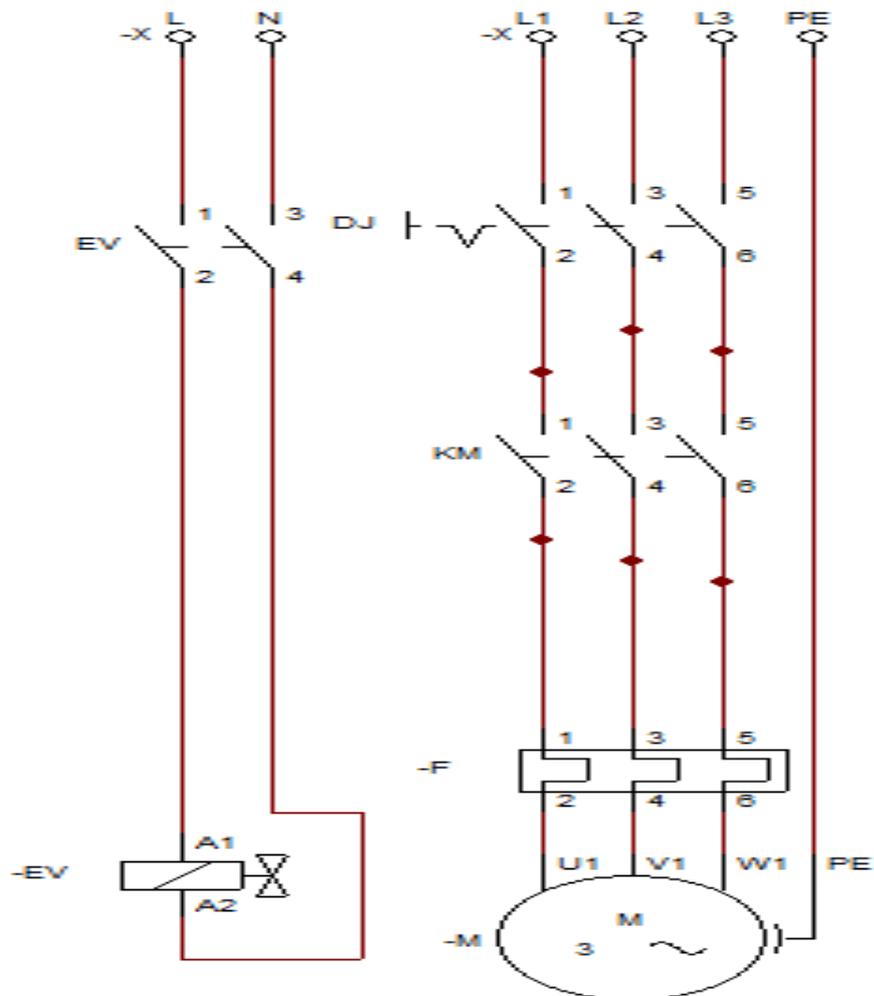


Figure IV.6 : Circuit de Puissance

- EV : Électrovanne
- M : Pompe
- KM : Contacteur
- F : Relais thermique
- DJ : disjoncteur différentiel
- L : phase
- N : Neutre
- L1: phase 1
- L2: phase 2
- L3: phase 3

**Remarque :** Dans ce circuit, nous avons remplacé le **contacteur** par une **variation de vitesses** pour contrôler la vitesse de la pompe .

## IV-7 Software :

### IV-7-1 Programmation LADDER :

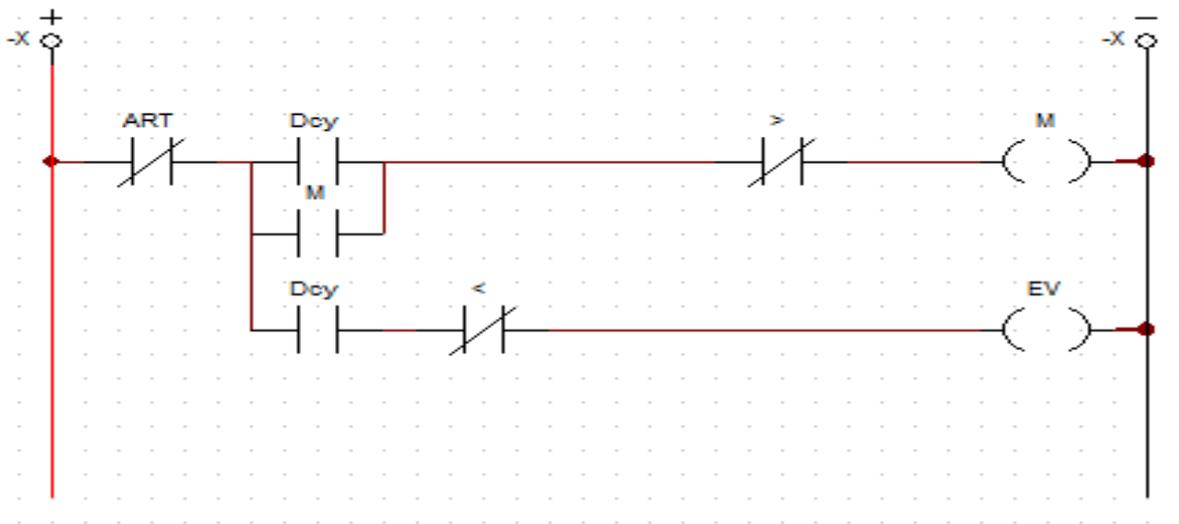


Figure IV.7 : Ladder diagram

> :  $VAL > NIV$  (La valeur saisie est supérieure à la valeur mesurée)

< :  $VAL < NIV$  (La valeur saisie est inférieure à la valeur mesurée)

### IV-7-2 Programmation dans TIA PORTAL STEP 7 :

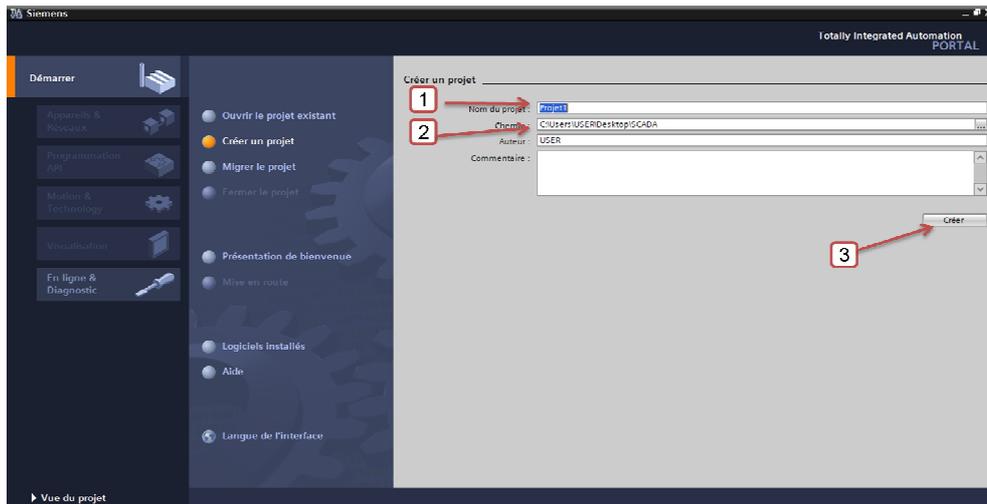
Dans le logiciel TIA PROTAL, nous ferons deux opérations :

- ◆ La première est la programmation du système dans le langage des contacts
- ◆ Deuxièmement, créer une interface utilisateur interactive (SCADA)

#### 7-2-1 Programmation :

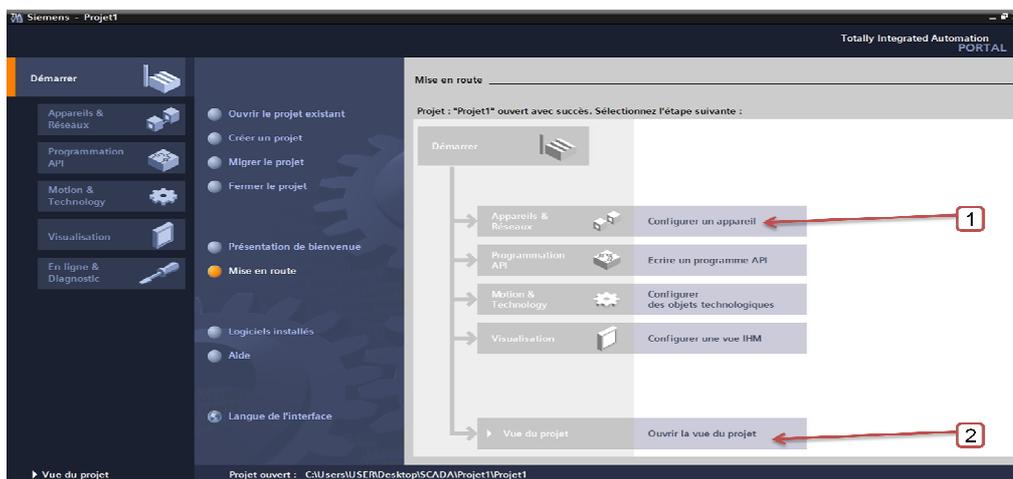
Commencer à travailler après avoir installé le programme et s'assurer qu'il fonctionne avec les spécifications de l'ordinateur .

Nous ouvrons l'icône du logiciel TIA PROTAL, où nous trouvons cette interface :



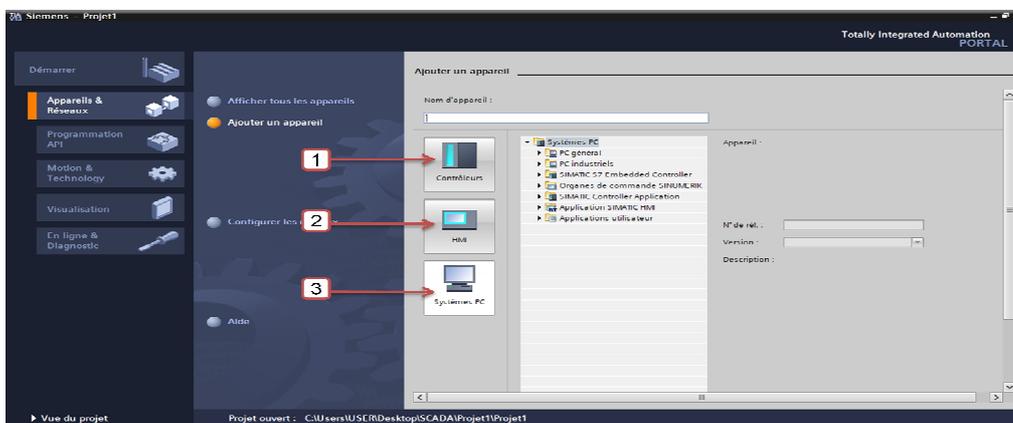
**Figure IV.8 : Créer un projet**

1. Dénomination du programme
2. Emplacement de stockage du programme
3. Créer un programme



**Figure IV.9 : Mise en route**

1. Préparation programmeur industriel
2. Ouvrir l'interface du programme



**Figure IV.10 : Ajouter un appareil**

1. Choisir un programmeur industriel
2. Choisir HMI
3. Construction SCADA

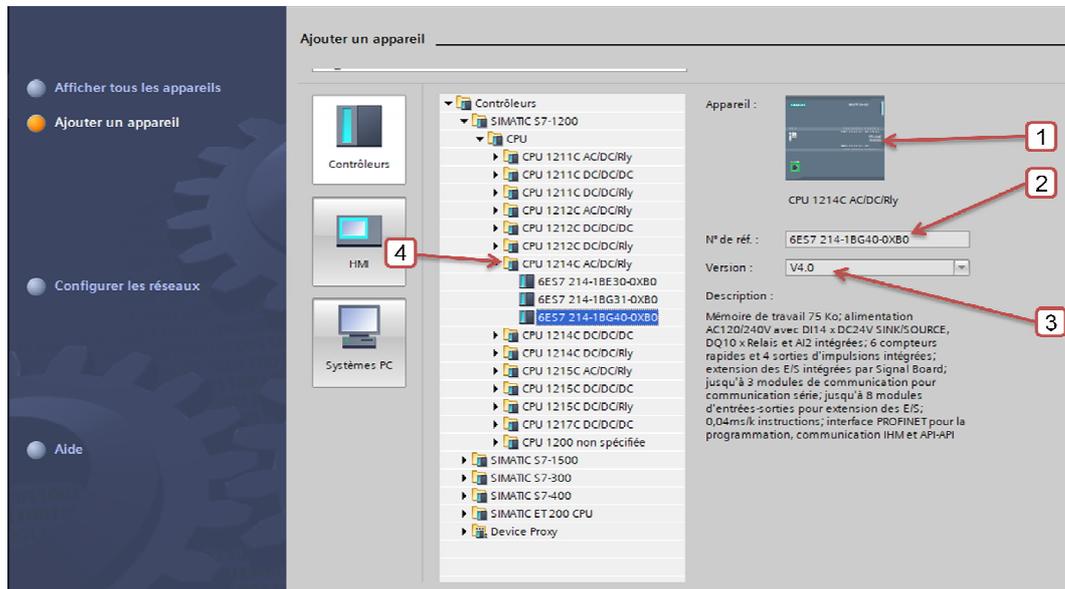


Figure IV.11 : Ajouter un appareil(référence)

1. le dispositif
2. Numéro de référence
3. Libérer
4. Numéro de série

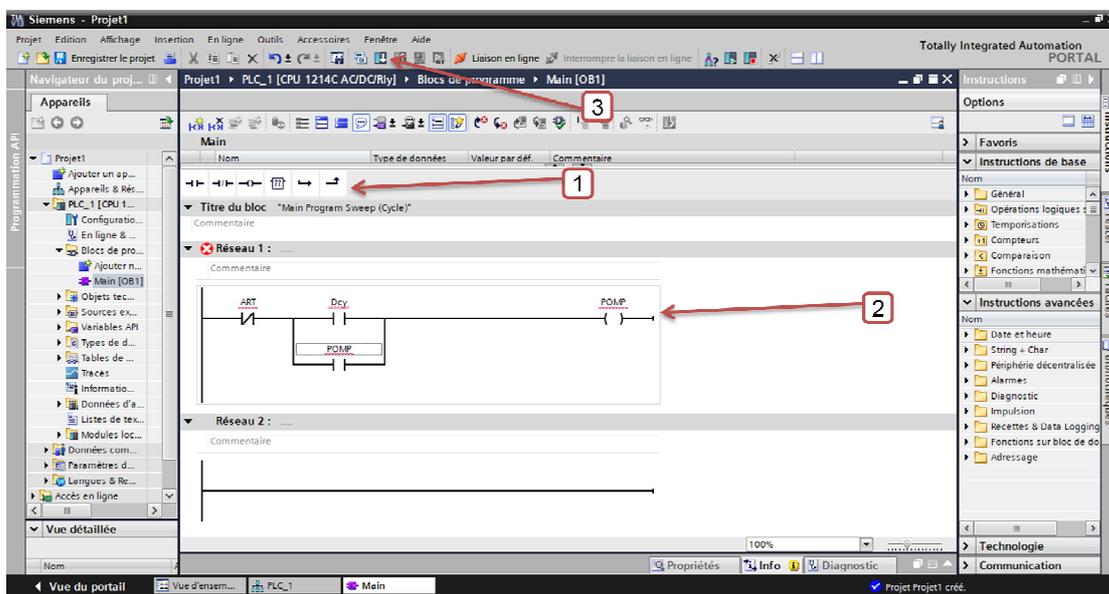


Figure IV.12 :Interface d'écriture de Programme

1. Les outils utilisés pour la programmation
2. L'emplacement désigné pour la création du programme
3. Envoyez le programme à PLC

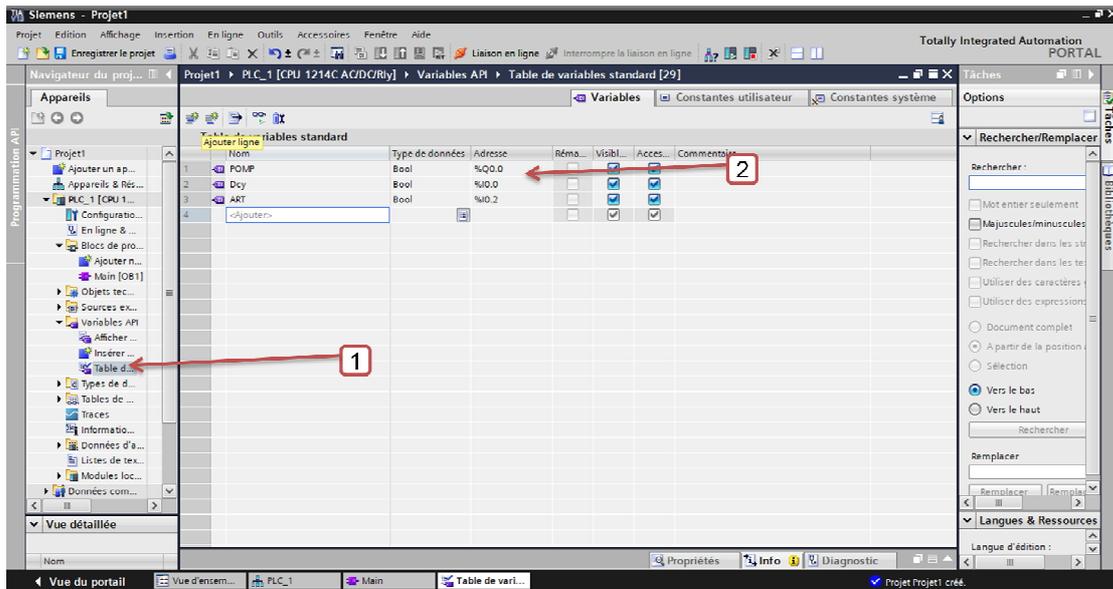


Figure IV.13 :Tableau de variable

1. Tableau de définition des variables
2. Adressage des Variables

### 7-2-2 SCADA :

Ici, une interface est créée que tout utilisateur peut gérer facilement :

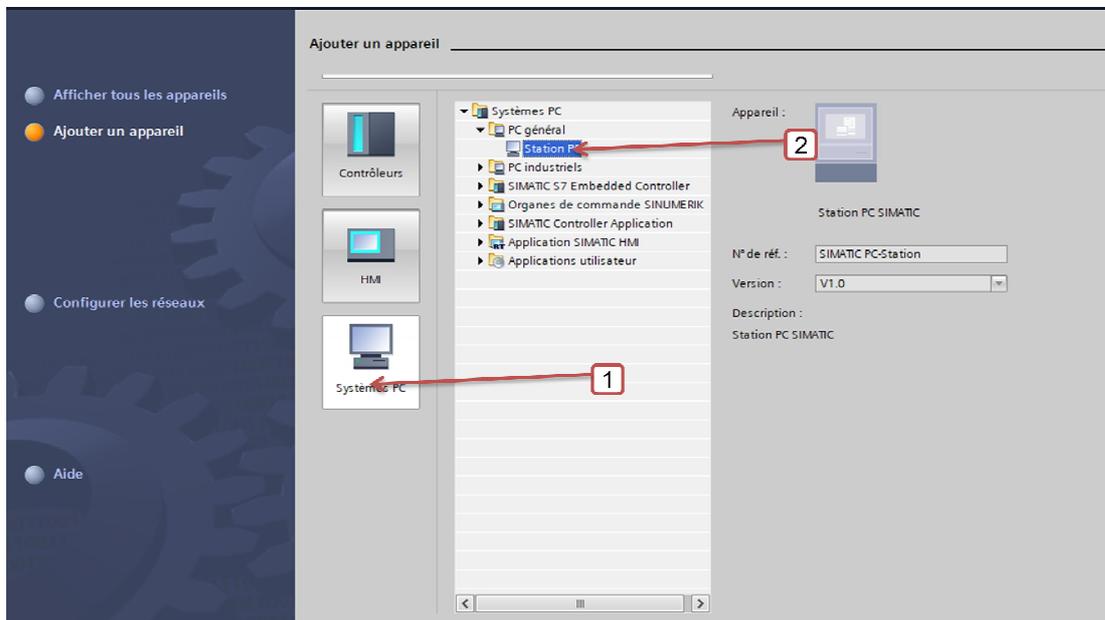


Figure IV.14 : Ajouter un appareil

1. Construction SCADA
2. station PC

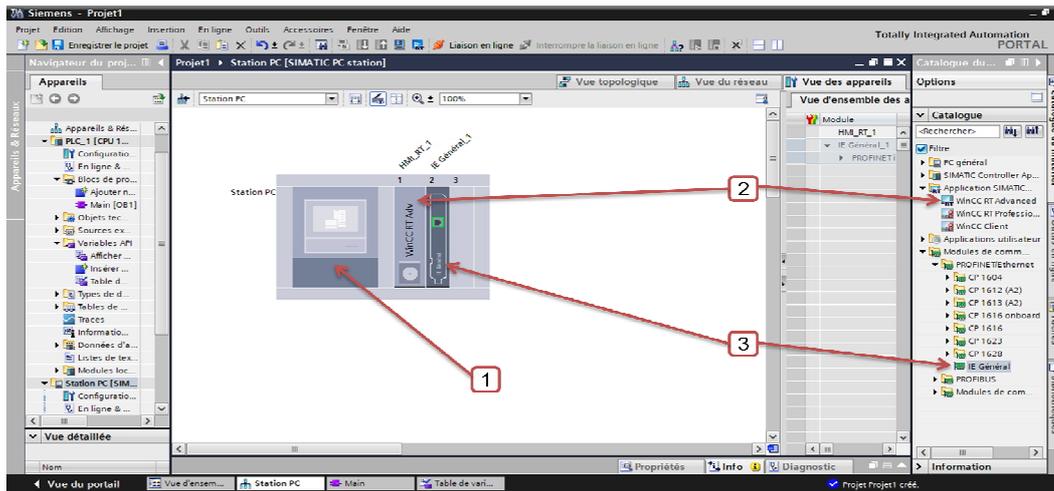


Figure IV.15 : Station PC

1. Station PC
2. WinCC RT Advanced
3. Connectez votre carte de contact Ethernet PORT

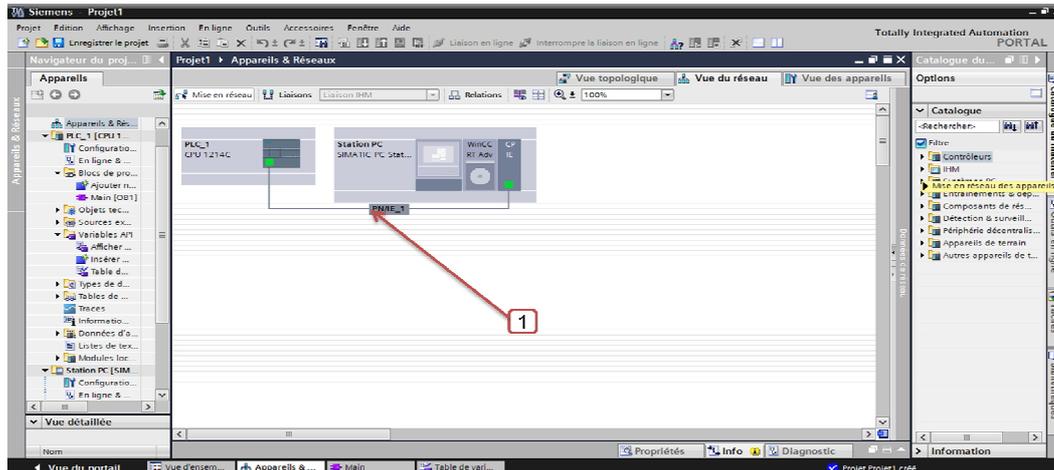


Figure IV.16 : Appareils and réseaux

1. Connecter le programmeur ( PLC) à l'interface interactive (SCADA) .

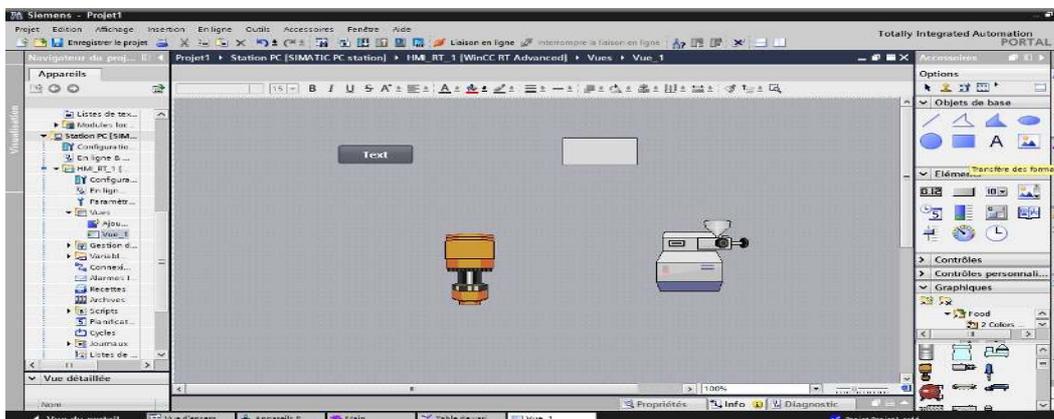


Figure IV.17 : Interface secteur SCADA

Interface de création de formes et de boutons interactifs

## IV-8 - LE PROJET :

Après avoir connecté les composants, la section de contrôle est connectée les unes aux autres en connectant les boutons et les capteurs aux entrées du programmeur industriel et les préactionneurs aux sorties .

L'automate est connecté à l'ordinateur qui contient le TIA PORTAL après y avoir écrit le programme et fabriqué son interface SCADA, puis le programme est chargé dans l'automate

Le niveau d'eau est contrôlé via l'interface de la figure suivante :

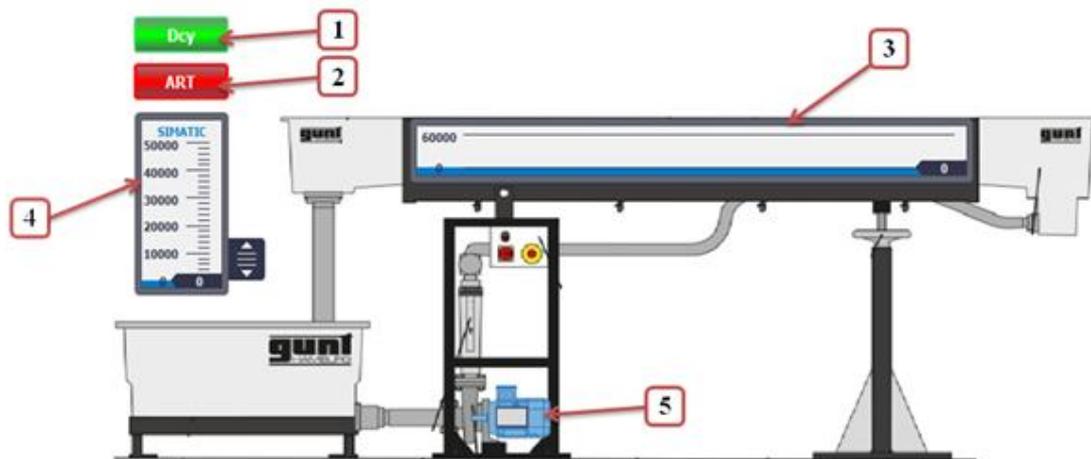


Figure IV.18 SCADA de projet

1. Dcy : Botton Start
2. ART : Botton Arret
3. Altimètre d'eau
4. Indicateur de niveau d'eau
5. La Pompe

### IV-8-1 Principe de fonctionnement pour l'utilisateur

L'utilisateur entre la valeur du niveau qu'il veut que le niveau d'eau atteigne, appuie sur le bouton de démarrage, et constate la montée du niveau sur le curseur de l'interface.

Avantages de l'automatisation vis-à-vis de l'utilisateur et le matériel

- Utilisation rapide
- Fonctionnement souple
- Eviter les erreurs
- Contrôle et gestion facile et rapide
- Le contrôle à distance du niveau d'eau permet de protéger et conserver le matériel puisque le contact devient a distance vis l'interface.

## **IV-9 CONCLUSION :**

L'objectif de ce projet est de clarifier la manière de passer du système traditionnel ou manuel au système automatisé, afin que les données y soient saisies, que les informations soient obtenues et traitées, puis que les commandes soient passées sans intervention humaine.

Toutes les informations obtenues à partir des chapitres précédents ont été incluses et intégrées dans cet chapitre grâce à l'utilisation de tous les outils et logiciels et connectées entre elles pour obtenir un système automatisé à la fin



**Conclusion  
Générale**

### Conclusion général

L'automatisation est devenue une technologie essentielle aujourd'hui en raison de son utilisation dans tous les domaines de la fabrication. Il est donc important de connaître les bases et de suivre l'évolution.

Le système de supervision permet à l'opérateur de connaître en temps réel l'état d'avancement de l'opération et d'intervenir directement sur le pupitre de commande depuis la salle de contrôle.

Dans le domaine de l'automatisation des processus industriels, elle est issue du développement des technologies de contrôle/commande

- ◆ formidable développement,
- ◆ une approche de plus en plus globale des problèmes,
- ◆ Intégration de la conception de l'installation.

Ainsi, nous sommes passés du stade de la machine automatisée au stade du système de production automatisé.

Le but de notre travail est de transformer un système classique non automatisé en un système automatisé

Pour cela, nous avons commencé notre travail par une analyse fonctionnelle du système proposé qui a conduit dans un premier temps à la description des opérations utilisant GRAFCET et dans un second temps, par la sélection d'un nouvel automate programmable S7-1200 adapté à notre application.

Notre application concerne le passage d'un système de contrôle manuel à un système de contrôle de gestion et réglage du niveau d'eau automatisé appliqué sur un prototype physique d'un canal hydraulique avec une pente variable. Il a été effectué au niveau du laboratoire Hydraulique au sein de l'Université de Msila.

Ce travail nous a permis de nous familiariser avec le programme TIA Portal STEP7 (en particulier version simulation PLCSIM), afin d'effectuer certaines tâches d'automatisation sur PLC S7-1200 qui a la particularité d'intégrer un module entrées sorties ; E/S séparé, et E/S analogique.

Le logiciel de supervision flexible Win cc permet la mise en œuvre du système de supervision de l'installation considérée de manière simple, efficace et facile à utiliser.

# BIBLIOGRAPHIQUE

---

## BIBLIOGRAPHIQUE:

- [1] [http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/drid-said/files/documentation\\_chapitre\\_1\\_generalites.pdf](http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/drid-said/files/documentation_chapitre_1_generalites.pdf)
- [2] <http://www.meridienne.org/>
- [3] <https://knaufautomotive.com/fr/quest-ce-que-lautomatisation-et-la-robotisation-des-processus-de-fabrication/>
- [4] <https://uplandsoftware.com/cimpl-fr/resources/blogue/systemes-automatisees-8-avantages-pratiques-a-connaître/>
- [5] [http://lycees.ac-rouen.fr/modeste-leroy/spip/IMG/pdf/\\_Buts\\_de\\_l\\_automatisme.pdf](http://lycees.ac-rouen.fr/modeste-leroy/spip/IMG/pdf/_Buts_de_l_automatisme.pdf)
- [6] <https://harmonicdrive.de/fr/glossaire/la-technique-de-lautomatisation>
- [7] <https://www.materiel-industriel.com/quelles-sont-les-consequences-de-lautomatisation-de-lindustrie/>
- [8] [http://sc-st.univ-batna2.dz/sites/default/files/sc\\_st/files/archi\\_des\\_systemes\\_automatisees.pdf](http://sc-st.univ-batna2.dz/sites/default/files/sc_st/files/archi_des_systemes_automatisees.pdf)
- [9] <https://scitech.fr/architecture-des-systemes-automatisees/>
- [10] Ch. Burgat. Problèmes résolus d'Automatique . Editions Ellipses (Technosup), 2001.
- [11] Ph. de Larminat. Automatique. Editions Hermes, 2000.
- [12] P. Codron et S. Leballois. Automatique : systèmes linéaires continus . Édtons Dunod (289p), 1998.
- [13] Y. Granjon. Automatique : Systèmes linéaires, non linéaires a temps continu, a temps discret, représentation d'état .Editions Dunod (381p), 2001.
- [14] B. Pradin. Cours d'Automatique. INSA de Toulouse, 3eme ann ` ee sp ` ecialit ` e GII.
- [15] <https://www.automation-sense.com/blog/automatisme/cahier-des-charges-automatisme-industriel-cdc.html>
- [16] <https://www.lirimm.fr/~chemori/Temp/Leila/automatique-systemes-lineaires-et-non-lineaires.pdf>
- [17] [www.specialautom.net/automatisme/Grafcet.pdf](http://www.specialautom.net/automatisme/Grafcet.pdf)
- [18] La Pneumatique dans les Systèmes Automatisés de Production, par S. Moreno et E. Peulot, Editions Educavivres. <http://perso.wanadoo.fr/edmond.peulot>
- [19] W. Bolton, ‘‘ Chapter 11 Ladder and Functional Block Programming’’.
- [20] Paulo Jorge Oliveira, José Gaspar, ‘‘ Industrial automation PLC Programming languages’’ Instruction list, 2010/2011.
- [21] [http://cv.automatismes.free.fr/cours%20portal/tia\\_portal\\_prise\\_en\\_main\\_1.pdf](http://cv.automatismes.free.fr/cours%20portal/tia_portal_prise_en_main_1.pdf)
- [22] <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada/simatic-wincc-v7.html>
- [23] <https://www.gunt.de/fr/produits/hydraulique-pour-les-ingenieurs-en-genie-civil/genie-hydraulique/ecoulement-dans-des-canaux-a-surface-libre/canal-d-essai-86x300mm/070.16000/hm160/glct-1:pa-149:ca-179:pr-595>
- [24] <https://www.gunt.de/fr/produits/hydraulique-pour-les-ingenieurs-en-genie-civil/genie-hydraulique/ecoulement-dans-des-canaux-a-surface-libre/canal-d-essai-309x450mm/070.16200/hm162/glct-1:pa-149:ca-179:pr-675>
- [25] <https://www.gunt.de/fr/produits/hydraulique-pour-les-ingenieurs-en-genie-civil/genie-hydraulique/ecoulement-dans-des-canaux-a-surface-libre/canal-d-essai-409x500mm/070.16300/hm163/glct-1:pa-149:ca-179:pr-722>

## ANNEXE :

### 1. Les deux grands domaines de l'informatique industrielle :

#### ❖ L'embarqué

- ◆ automobile
- ◆ téléphonie
- ◆ consoles diverses production de masse
- ◆ le contrôleur est un microcontrôleur



#### ❖ L'automatisme industriel

- ◆ processus industriel agroalimentaire, chimie, automobile, traitement de l'eau .....
- ◆ production et transport de l'énergie
- ◆ gestion technique de bâtiment
- ◆ machines spéciales

production unitaire ou petites séries

le contrôleur est un **automate programmable**



Nous nous limitons à ce domaine

## 2. L'automate programmable

### ❖ L'automate programmable, un équipement de contrôle-commande conçu pour

- ◆ Sa robustesse
- ◆ Des temps de mise en œuvre courts (programmation et communications aisées)
- ◆ Un produit « sur étagère », interopérable avec une large famille de capteurs /actionneurs
- ◆ Sa pérennité

### ❖ Les inconvénients :

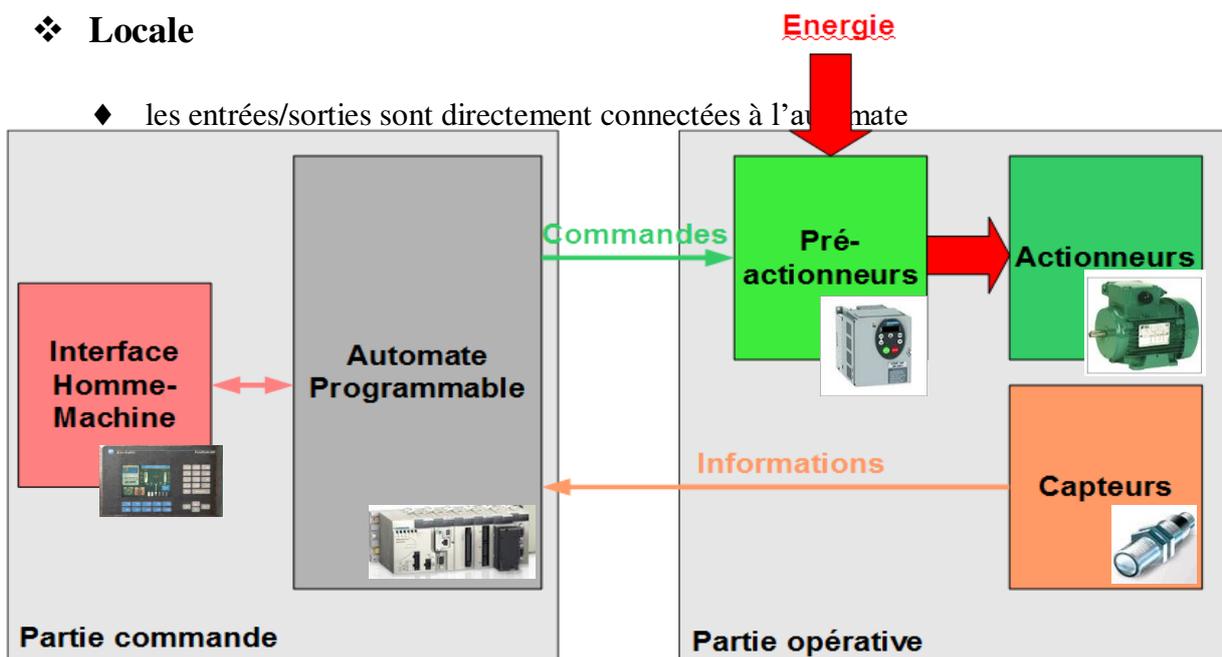
- ◆ Le coût (de 100 à 2000 euros, voir plus)
- ◆ Le poids, l'encombrement, la consommation

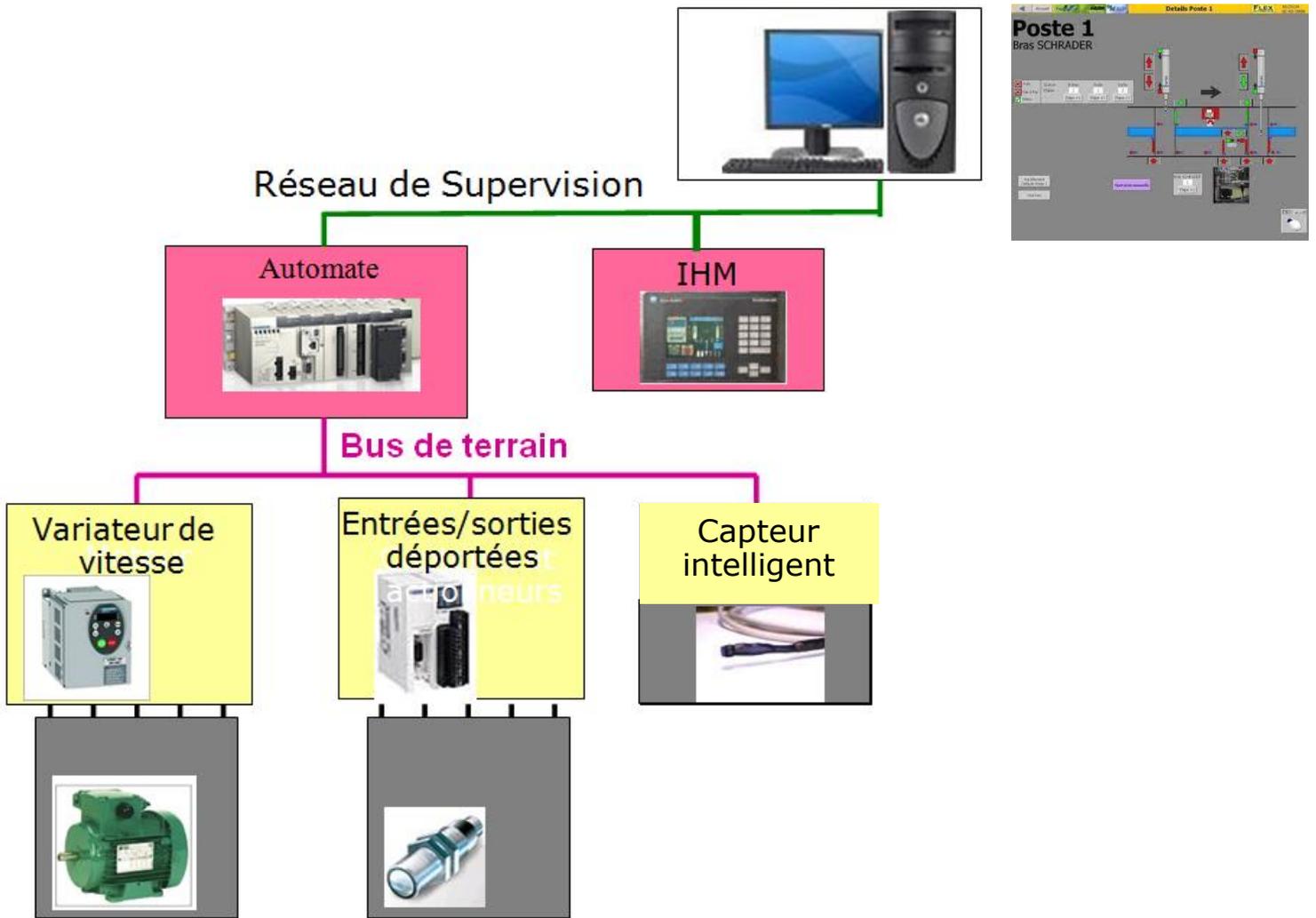


## 3. Architectures possibles

### ❖ Locale

- ◆ les entrées/sorties sont directement connectées à l'automate





## ❖ Distribuée

- les entrées/sorties sont déportées grâce à un bus de terrain
- de la supervision est possible via un réseau

## 4. Les acteurs

Les acteurs les plus importants de l'automatisme

- |                                      |                              |
|--------------------------------------|------------------------------|
| ✓ Siemens (n°1, allemand)            | ✓ Panasonic (Japonais)       |
| ✓ Schneider Electric (français)      | ✓ Wago (allemand)            |
| ✓ Rockwell Automation<br>(américain) | ✓ Phoenix Contact (allemand) |
| ✓ ABB (suédois)                      | ✓ Bekhoff (allemand)         |
| ✓ Omron (japonais)                   | ✓ BnR (suisse)               |
| ✓ Mitsubishi (japonais)              | ✓ Unitronics (israélien)     |

Les acteurs indépendants du domaine de la supervision

- ✓ Arc Informatique - PCVue (français)
- ✓ Wonderware - InTouch (franco-américain)
- ✓ Codra – Panorama

## 5. Capteurs

- ❖ Un capteur convertit une grandeur physique en signal électrique utilisable
- ❖ Exemples : capteur de température, capteur de vitesse, fin de course
- ❖ Capteur Tout ou Rien (TOR), il est équivalent à un interrupteur
- ❖ Exemple : le fin de course
- ❖ Capteur numérique : il fournit un nombre entier proportionnel à la grandeur physique mesurée
- ❖ Exemple : le codeur de position
- ❖ Capteur analogique : il fournit une grandeur électrique proportionnelle à la grandeur physique mesurée
- ❖ Exemple : le capteur de température (ou sonde)



## 6. Actionneurs et Pré-actionneurs

- ❖ Un actionneur réagit à un ordre électrique et permet la mise en fonctionnement d'un objet mécanique.
- ❖ Exemples :

Le moteur (actionneur électrique), le vérin (actionneur pneumatique ou hydraulique), l'électrovanne (action directe ou servo-assistée), résistance chauffante...



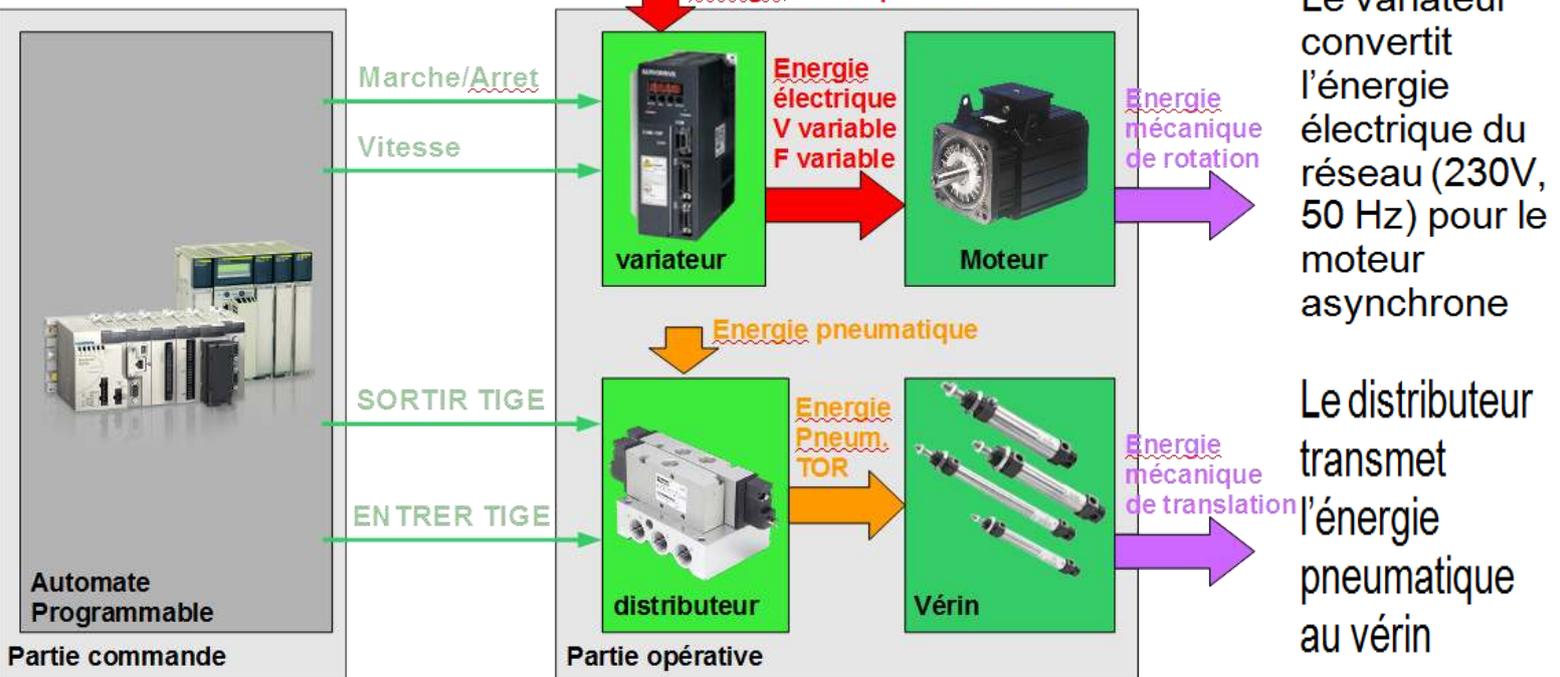
- ❖ Les actionneurs sont commandés par des pré-actionneurs.
- ❖ Exemples :

Un variateur de vitesse pour un moteur

un distributeur pour un vérin



Le pré-actionneur transmet/module l'énergie disponible envoyée vers l'actionneur. Il est commandé par l'automate



## 7. Interface Homme/Machine

Permet la communication entre l'automate et l'opérateur

Exemple :

Retour de défauts, d'informations sur l'état de la machine (températures, vitesses), l'état actuel du processus ( démarrage, remplissage...)

Envoi de consignes : marche, arrêt, consigne de vitesse, température pour un four



