

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Dr. Tahar Moulay de Saïda
Faculté de la Technologie
Département d'Electrotechnique



Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de

Master (LMD)

Spécialité : AUTOMATIQUE ET SYSTEMES

Filière : AUTOMATIQUE

Intitulé :

AUTOMATE PROGRAMMABLE, COMMUNICATION ET TRANSMISSION DES DONNÉES, RÉSEAU PROFIBUS.

Présenté par :

FESRAOUI Yacine Abdelilah
HAFSI Mohamed

Devant le jury composé de :

Dr MOSTEFAI Mohamed
Dr MEKKAOUI Mohamed
Dr LABANE Chrif

Président
Examinateur
Encadreur

**Soutenu le
Promotion 2019-2020**

Remerciements

Je tiens à exprimer ma plus grande reconnaissance et mes vifs remerciements à mon encadrant de recherche Dr. Labane pour le temps, les conseils éclairés et l'attention soutenue qu'il a consacrés au bon déroulement de ce travail.

Je remercie les membres du jury de nous avoir fait l'honneur de juger notre travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation tout au long de mon cursus universitaire.

Enfin, que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Dédicace

*A tous ceux qui ont contribué à
l'élaboration de ce travail*

Table des matières

Remerciement	-
Dédicace	-
Table des matières	-
Introduction générale	01
Chapitre 1 : Généralité sur les systèmes de production industriels	
1.1. Introduction	04
1.2. Les Systèmes de production	05
1.2.1. Définitions	05
1.2.2. Composantes d'un système de production	06
1.2.2.1. Le système physique de fabrication	06
1.2.2.2. Le système de pilotage	07
1.2.3. La maîtrise des systèmes de production	08
1.2.4. Les caractéristiques des systèmes de production	08
1.2.4.1. Flexibilité	09
1.2.4.2. Réactivité	09
1.2.4.3. Robustesse	09
1.2.5. Classification des systèmes de production	10
1.2.5.1. Classification selon la nature et le volume des flux physiques	10
1.2.5.2. Classification selon le mode de pilotage	11
1.2.6. Modes de production	12
1.2.6.1. Production unitaire ou par projet	12
1.2.6.2. Production continue	12
1.2.6.3. Production de masse	12
1.2.6.4. Production en petites à moyennes séries, répétitives ou pas	12
1.2.7. Types d'atelier	13
1.8. Conclusion	14
Chapitre 2 : Automate programmable industrielle	
2.1. Introduction :	16
2.2. Historique sur les API	16
2.3. Les systèmes automatisés de production	16
2.4. Structure d'un système automatisé	17
2.4.1. Partie commande	17
2.4.2. Partie opérative	17
2.5. Principe de fonctionnement d'un système automatisé	18
2.6. Les avantages et les inconvénients d'un système automatisé	20
2.6.1. Les avantages	20
2.6.2. Les inconvénients	20
2.7. Automate programmable industrielle	20
2.7.1. Définition d'un automate programmable	20
2.7.2. Architecte d'un l'API :	21
2.7.3. Traitement du programme automate	24
2.7.4. Les langages de programmation d'un API	25
2.7.5. Les types des automates programmables industriels	26
2.7.6. Les avantages et les inconvénients	26
2.7.7. Critère de choix d'un API	27

2.8. Présentation des automates programmable SIEMENS S7300	27
2.9. Présentation des différentes CPU des automates S7-300	29
2.10. Utilisation de S7-300	31
Chapitre 3 : les réseaux industriels	
3. Introduction	33
3.1. Définition d'un réseau industriel	34
3.2. Différence entre un réseau informatique et réseau industriel	34
3.3. Pyramid CIM (C.I.M.: Computer Integrated Manufacturing)	35
3.4. Les types de réseaux locaux industriels	36
3.5. Technologies des réseaux	36
3.5.1 Topologie des réseaux	36
3.5.2 Typologie point à point	37
3.6. Protocol de communication	39
3.7. Les réseaux industriels et le modèle OSI	40
3.8. Rôle des réseaux industriels	41
3.9. Avantage et inconvénient des réseaux industriels	43
3.10. Le réseau Profibus	44
3.10.1. Définition	44
3.10.2. Architecture	45
3.10.3 Variante du réseau Profibus	47
3.10.4 Profibus dans le système OSI	47
3.10.5. Principe d'accès au bus	49
3.11. Configuration API	51
3.12. Conclusion	64
Conclusion Générale	66
Bibliographie	68

Liste de Figure

Figure 1.1 : Système automatisé de production	05
Figure 1.2 : Décomposition systémique:(a) système entreprise, (b) système de production	08
Figure 1.3 : Classification des systèmes de production selon	13
Figure 1.4 : Différentes configurations d'ateliers	15
Figure 2.1.Structure interne de la partie opérative.	17
Figure 2.2.Schéma de principe d'un système automatisé.	18
Figure 2.3.Échange d'information dans un système automatisé.	19
Figure 2 .4.Automate programmable S7-300.	21
Figure 2.5.Architecteur d'un API.	21
Figure 2.6.Fonctionnement cyclique d'un automate.	24
Figure 2.7.Vue générale de l'automate S7-300.	28
Figure. 2.9 : CPU de différents niveaux de performance de l'automate S7-300[9]	30
Figure 3.1 : Pyramide CIM.	35
Figure 3.2: Le découpage en couches OSI de l'ISO.	40
Figure 3.3: Les réseaux de terrain.	42
Figure 3. 4: le réseau profibus.	45
Figure 3.5 : classification des réseaux Profibus	46
Figure 3.6 : structure OSI des trois variantes du Profibus	48
Figure 3.7 : principe hybride de gestion du bus.	50

Introduction

Générale

Introduction Générale

Actuellement les systèmes de production automatisée (SPA) ont une croissance au niveau leurs complexités. Cette dernière c'est à cause à une vaste bande des demandes du marché industriel, des compétitions internes, de la valeur qualitative ainsi que de la densité et de la diversité des produits qu'ils traitent. Le typique exemple d'un système complexe, qui est couramment utilisé, dans l'industrie est celle de la structure des systèmes automatisés commandé via des API automates Programmables industriels.

Ces systèmes sont prêts de s'adapter à une certaine progression de l'environnement via des variables des capteurs et actionneur qui sont considéré comme une interface des Entrées et Sorties et moyens de communications. Ils présentent une divergence essentielle des flux de produits avec des taches quelconques de production. L'objectif associé à ce type de systèmes est alors d'assurer le Contrôle de tous les systèmes de production à distance par des interfaces IHM de la supervision.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la communication de donnée entre automates programmable industriel via un réseaux Profibus.

Le travail que nous allons réaliser porte sur l'étude technique d'un API S7300 ainsi qu'au différent caractéristique du réseaux profibus , Ce mémoire est construit en Trois chapitres :

- ✓ Dans le premier chapitre, nous avons vu des généralités sur les systèmes de production, de quoi elles se composent, comment on peut maîtriser ces derniers, qu'elles sont leurs caractéristiques et en fin nous avons clôturé ce chapitre par les différentes technologies qui peuvent existe dans l'industrie.
- ✓ Le deuxième chapitre généralité sur les automates programmable industriel. Nous avons défini les systèmes de production automatisée SAP comme première partie. La deuxième partie est consacrée aux automates programmable industriels en générale et leurs environnement (entrés, sorties et Supervision IHM, les moyens de communication) dans les systèmes de production.

Introduction Générale

- ✓ Dans le troisième chapitre, nous exposons L'emploi de réseaux de communication dans les architectures d'automatisme industriel , les différent caractéristique du réseaux Profibus ainsi qu'une configuration maitre / esclave dans le logiciel Siemens Simatic Step 7 .

Finalement, la conclusion générale fait la synthèse des Trois chapitres de ce mémoire, en revient les résultats obtenus.

Chapitre 1

Généralité sur les
Systèmes de production
industriels

1.1 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 de 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.

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 20^{ème} 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.

Actuellement, les entreprises doivent progresser dans un environnement très incertain, changeant et dominer par une forte concurrence internationale. Afin de rester compétitives, il faut s'adapter très rapidement et garantir leur réactivité. Dans le but d'atteindre cette cible. Les entreprises doivent maîtriser la complexité de leurs systèmes de production.

1.2. Les Systèmes de production

1.2.1. Définitions

Plusieurs définitions des systèmes de production sont trouvées dans la littérature. Dans cette partie nous donnons quelques définitions

➤ Le système

- « Un système est un objet complexe, formé de composants distincts reliés entre eux par un certain nombre de relations »
- Le concept de « système » peut être caractérisé par des « composants » en interaction, et une « fonction » particulière qu'il est censé réaliser avec le respect d'un ensemble de contraintes.
- « Un système est un découpage ciblé d'une réalité complexe qui permet d'isoler, à des fins d'analyse, des éléments en interaction fonctionnelle. De ce fait, on peut définir un système

par une limite (séparant les éléments à l'intérieur du système de leur environnement), des flux entrant et sortant du système, des stocks de matière et d'énergie dans le système assurant sa régulation et un « objectif », résumant la finalité de ces flux et interactions, leur raison d'être » .

➤ La production

- « La production est la transformation de matériaux en quelque chose d'utile et portables ».
- La production est une transformation de ressources appartenant à un système productif et conduisant à la création de biens et de services. Les ressources peuvent être de quatre types ; des équipements (machines, ...), des hommes (opérateurs, ...), des matières (matières premières et composants), et des informations techniques ou procédurales (gammes, nomenclatures, fiches opératoires, ...).

➤ Système de production

La notion de système de production doit être prise au sens large de systèmes industriels manufacturiers ou de processus à caractère discret, continu ou hybride et doit intégrer les points de vue sociaux, économiques, technologiques et environnementaux. Elle doit aussi intégrer la notion de production de services (hôpitaux, banques, grande distribution,) et peut inclure le secteur du bâtiment.

➤ Les Systèmes de Production Automatisés

Un système automatisé est décrit comme étant un système autonome de création de valeur ajoutée. Sous des impératifs de sécurité, productivité, adaptabilité...

Les SAP, utilisés dans le secteur industriel, possèdent une structure de base identique. Ils sont constitués de plusieurs parties plus ou moins complexes reliées entre elles ; la partie opérative (PO) et la partie commande (PC) ou système de contrôle/commande.



Figure 1.1 : Système automatisé de production

1.2.2. Composantes d'un système de production

Avant d'aborder la simulation informatique, il est important de présenter et de faire une analyse du système que nous cherchons à modéliser et simuler : le SdP (système de production) de l'entreprise.

D'un point de vue systémique il est classique de décomposer le système « entreprise » en trois sous-systèmes qui coopèrent ; **le sous-système physique** représentant le système opérant, **le sous-système d'information** permettant l'acquisition, le traitement et la gestion des données du système et de son environnement, et **le sous-système de décision** qui pilote (identifie, analyse et corrige les dérives en proposant des actions correctives ou préventives) le système physique.

Si cette décomposition est valable pour le système entreprise, et permet son analyse, elle est moins adaptée pour le SdP et sa modélisation (nous rappelons que la simulation informatique d'un système ne peut exister sans modélisation de ce système).

1.2.2.1. Le système physique de fabrication

Dans une optique de simulation, le système de fabrication est composé de ressources et d'entités. Les ressources comprennent les machines, les stocks, les opérateurs, les moyens de transfert... et les entités comprennent les produits, les matières premières, les pièces, les lots...

L'analyse des composantes d'un système de fabrication montre que les ressources présentent Simultanément un aspect « machine » et un aspect « stock ». En effet, une machine peut Présenter un aspect « stock » dans des conditions de blocage.

Les stocks et les moyens de transfert présentent un aspect « machine » si le temps de transit n'est pas nul. Selon ce point de vue, un système de fabrication est un ensemble de ressources qui effectuent des opérations de transformation sur les entités. Ces ressources peuvent être identifiées par deux types ;

- **Les ressources principales** (machines, robots, moyens de transfert, stocks,...) qui sont actives et qui ont une certaine autonomie vis-à-vis du reste du système. Elles peuvent évoluer dans certaines limites, indépendamment du reste du système ;
- **Les ressources auxiliaires** (outils, palettes,...) qui sont passives et qui permettent à des ressources principales d'accomplir une opération. Ce type de ressource est caractérisé par Son exclusivité ou sa partageable.

Dans certains cas, les opérateurs humains peuvent être considérés comme ressources Principales (opération de contrôle, de pesage, d'emballage,...) et dans d'autres cas comme ressources auxiliaires (réglage d'une machine).

Les opérations de transformation réalisées par les ressources principales peuvent être de deux Types ; les opérations avec valeur ajoutée (enlèvement de matière, déformation, assemblage, emballage...) et les opérations sans valeur ajoutée (stockage, contrôle, transfert...).

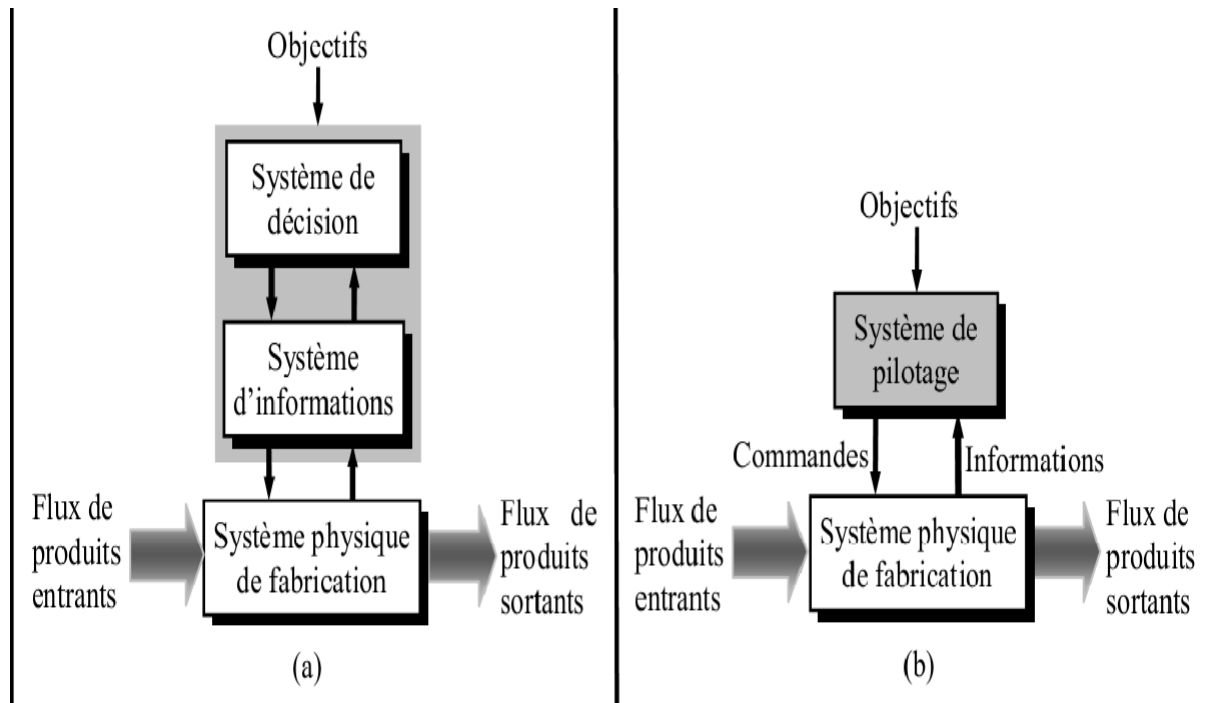
1.2.2.2. Le système de pilotage

Dans le SdP (Système de Production), les sous-systèmes d'information et de décision n'ont pas d'existence propre, l'un sans l'autre. Ils constituent ensemble ce que nous appelons le système de pilotage ou le système d'information et de décision (SID) ou encore le système directeur. Ainsi, il est plus conforme à la réalité de considérer le SdP comme l'association d'un système de fabrication et d'un système de pilotage.

Quant au système de pilotage, il peut être composé :

- ✓ de points de captage (les capteurs) pour la récupération de l'information,
- ✓ d'un processus de décision pour l'analyse, le traitement de l'information, l'évaluation et la Génération de décisions,
- ✓ de points d'actions qui constituent les points de passage des ordres ou des actions vers le système de fabrication.

La réactivité du SdP dépend en premier lieu de la capacité de réaction de son système de pilotage. Cette capacité dépend de la qualité et de la quantité des points de captage et des points d'action, d'une part, et de l'efficacité du processus de décision, d'autre part.



1.2.3. La maîtrise des systèmes de production

La maîtrise du SdP est une tâche ardue et difficilement réalisable pour des raisons de natures différentes (technologique, organisationnelle, décisionnelle, dynamique...). De ce fait, la maîtrise du système est conditionnée par plusieurs paramètres et dépend généralement de Différents aspects

- Les paramètres qui conditionnent un SdP sont très nombreux. Il y a des paramètres physiques liés aux ressources et produits, des paramètres organisationnels, des paramètres décisionnels, des paramètres de gestion... ;
- La dynamique du SdP n'est ni linéaire ni permanente. Le système est soumis continuellement à des risques et des incertitudes qui surviennent de tout bord (clients, prévisions, pannes, absentéisme, délais, qualité...).
- Le SdP est un système de type distribué où des tâches multiples sont réalisées

Simultanément, des opérations de synchronisation et de partageabilité sont souvent nécessaires à accomplir.

- Les objectifs des différentes fonctions du système sont souvent antagonistes. La satisfaction d'objectifs élémentaires ne s'inscrit pas nécessairement dans la satisfaction d'objectifs globaux.

Tout ceci rend le SdP difficilement appréhensible, dont la tâche de maîtrise est complexe, nécessitant des méthodes et d'outils hautement sophistiqués. Dans ce sens, pour maîtriser les flux de production, des approches et des techniques ; de modélisation, de pilotage, d'aide à la décision, de planification, d'évaluation des performances... sont développées et mises en place.

1.2.4. Les caractéristiques des systèmes de production

Le contexte économique dans lequel les entreprises évoluent aujourd'hui ne permet plus de produire efficacement à partir des systèmes de production basée sur les principes du taylorisme, qui ont fait largement leurs preuves. Il nécessite des systèmes de productions basées sur d'autres principes, ayant des nouvelles caractéristiques, telles que la flexibilité, la réactivité et la robustesse

1.2.4.1. Flexibilité

La flexibilité d'un système de production se caractérise par sa capacité d'adaptation à la production des nouveaux produits pour lesquels le système n'a pas été étudié. Cela suppose une adaptation totale du système de production au produit courant (de la distribution des flux discrets de composants aux opérations qu'effectuent les moyens de production sur le produit).

1.2.4.2. Réactivité

La réactivité d'un système de production est définie comme l'aptitude à répondre (réagir) dans un temps requis aux changements de son environnement interne ou externe (aléa, situation nouvelle, perturbation, sollicitation, ...) par rapport au régime (fonctionnement) permanent (stable).

La réactivité d'un système de production impose une vision dynamique de l'événement qui se passe dans le système. Afin d'assurer cette propriété de réactivité du système de production, trois fonction annexes s'avèrent nécessaire

- Une Fonction d'observation qui collecte les variables nécessaires au suivi, afin de connaître l'état courant du système (disponibilités et état des produits, disponibilités et état des moyens de production) ;
- Une fonction de surveillance qui détecte (suite au résultat d'une observation) et interprète les écarts et les changements entre le plan prévisionnel et le plan courant par anticipation ;
- Une fonction de correction qui tente à tout instant de corriger l'écart entre ces plans, ce qui implique un ordonnancement dynamique.

1.2.4.3. Robustesse

La robustesse d'un système de production se définit par son aptitude à produire conformément aux résultats attendus. Cela suppose la garantie de l'obtention des performances souhaitées en présence d'incertitudes dans le système.

1.2.5. Classification des systèmes de production

D'une manière générale, classer des systèmes de production impose une réflexion sur leur organisation, leur typologie, leurs spécificités et donc leurs cas d'usage. Dans ce cadre, nous attirons l'attention sur le fait qu'il est maintenant très difficile d'établir une classification exhaustive de toutes les caractéristiques, publiées dans la littérature, concernant un système de production .

Deux classifications des systèmes de production trouvées dans la littérature concéder comme la plus importantes ; l'une selon la nature et le volume des flux physiques dans le système et l'autre selon le mode de pilotage.

1.2.5.1. Classification selon la nature et le volume des flux physiques

La première classification est fondée sur la nature du système physique et le volume des produits fabriqués par ce dernier. Dans ce cadre, on distingue principalement trois types de systèmes

a. Systèmes à flux continu (SFC)

Dans ces systèmes, la matière circule en flux continu, c'est-à-dire que l'attente entre deux ressources est exclue ou très limitée. Ce type de systèmes concerne surtout les industries dites de « process » dont la production nécessite la manipulation de matières **liquides ou gazeuses**. C'est cette catégorie de systèmes qui nous intéresse dans notre étude.

b. Systèmes à flux discret (SFD)

Dans ces systèmes, les produits peuvent être distingués individuellement (production discrète). De plus, des zones de stockage temporaire entre deux postes de travail sont utilisées. C'est le cas des entreprises manufacturières.

c. Systèmes à flux hybride ou discontinu (SFH)

Ces systèmes se situent à mi-chemin entre les systèmes à flux continu (SFC) et les systèmes à flux discret (SFD). Deux configurations peuvent être distinguées :

- Les deux types de systèmes (continu et discret) sont couplés : La production est continue tout en ayant un conditionnement discret des produits.
- Les deux aspects continu et discret cohabitent : dans le même système de production, les traitements sont continus mais effectués par lots.

1.2.5.2. Classification selon le mode de pilotage

La deuxième classification des systèmes de production est étroitement liée à la stratégie de pilotage utilisée. En effet, en se situant au niveau opérationnel et sur la base du mode de déclenchement de la production, cette classification sépare les systèmes fonctionnant à flux tirés de ceux fonctionnant à flux poussés .

a. Les systèmes à flux tirés

Dans ce contexte, la production est déclenchée par la consommation des produits finis. D'une manière générale, on peut distinguer deux types de fonctionnement. Le premier consiste à maintenir un stock minimum spécifié de produits finis. Dans ce cas, on parle d'une production sur stock (make to stock). Autrement dit, si un produit quitte le stock, un ordre de fabrication est lancé au système afin de pouvoir le reconstituer. Dans le deuxième type, la production est déclenchée par la réception d'une commande. En d'autres termes, ce type de fonctionnement vise à maintenir un stock de produits finis nul.

b. Les systèmes à flux poussés

Dans ce cadre, le déclenchement de la production est basé sur des planifications et des prévisions pour déterminer un programme de production. Dans ce type de gestion des flux, c'est la disponibilité du produit venant de l'amont qui déclenche l'étape suivante de fabrication. Cette méthode de production implique souvent le stockage des produits finis avant leur livraison.

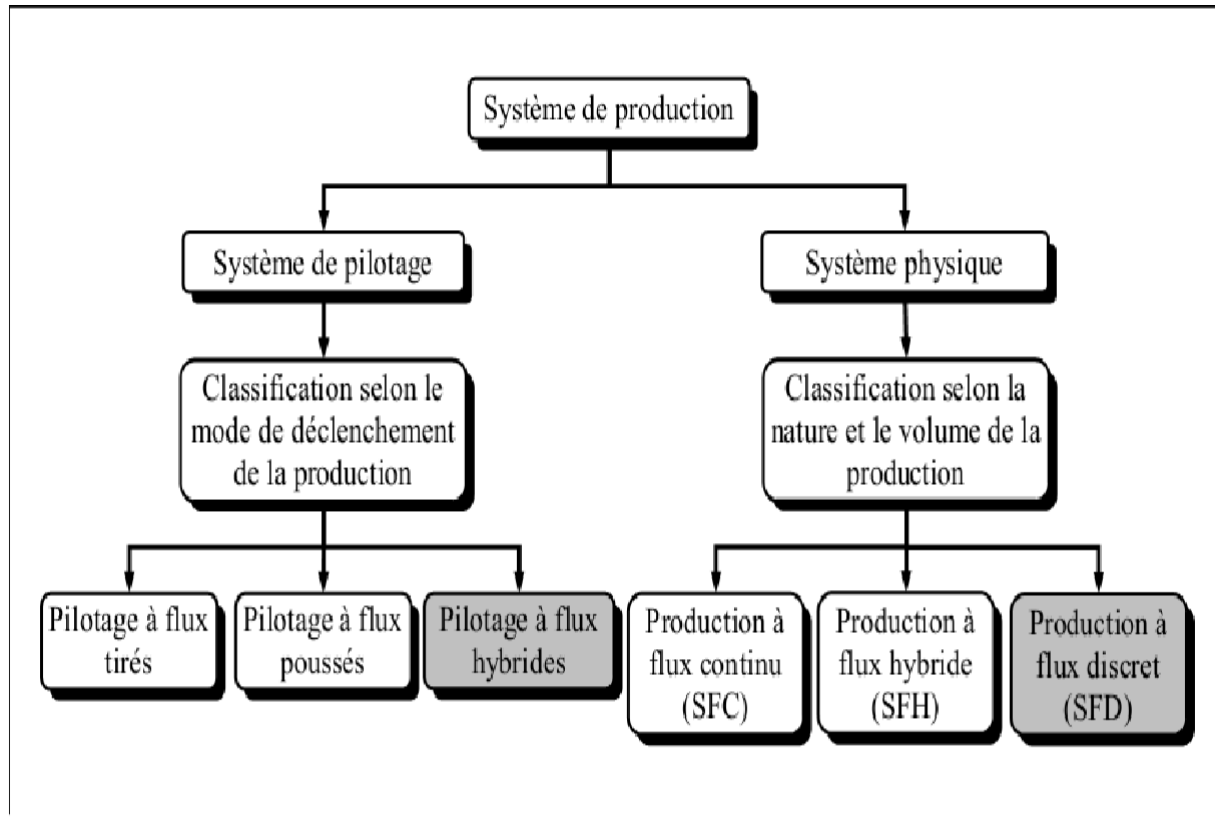


Figure 1.3 : Classification des systèmes de production selon

1.2.6. Modes de production

Les entreprises industrielles qui réalisent des produits implantent et organisent leurs ressources de production en fonction non seulement de la structure du produit, mais aussi du volume de production. On peut ainsi établir une classification des modes de production

1.2.6.1. Production unitaire ou par projet

Le produit est généralement complexe, nécessite la coordination de plusieurs ressources devant intervenir simultanément. C'est le cas des grands projets industriels ou civils comme la réalisation d'un navire, d'un ouvrage de génie civil, de l'organisation d'une manifestation sportive internationale,

1.2.6.2. Production continue

Elle correspond aux produits qui subissent des transformations en continu, par le biais d'opérations parfaitement synchronisées au niveau de leur temps opératoire : aciéries, cimenteries, stations d'épuration, raffineries sont des exemples de processus qui correspondent à cette typologie. Les équipements de production sont dédiés et d'un niveau d'automatisation très élevé.

1.2.6.3. Production de masse

Caractéristique des produits à structure en A ou V, réalisés par fabrication et/ou assemblage en très grande quantité, mais avec très peu de variantes. Les ressources de production (hommes et machines) sont donc fortement spécialisées et dédiées à des tâches précises. Le niveau d'automatisation est en général élevé. Exemple : fabrication de roulements à billes, d'ampoules d'éclairage, etc....

1.2.6.4. Production en petites à moyennes séries, répétitives ou pas

C'est le cas des produits à structure en A ou T, "personnalisables" en fonction des besoins du client : produits de base avec possibilité d'options ou variantes. Les ressources de production sont très polyvalentes, flexibles, capables de passer rapidement d'une production à une autre. Le niveau d'automatisation est généralement faible ou nul.

1.2.7. Types d'atelier [9]

L'élément essentiel qui a posé les différents chercheurs scientifiques de penser dans l'idée des type d'atelier est la proposition d'un schéma d'implantation optimal des lignes de production afin de déterminer les flux, depuis l'entrée des matières premières jusqu'à la sortie des produits finis. Plusieurs types de configuration d'ateliers sont rencontrés dans la littérature comme le montre la figure I.4

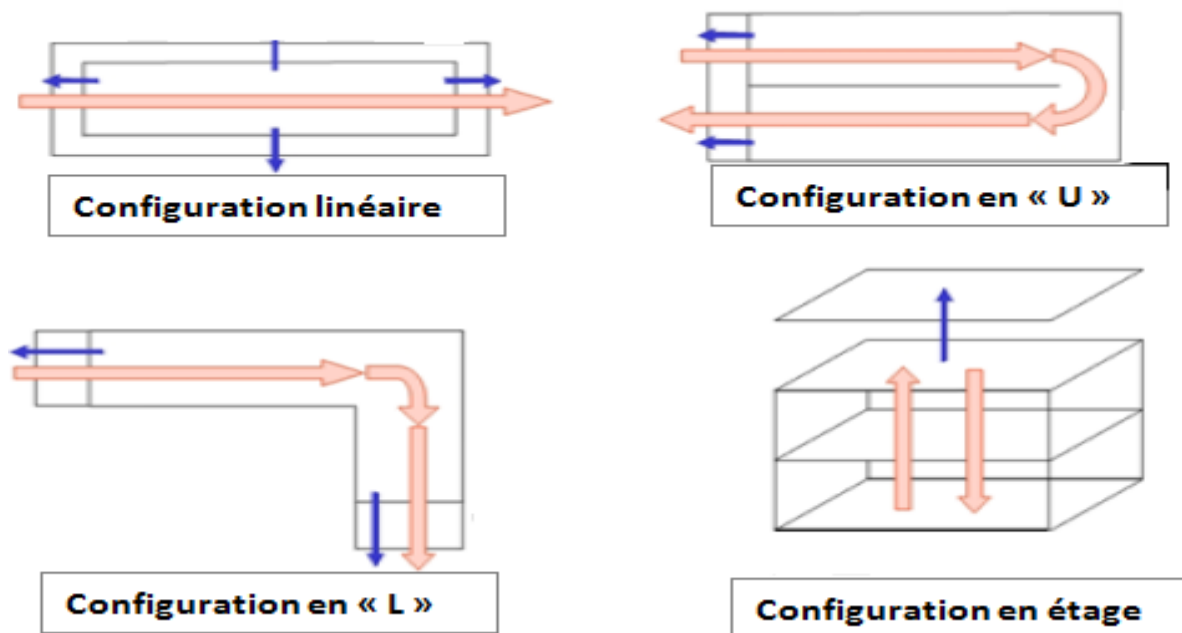


Figure 1.4 : Différentes configurations d'ateliers

Cette figure représente les différents flux de production qui caractérisent la circulation de matières et composants dans le réseau de fabrications. Ces flux représentent la chaîne des opérations de transformation, d'usinage, de manutention et de stockage intermédiaires.

Autrement dit, ces catégories des flux représentent l'ensemble des techniques qui participent à la conception, la planification des ressources. L'objectif est d'améliorer de façon continue la gestion des flux inclus dans la chaîne de travail qui débute en amont avec les fournisseurs et se termine en aval chez les clients.

1.3. Conclusion

Les différents acteurs de la productique, qu'ils soient académiciens ou industriels, n'ignorent pas que les systèmes de production appartiennent à une famille vaste de structures complexes dont la conception, l'organisation, la gestion, le pilotage...avec des technologies diffères afin d'obtenir notre besoin.

Chapitre 2

Automate
programmable
industrielle

2.1. Introduction :

L'automatisation des systèmes de production est développée afin de réduire le coût et la complexité de l'installation, de minimiser l'intervention de l'homme dans le processus de fabrication et d'assurer une plus grande précision avec le maximum d'économie de ressource donc une ergonomie.

Dans ce chapitre, nous présentons des généralités sur l'architecture des API et les langages de programmation. Plus particulièrement une description générale des logiciels STEP7, de la famille S7 de la firme SIEMENS, et PLC-SIM, qui est une application de STEP7 permettant de faire la simulation sans avoir besoin d'une CPU matérielle à l'API, est donnée dans ce chapitre.

2.2. Historique sur les API :

Les automates programmables industriels (API) sont apparus aux U.S.A en 1969, dans le secteur de l'industrie automobile, ils furent utilisés en Europe environ deux ans plus tard. Sa date de création coïncide donc avec le début de l'ère du microprocesseur et avec la généralisation de la logique câblée modulaire.

L'API est la première machine à langage c'est-à-dire un des calculateur logique dont le jeu d'instruction est orienté vers les problèmes de logique et des systèmes à évolution séquentielles .

2.3. Les systèmes automatisés de production :

L'objectif de l'automatisation des systèmes est de produire, en ayant recours le moins possible à l'homme, des produits de qualité et ce pour un coût le plus faible possible. Un système automatisé est un ensemble d'éléments en interaction, organisés dans un but précis : agir sur une matière d'œuvre afin de lui donner une valeur ajoutée. Le système automatisé est soumis à des contraintes : énergétiques, de configuration, de réglage et d'exploitation qui interviennent dans tous ces modes de marche et d'arrêt.

2.4. Structure d'un système automatisé :

Tout système automatisé peut se décomposer en deux parties (Figure 2.1) :

2.4.1. Partie commande :

Elle joue le rôle du « cerveau » du système, elle pilote la partie opérative et reçoit des informations venant des capteurs.

2.4.2. Partie opérative :

Elle agit sur la matière d'œuvre afin de lui donner sa valeur ajoutée. Les actionneurs (moteurs, vérins) agissent sur les effecteurs (les outils) du système qui agit à son tour sur la matière d'œuvre. Les capteurs et détecteurs permettent d'acquérir les divers états du système.

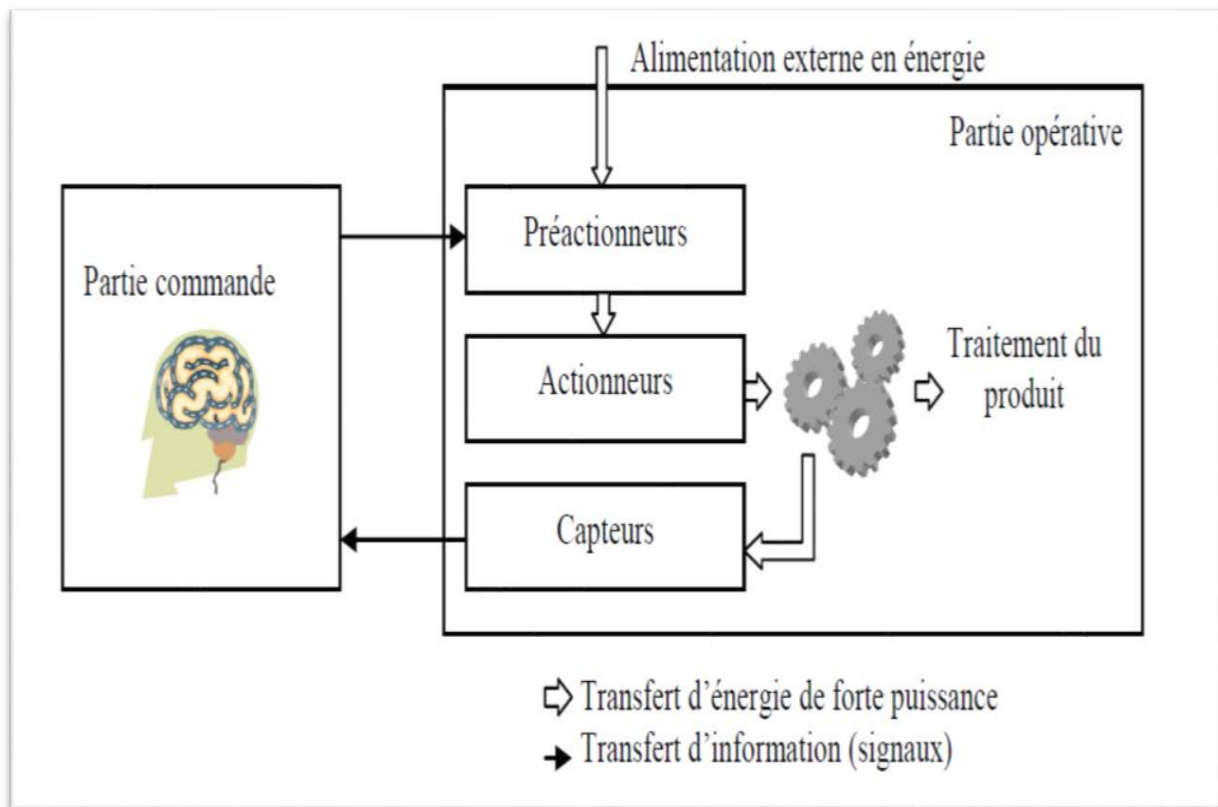


Figure 2.1. Structure interne de la partie opérative.

2.5. Principe de fonctionnement d'un système automatisé (Figure 2.2) :

La partie commande envoie des ordres aux actionneurs, elle reçoit des informations d'état en provenance des capteurs. Il y a donc une chaîne de transmission entre la partie opérative et la partie commande. Chaque partie doit aussi être alimentée en énergie, on parle donc d'une chaîne d'énergie.

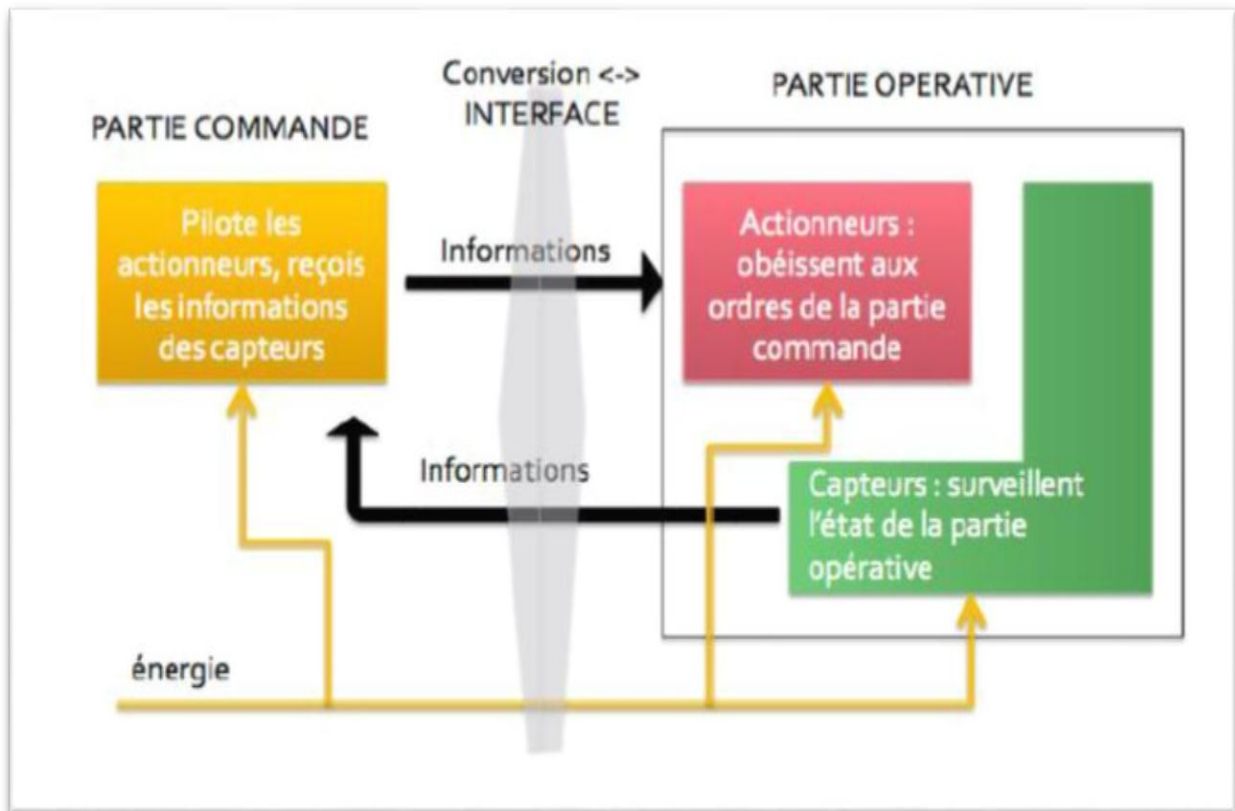


Figure 2.2.Schéma de principe d'un système automatisé.

Chaque composant d'un système automatisé à sa propre façon de décoder les informations et d'être alimenté en énergie. Afin qu'ils puissent se comprendre et fonctionner ensemble il est nécessaire d'adapter les informations et convertir les énergies. C'est le rôle des interfaces.

Echange d'information (Figure 2 .3) :

- ✓ L'ensemble des échanges d'informations est contrôlé par le programme de la partie commande :
- ✓ L'opérateur donne des consignes à la partie commande.
- ✓ La partie commande adresse des ordres à la partie opérative.
- ✓ Les actionneurs exécutent les ordres reçus : production d'un phénomène physique.
- ✓ Les capteurs réagissent à une variation d'état : détection d'un phénomène physique.
- ✓ La partie opérative adresse des comptes rendus à la partie commande.
- ✓ La partie commande envoie à l'opérateur des signaux sur l'état du système ou de son environnement.

Il s'établit un dialogue d'exploitation entre l'opérateur et la partie commande, et un dialogue de fonctionnement entre la partie commande et la partie opérative .

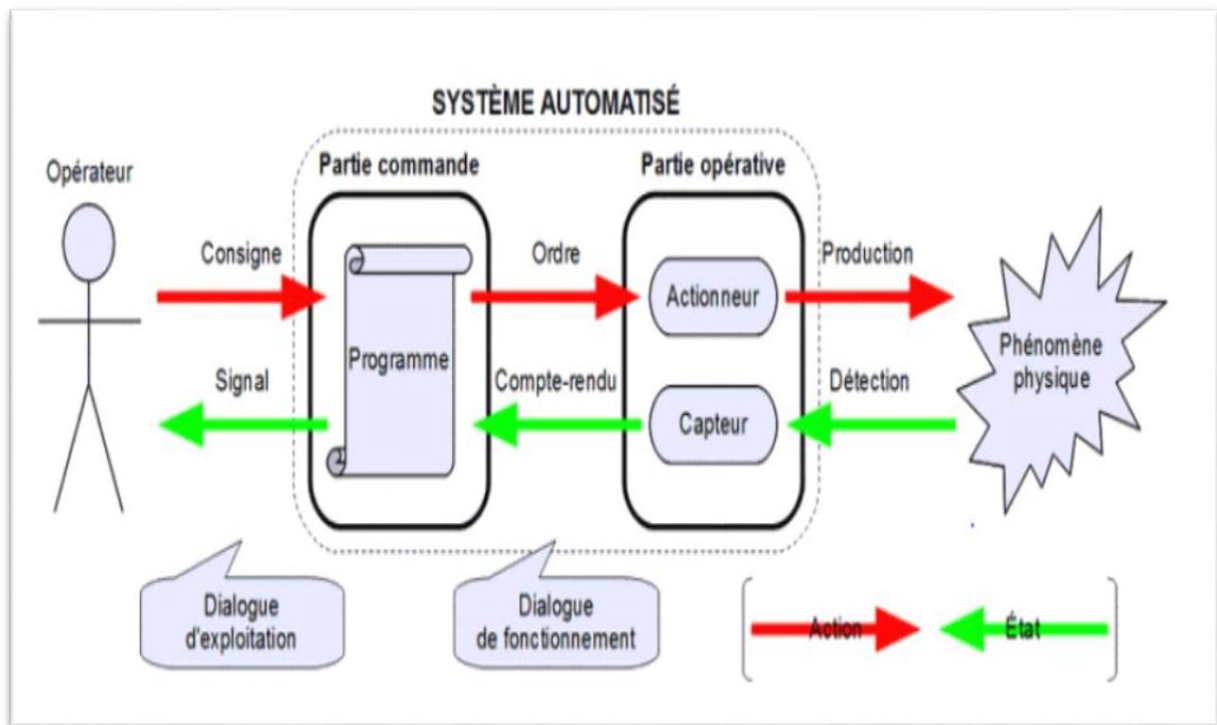


Figure 2.3.Échange d'information dans un système automatisé.

2.6. Les avantages et les inconvénients d'un système automatisé :

Un système automatisé a des avantages et des inconvénients sont les suivant :

2.6.1. Les avantages :

- La capacité de production accélérée.
- L'aptitude à convenir à tous les milieux de production.
- La souplesse d'utilisation.
- La création de postes d'automaticiens.

2.6.2. Les inconvénients :

- Le coût élève du matériel, principalement avec les systèmes hydrauliques.
- La maintenance doit être structurée.
- La suppression d'emplois.

2.7. Automate programmable industrielle :**2.7.1. Définition d'un automate programmable :**

API (Automate Programmable Industriel) ou en anglais PLC (Programmable Logic Controller) c'est un appareil électronique (matériel, logiciel, processus, un ensemble des machines ou un équipement industriel) destiné à la commande de processus industriels par un traitement séquentiel (Il contrôle les actionneurs grâce à un programme informatique qui traite les données d'entrée recueillies par des capteurs). Il comporte une mémoire programmable par un utilisateur automatique (et non informaticien) à l'aide d'un langage adapté (Le langage List, Le langage Ladder, etc...), pour le stockage interne des instructions et des données pour satisfaire une objectif donnée. Automate permet de contrôler, coordonner et d'agir sur l'actionneur, comme par exemple un robot, un bras manipulateur, on peut alors dire qu'un API est utilisé pour automatiser des processus. L'API est structurée autour d'une unité de calcul (processeur), de cartes d'entrées-sorties, de bus de communication et de modules d'interface et de commande (Figure 2.4) .



Figure 2 .4.Automate programmable S7-300.

2 .7.2. Architecteur d'un l'API :

L'automate programmable reçoit les informations relatives à l'état du système et puis commande les pré-actionneurs suivant le programme inscrit dans sa mémoire. Un API se compose donc de cinq parties : le processeur, la zone mémoire, les interfaces Entrées/Sorties, l'alimentation et des module périphériques (Figure 2.5).

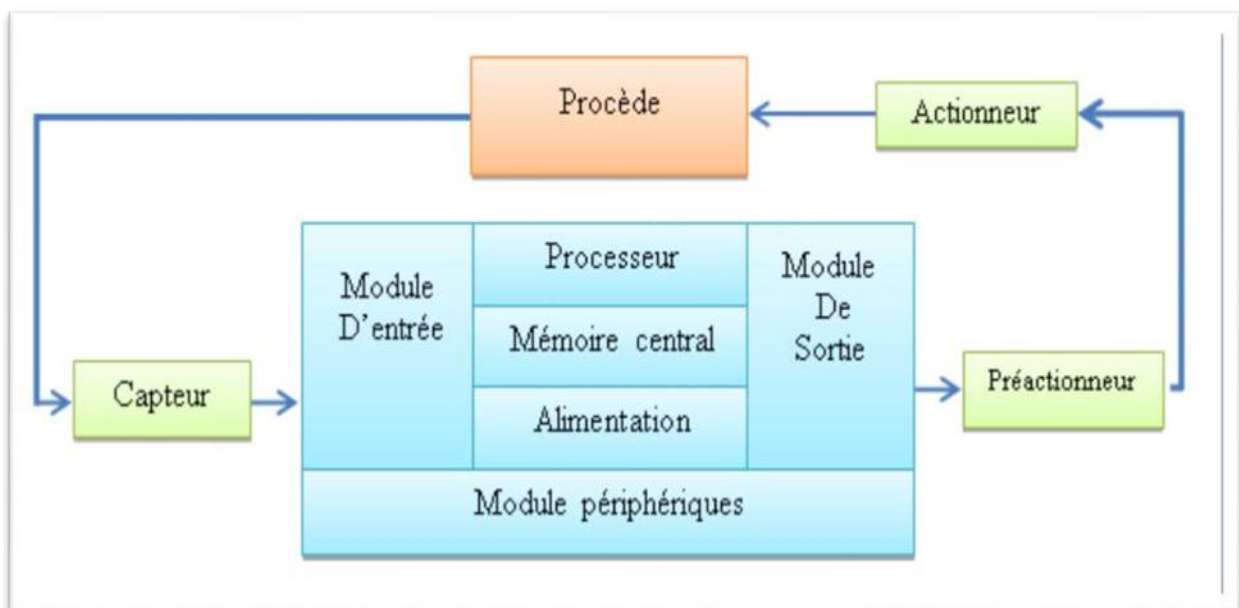


Figure 2.5.Architecteur d'un API.

➤ **Microprocesseur :**

Le microprocesseur réalise toutes les fonctions logiques (ET, OU, ...), les fonctions de temporisation, de comptage et 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.

➤ **Mémoire :**

La zone mémoire permet de recevoir:

- ✓ Les informations issues des capteurs d'entrées,
- ✓ Les informations générées par le processeur et destinées à la commande des sorties (valeur des compteurs, des temporisations), et conserver le programme du système.

Plusieurs types de mémoire peuvent être distingués:

- RAM (Random Access Memory): mémoire vive dans laquelle on peut lire, écrire et effacer (contient le programme).
- ROM (Read Only Memory): mémoire morte dans laquelle on ne peut que lire.
- EPROM mémoires mortes reprogrammables effaçables aux rayons ultra-violets.
- EEPROM mémoires mortes reprogrammables effaçables électriquement.

L'espace mémoire peut être divisé en deux parties :

- ✓ **La mémoire Programme** qui permet le stockage des instructions à exécuter par l'API.
Cette mémoire est de type ROM, elle contient les instructions à exécuter par le processeur afin de déterminer les ordres à envoyer aux pré-actionneurs reliés à l'interface de sortie en fonction des informations recueillies par les capteurs reliés à l'interface d'entrée.
- ✓ **La mémoire de données** qui permet le stockage de :
 - ✦ L'état forcé ou non des E/S.
 - ✦ Des variables internes utilisées par le programme (résultats de calculs, états intermédiaires,...).
 - ✦ L'état des sorties élaborées par le processeur.
 - ✦ l'image des entrées reliées à l'interface d'entrée.

➤ **Les modules Entrées/Sorties :**

Interfaces d'entrée : Ce sont des circuits spécialisés capables de recevoir en toute sécurité pour l'automate les signaux issus des capteurs ou de l'opérateur. Elles peuvent être :

- ✦ Logiques ou Tout Ou Rien : l'information ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1 ...). C'est le type d'information délivrée par un détecteur, un bouton poussoir ...
- ✦ Numériques : l'information est contenue dans des mots codés sous forme binaire ou bien hexadécimale. C'est le type d'information délivrée par un ordinateur ou un module intelligent.
- ✦ Analogiques : l'information est continue et peut prendre une valeur comprise dans une plage bien déterminée. C'est le type d'information délivrée par un capteur (pression, température...).

Ces différentes entrées sont mises en forme par l'interface d'entrée avant d'être stockées dans la mémoire de données.

Interfaces de sortie : Ce sont des circuits spécialisés capables de commander en toute sécurité pour l'automate les circuits extérieurs. Elles peuvent être : logiques (Tout Ou Rien), numériques, ou analogiques.

2.7.3. Traitement du programme automate :

Tous les automates fonctionnent selon le même mode opératoire (Figure 2.6) :

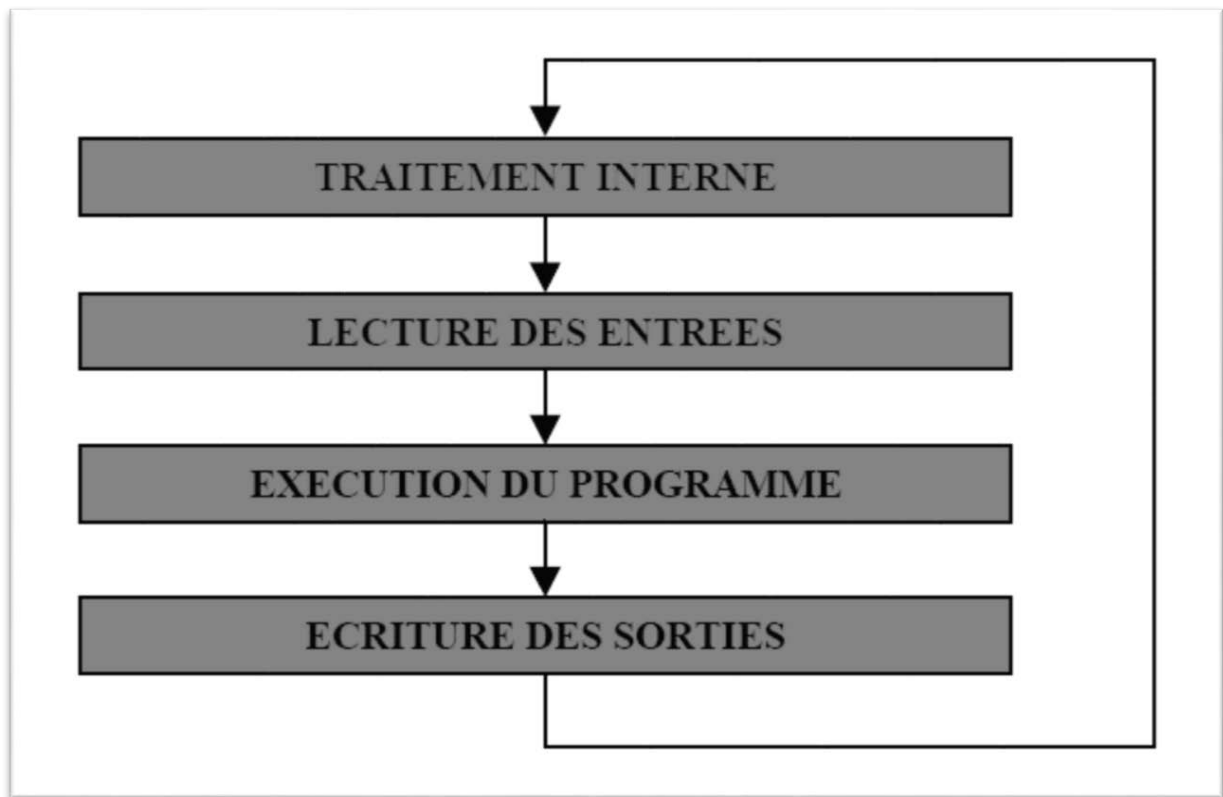


Figure 2.6.Fonctionnement cyclique d'un automate.

- **Traitement interne** : L'automate effectue des opérations de contrôle et met à jour certains paramètres systèmes (détection des passages en RUN / STOP, mises à jour des valeurs de l'horodateur, ...).
- **Lecture des entrées** : L'automate lit les entrées (de façon synchrone) et les recopie dans la mémoire image des entrées.
- **Exécution du programme** : L'automate exécute le programme instruction par instruction et écrit les sorties dans la mémoire image des sorties.
- **Ecriture des sorties** : L'automate bascule les différentes sorties (de façon synchrone) aux positions définies dans la mémoire image des sorties.

2.7.4. Les langages de programmation d'un API :

Les langages destinés à la programmation des automates programmables industriels ont pour objectifs d'être facilement mis en œuvre par tout technicien après une courte formation.

L'écriture d'un programme consiste à créer une liste d'instructions permettant l'exécution des opérations nécessaires au fonctionnement du système.

Actuellement les API disposent en tout ou partie des langages de programmation suivants :

✓ **LANGAGES LITTERAUX**

➤ **Langage liste d'instructions «IL»**

(Instruction List) : est très proche du langage assembleur, on travaille au plus près du processeur en utilisant l'unité arithmétique et logique, ses registres et ses accumulateurs. Ce langage textuel est de bas niveau.

➤ **Langage littéral structuré «ST»**

(StructuredText) : Ce langage structuré ressemble au langage C utilisé pour les ordinateurs. Ce langage est un langage textuel de haut niveau. Il permet la programmation de tout type d'algorithme plus ou moins complexe

✓ **LANGAGES GRAPHIQUES**

Langage à contacts ou diagramme en échelle (LD : Ladder diagram) : ce langage ressemble aux schémas électriques, il a été développé pour les électriciens. Ce langage graphique, est essentiellement dédié à la programmation d'équations booléennes (true/false).

C'est le langage le plus utilisé.

- **Le GRAFCET** (Graphe Fonctionnel de Commande par Etapes et Transitions) ou SFC (Sequential Function Chart) : est un outil graphique qui décrit les différents comportements de l'évolution d'un automatisme. C'est un mode de représentation et d'analyse d'un automatisme, particulièrement bien adapté aux systèmes à évolution séquentielle, c'est à dire décomposable en étapes.

- **Blocs Fonctionnels (FBD : Function Bloc Diagram)** : c'est une suite de blocs, reliables entre eux, réalisant tout type de fonctions des plus simples au plus sophistiquées. ce langage permet de programmer graphiquement à l'aide de blocs, représentant des variables, des opérateurs ou des fonctions. Les blocs sont programmés ou programmables.

2.7.5. Les types des automates programmables industriels :

Les automates de petite gamme : ces automates sont destinées pour de petite application. Le nombre d'entrées sorties ne dépasse pas 48. Ils se présentent dans les boîtiers compacts ou tous les modules (CPU, Alimentation, Module d'E/S, interface de communication) sont intégrés dans une mémoire boîtier. Il ne dispose d'aucune possibilité d'extension.

- **Les automates de moyenne gamme** : dans cette gamme le nombre d'E/S peut atteindre 400, ces automates ont une structure modulaire extensible.
- **Les automates de haute gamme** : ce sont des automates super puissant dont les performances permettant de gérer jusqu'à 2024 E/S et plus. Il dispose d'une structure modulaire [4].

2.7.6. Les avantages et les inconvénients :

Ses avantages sont :

- ❖ Améliorer les conditions de travail en éliminant les travaux répétitifs.
- ❖ Améliorer la productivité en augmentant la production.
- ❖ Améliorant la qualité des produits ou en réduisant les coûts de production.
- ❖ Les automates programmables sont programmés facilement et ont un langage de programmation facile à comprendre (logique programmé) alors la Modification du programme facile par rapport à la logique câblée.
- ❖ Simplification du câblage.
- ❖ Puissance et rapidité.
- ❖ Facilité de maintenance (l'API par lui-même est relativement fiable et peut aider l'homme dans sa recherche de défauts).
- ❖ Augmenter la sécurité.
- ❖ Possibilités de communication avec l'extérieur (ordinateur, autre API)
- ❖ Énorme possibilité d'exploitation.

- ❖ Plus économique.

Ses inconvénients sont :

- ❖ Plantage.
- ❖ Il y a trop de travail requis dans les fils de connexion.
- ❖ Besoin de formation

2.7.7. Critère de choix d'un API :

Le choix d'un API est fonction de la partie commande à programmer. On doit tenir compte de plusieurs critères :

- ❖ Nombre d'entrées / sorties.
- ❖ Le temps de traitement.
- ❖ La capacité de la mémoire.
- ❖ Le nombre d'étapes ou d'instructions.
- ❖ Le nombre de temporisateurs.
- ❖ Le langage de programmation.

2.8. Présentation des automates programmable SIEMENS S7300

Nous avons opté pour cet API S7300, plus performant et plus puissant, facile à manier et qui a les caractéristiques suivantes :

- ✦ Souplesse d'utilisation grâce à des architectures décentralisées simples et aux multiples possibilités de mise en réseau
- ✦ Facilité et confort d'utilisation grâce à une configuration simple
- ✦ Evolutivité permettant l'intégration de nouvelles tâches
- ✦ Haut niveau de performance procuré par les nombreuses fonctions intégrées L'API S7-300 est de conception modulaire, nous pouvons le composer en fonction de nos besoins à partir d'un vaste éventail de modules qui comprend :
- ✦ Des CPU de différents niveaux de performance
- ✦ Des modules de signaux pour entrées et sorties TOR et des modules analogiques
- ✦ Des modules d'alimentation pour le raccordement du S7-300 sur secteur 120/230 V
- ✦ Des coupleurs pour configurer un automate sur plusieurs profilés-support

Tous les modules du S7-300 sont montés sous boîtier procurant le degré de protection IP 20.

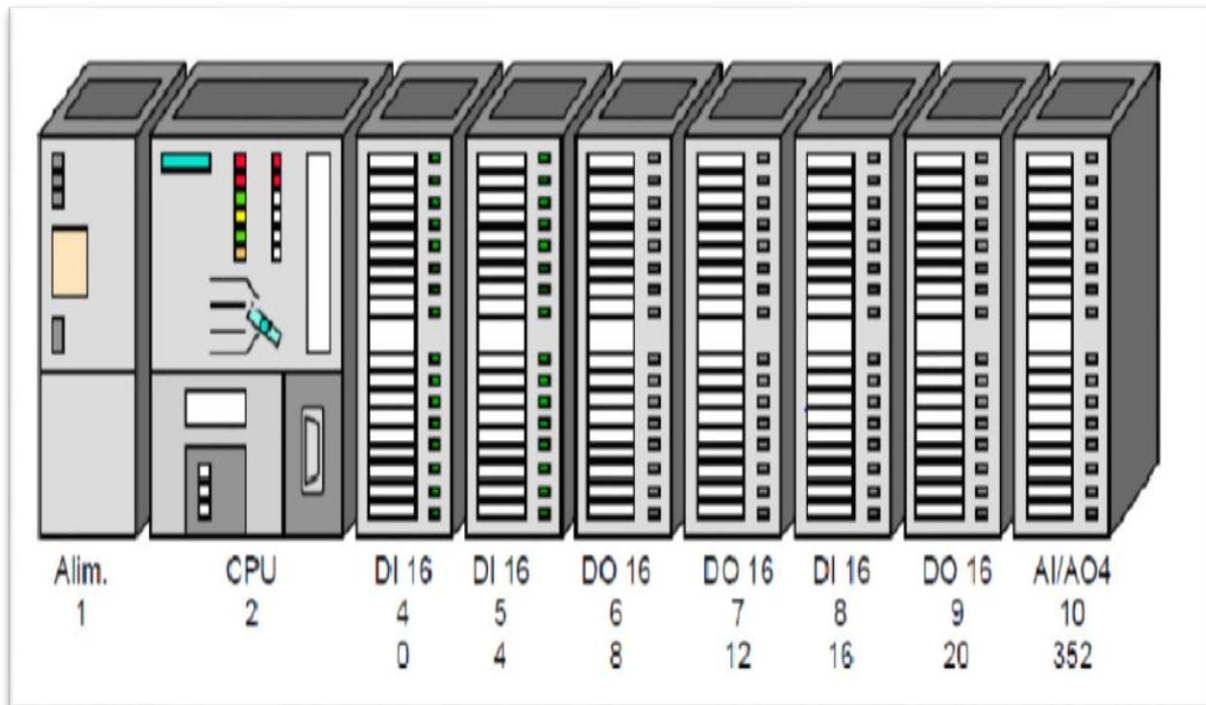


Figure 2.7. Vue générale de l'automate S7-300.

1. Module d'alimentation
2. Pile de sauvegarde
3. Connexion au 24V cc
4. Commutateur de mode (à clé)
5. LED de signalisation d'état et de défauts
6. Carte mémoire
7. Interface multipoint (MPI)
8. Connecteur frontal 9-Volet en face avant

2.9. Présentation des différentes CPU des automates S7-300

Les API S7300 sont dotés de différents CPU selon l'exigence de l'industrie (Figure III.5) On trouve les CPU 312 IFM, 313, 314, 314 IFM, 315, 315-2 DP et 316, 312tp, 313C2DP...etc.

CPUS7- 312tp :

C'est une CPU compacte disposant d'entrées/sorties TOR intégrées et d'une deuxième interface série, elles sont conçues pour des installations ayant des exigences élevées concernant la puissance de traitement et la vitesse de réaction

CPU S7-312 :

C'est une CPU compacte à entrées/sorties TOR intégrées pour de petites applications à exigences élevées concernant la puissance de traitement

CPU S7-313-C2DP

C'est une CPU compacte disposant d'entrées/sorties TOR intégrées et d'une interface maître/esclave PROFIBUS DP

- Pourvue de fonctions technologiques et des tâches à fonctions spéciales
- Pour le raccordement de périphérie décentralisée

CPU S7-313C

Est une CPU compacte à entrées/sorties TOR et analogiques intégrées conçue :

- Pour des installations ayant des exigences élevées concernant la puissance de traitement et la vitesse de réaction
- Pourvue de fonctions technologiques



CPUS7- 312tp



CPU S7-312



CPU S7-313-C2DP



CPU S7-313C

Figure. 2.9 : CPU de différents niveaux de performance de l'automate S7-300[9]

2.10. Utilisation de S7-300

Pour pouvoir travailler avec cet automate et exécuter le programme , nous avons besoin du matériel suivants :

Constituants	Fonction
Profilé support	Il constitue le châssis du S7-300.
Module d'alimentation (PS)	Il convertit la tension de secteur (120/230 V CA) en une tension continue de 24 V pour l'alimentation du S7-300.
Module de simulation (6ES7 374...) avec 8 entrées TOR et 8 sorties TOR	Il nous donne la possibilité de tester le programme utilisateur à la mise en service de l'automate et en cours de fonctionnement : des interrupteurs simulent les signaux des capteurs ; des voyants (LED) visualisent l'état logique des signaux des sorties.
Câble MPI	Il relie la PG ou le PC à la CPU.
Console de programmation (PG) avec carte MPI et logiciel STEP 7 installé ou bien Ordinateur personnel (PC) avec carte MPI ou câble PC/MPI et logiciel STEP 7 installé	Elle sert à configurer, à paramétrer, à programmer et à tester l'automate S7-300.

Table 2 .1 : Tableau explicatif d'utilisation de S7 300

Chapitre 3

Les réseaux industriels

3. Introduction

Les réseaux locaux industriels ont été introduits petit à petit dans les systèmes automatisés, à des stades divers selon les domaines d'application. Ils sont nés avec le développement de l'électronique et des matériels numériques programmables. L'apparition des régulateurs numériques et des automates programmables a conduit les offreurs à mettre sur le marché des réseaux pour les interconnecter et rapatrier à moindre coût de câblage les informations nécessaires à la conduite par les opérateurs dans les salles de commande.

À l'origine, ces réseaux étaient conçus à partir des connaissances issues des télécommunications en reprenant des protocoles existants. Ce n'est que dans une deuxième étape que l'analyse des architectures des systèmes automatisés a conduit à identifier des besoins spécifiques et donc à définir des services et des protocoles spécifiques au(x) domaine(s) industriel(s).

Dans ce chapitre, on donnera une présentation générale des réseaux industriels, et on présentera en particulier le réseau Profibus utilisé dans notre application.

3.1. Définition d'un réseau industriel

Un réseau local industriel est en première approximation un réseau local utilisé dans une usine ou tout système de production pour connecter diverses machines afin d'assurer la commande, la surveillance, la supervision, la conduite, la maintenance, le suivi de produit, la gestion, en un mot, l'exploitation de l'installation de production.

Mais l'aspect connexion de machines, même s'il est fondamental, n'est pas le seul à considérer. Ce sont surtout les processus d'application répartis sur les machines qui sont mis en relation par les réseaux. Et ce sont ces types de relations qui dicteront le choix d'un réseau plutôt que d'un autre. Les besoins en communication sont alors très diversifiés selon les matériels connectés et les applications qu'ils supportent, ce qui explique que les réseaux locaux industriels sont nombreux et variés. Il est évident que le trafic entre des capteurs, des actionneurs et des automates n'est pas le même qu'entre un système de CFAO et un contrôleur de cellule de fabrication. Les besoins diffèrent selon des critères comme la taille des données à transmettre, les contraintes de temps associées, les coûts acceptables de connexion, les technologies qu'il est possible de mettre en œuvre. Il sera donc nécessaire d'étudier globalement les architectures des systèmes automatisés pour analyser en détail les divers types de communication et classer les réseaux locaux industriels. Pour satisfaire tous ces besoins, de très divers protocoles ont été définis depuis une quinzaine d'années, certains ont été normalisés, d'autres sont devenus des standards de fait, d'autres enfin sont purement privés. [THO 05]

3.2. Différence entre un réseau informatique et réseau industriel

Un réseau industriel joue le même rôle qu'un réseau normal. Le but premier est toujours de transmettre des informations entre plusieurs machines. Lorsque l'on parle de réseaux, on sous-entend généralement que les machines sont des ordinateurs. Lorsque l'on parle de réseaux industriels, il s'agit de faire communiquer des machines qui ne sont plus seulement des ordinateurs. On fait communiquer des appareils différents tels que des ordinateurs, des automates programmables, des appareils de mesures, des équipements spécifiques (fours, commandes numériques, ascenseurs, ...).

Le qualificatif d'industriel pour un réseau sous-entend également un environnement particulier. L'environnement d'un réseau industriel est en général un environnement perturbé.

C'est environnement est souvent pollué par des ondes électromagnétiques provenant des différents appareils (moteurs, courants forts, champs magnétiques,...). Tous ces phénomènes sont à prendre en compte dans la couche 1 du modèle OSI.

3.3. Pyramid CIM (C.I.M.: Computer Integrated Manufacturing)

La pyramide du CIM est une représentation conceptuelle, qui comporte 4 niveaux auxquels correspondent des niveaux de décision. Plus on s'élève dans cette pyramide, plus le niveau de décision/d'abstraction est important, plus la visibilité est globale et plus les horizons et cycles opérationnels s'allongent. [DEV 00]

Un niveau supérieur décide ce qu'un niveau inférieur exécute.

- **Niveau 3** : la gestion des produits et des stocks, la gestion des approvisionnements, la gestion des clients, des commandes et de la facturation
- **Niveau 2** : la localisation des produits en stocks, les mouvements physiques et la gestion des lots (géré par le système de gestion d'entrepôt) niveau 1 : les automatismes niveau 0 : les capteurs et actionneurs.

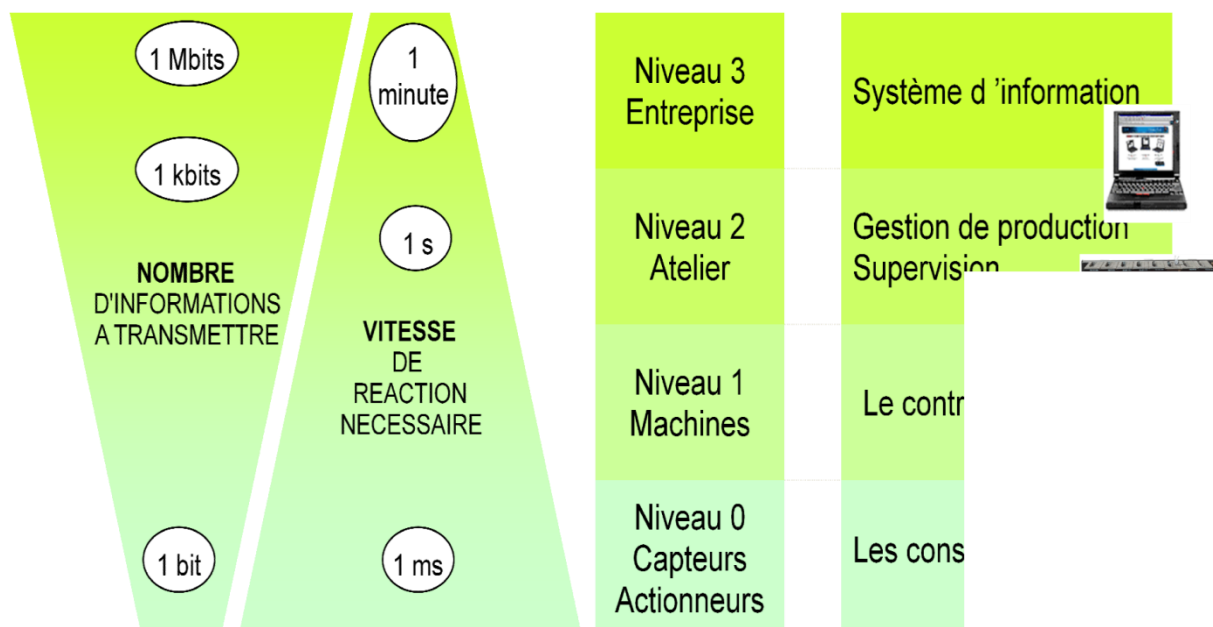


Figure 3.1 : Pyramide CIM.

3.4. Les types de réseaux locaux industriels

Les réseaux de terrain connectent les capteurs, les actionneurs et les dispositifs comme les automates, les régulateurs et plus généralement tout matériel supportant des processus d'application ayant besoin d'avoir accès aux équipements de terrain. Ils doivent offrir au minimum les mêmes services que les systèmes d'entrées-sorties industriels, mais d'autres très importants, de synchronisation par exemple, seront aussi définis pour faciliter la distribution des applications.

Les réseaux de cellule, parfois appelés réseaux intermédiaires, connectent dans une cellule ou un atelier les dispositifs de commande de robots, de machines-outils, de contrôle de la qualité (lasers, machines à mesurer). Ces réseaux se rencontrent essentiellement dans les industries manufacturières.

Les réseaux de salle de commande, dans les processus continus, ramènent aux opérateurs les informations qui leur sont nécessaires pour conduire le processus et qui leur permette de fixer les points de consigne, ou divers paramètres pour les régulateurs et automates. Ils connectent des automates, des systèmes numériques de contrôle-commande, des systèmes de supervision, etc.

Les réseaux d'usine irriguent l'ensemble de l'usine, interconnectant des ateliers, des cellules avec les bureaux d'études ou des méthodes, avec les services administratifs, commerciaux et financiers de l'entreprise.

3.5. Technologies des réseaux**3.5.1 Topologie des réseaux**

Un réseau industriel est constitué d'automates programmables, des interfaces hommes/machines, d'ordinateurs, des équipements d'entrées/sorties, reliés entre eux grâce à des lignes de communication, telles que des câbles électriques, des fibres optiques, des liaisons radio et des éléments d'interface, tels que des cartes réseaux, des gateways (passerelles).

L'arrangement physique du réseau est appelé topologie physique ou architecture du réseau.

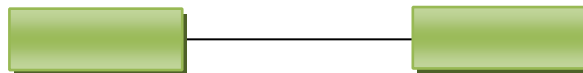
Lorsque l'on considère la circulation des informations, on utilise la terminologie de topologie logique. On distingue généralement les topologies suivantes : [THO 05]

- ✦ Point à point
- ✦ En bus,
- ✦ En étoile,
- ✦ En arbre,
- ✦ En anneau, - maillées.

3.5.2 Typologie point à point

C'est la forme la plus élémentaire qui implique deux machines. Elle correspondra souvent à la topologie d'une partie d'un réseau. En général, cela concerne une liaison série dont les vitesses sont vite limitées par la distance, l'utilisation de la fibre optique pouvant compenser cette faiblesse.

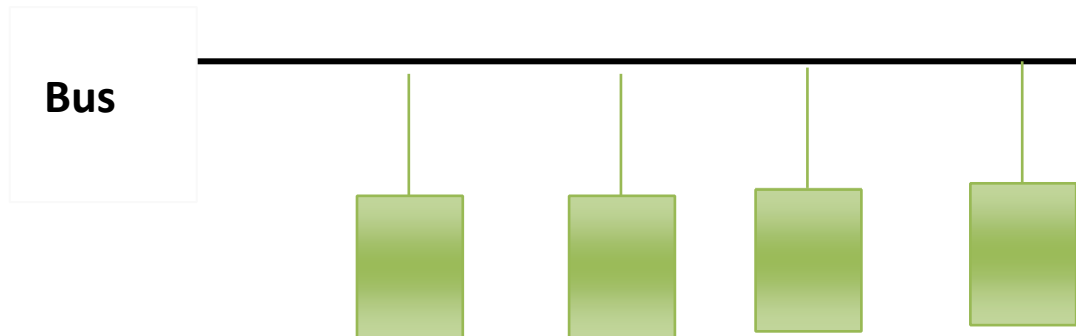
Point à point



- **Topologie en bus**

Cette organisation est une des plus simples. Tous les éléments sont reliés à une même ligne de transmission par l'intermédiaire de câbles. Le mot bus désigne la ligne physique. Cette topologie est facile à mettre en œuvre, la défaillance d'un nœud ou d'un élément ne perturbe pas le fonctionnement des autres organes.

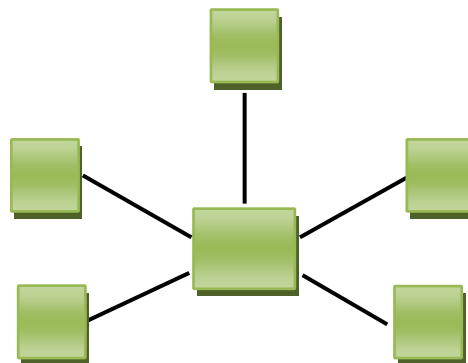
Les réseaux du niveau machine et capteurs, appelés d'ailleurs bus de terrain, utilisent cette méthode. La typologie bus se met en œuvre soit par chaînage des équipements les uns avec les autres, soit par connexion via un boîtier de raccordement (TAP) au câble principal.



- **Topologie en étoile**

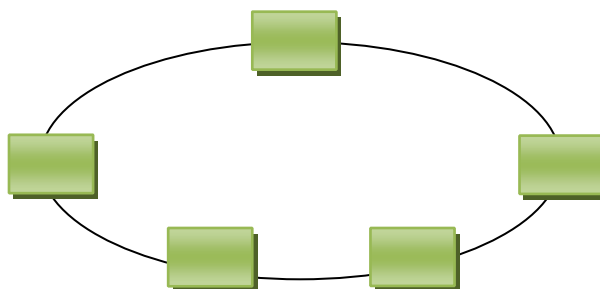
Cette typologie est la plus courante au niveau de l'entreprise et de l'atelier. Elle est celle du réseau Ethernet. Elle présente l'avantage d'être très souple en matière de gestion et de dépannage. Les stations finales sont reliées ensemble à travers un équipement intermédiaire (répéteur, commutateur). La défaillance d'un nœud ne perturbe pas le fonctionnement global du réseau, en revanche, l'équipement intermédiaire qui relie tous les nœuds constitue un point unique de défaillance.

Etoile

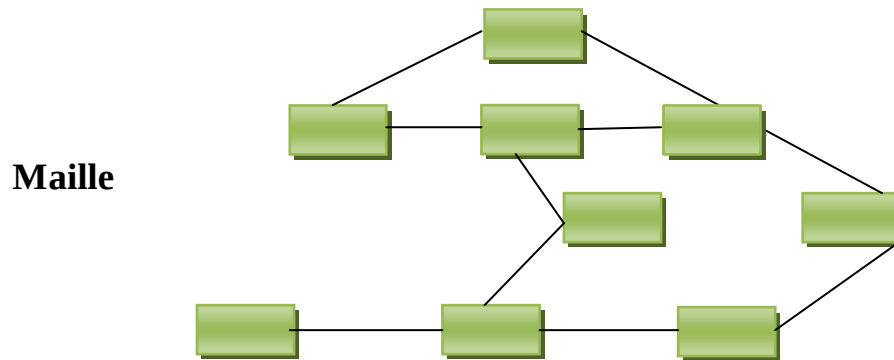


- **La typologie en anneaux** reprend la topologie physique de l'étoile en apportant une meilleure disponibilité du réseau.

Anneau



-La **topologie en réseau maillé** est assez peu utilisée dans l'industrie et présente l'inconvénient d'un nombre important de liaisons.



3.6. Protocol de communication

Un protocole de communication est une spécification de plusieurs règles pour un type de communication particulier. Initialement, on nommait protocole, ce qui est utilisé pour communiquer sur une même couche d'abstraction entre deux équipements différents. Par extension de langage, on utilise parfois ce mot aussi aujourd'hui pour désigner les règles de communication entre deux couches sur un même équipement. Le modèle OSI (Open System Interconnexion) a été créé par l'ISO (Organisation internationale de normalisation) qui a édité la norme ISO 7498 dans le but d'offrir une base commune à la description de tout réseau informatique. Dans ce modèle, l'ensemble des protocoles d'un réseau est décomposé en 7 parties appelées couches OSI, numérotées de 1 à 7. Les couches OSI respectent les principes suivants :

- Chaque couche supporte un protocole indépendamment des autres couches,
- Chaque couche procure des services à la couche immédiatement supérieure,
- Chaque couche requiert les services de la couche immédiatement inférieure,
- La couche 1 décrit le médium (le support de communication),
- La couche 7 procure des services à l'utilisateur ou à une application.

Lors d'une communication, l'utilisateur d'un réseau utilise les services de la couche 7 via un programme. Cette couche met en forme et enrichit l'information qu'elle reçoit du programme en respectant son protocole. Puis, elle l'envoie à la couche inférieure lors d'une demande de service. À chaque couche, l'information subit des mises en forme et des ajouts en fonction des protocoles utilisés. Enfin, elle est envoyée sur le médium et reçue par un autre nœud du réseau. Elle parcourt toutes les couches de ce nœud dans l'autre sens pour finir au programme du correspondant, dépouillée des différents ajouts liés aux protocoles.

3.7. Les réseaux industriels et le modèle OSI

Tout système de communication doit être conforme à ce modèle OSI, cela signifie que le réseau doit offrir une architecture en couches qui sont celles définies par l'ISO. La figure II.2 présente les différentes couches définies par cette norme. [JOS 95]

Application
Présentation
Session
Transport
Réseau
Liaison
Physique

Figure 3.2: Le découpage en couches OSI de l'ISO.

Afin de satisfaire des exigences de temps réel, on estime que pour accélérer la communication, certaines couches ne sont pas fondamentalement nécessaires. C'est ainsi que les couches réseau, transport, session et présentation ont disparu du modèle général pour donner naissance au modèle réduit composé uniquement de la couche physique, de la couche liaison de données et de la couche application.

En supprimant des couches, on diminue d'autant le “temps de traversée” de l'empilement des services, par contre on ne bénéficie plus de ces services. Les “temps de retournement” des équipements en sont alors diminués. Rappelons tout de même que, dans de nombreux cas, la contrainte du temps réel est non seulement liée au temps de communication mais aussi et surtout au temps de réponse des processus d'application. C'est ainsi que les réseaux de terrain offrent une architecture en trois couches selon le modèle OSI “réduit”. Rappelons que le concept bus de terrain a été introduit il y a maintenant une vingtaine d'années, ceux qui en sont à l'origine, avaient indiqué que le bus de terrain était avant tout un bus pour les capteurs et actionneurs, respectant les contraintes des processus de fabrication (temps de rafraîchissement garantis, sécurité, ...) avec un coût de connexion très faible. Depuis, les choses ont évolué. Il est acquis que le fait de scinder les automatismes en plusieurs niveaux est difficile, car la répartition des tâches et des traitements est souvent très floue. De ce fait, le réseau de terrain n'est plus uniquement un réseau de capteurs et d'actionneurs mais aussi un réseau inter-automates permettant l'interconnexion d'instruments dans une architecture de SAPID (système automatisé de production à intelligence distribuée).

L'emploi de ces bus tend à se généraliser dans les applications industrielles. Celles-ci ont souvent des caractéristiques variables comme, par exemple, les temps de réponse, le type et le volume d'informations à échanger. Ces caractéristiques sont différentes entre un procédé manufacturier et un procédé continu, il ne peut donc exister de bus de terrain universel. Ceci a conduit à une émergence de bus conçus et adaptés pour des applications spécifiques. On dénombre plusieurs dizaines de protocoles et de produits susceptibles de revêtir le label réseau de terrain.

Citons entre autres : ASI, Batibus, Bitbus, DeviceNet, Elbus, Fieldbus, Filbus, Fipio, Fipway, Geniro, Impacc, Interbus S, ISP, Lacafip, Echelon [LON94], Mystic, Modbus, Optomax, P. Net, Pamux, Profibus, Proxbloc, Remote, I/O, SDS, Sensoplex, Sercos, Senplex, Sinec L2 DP, Suconet S, Suconet P, Valverbus, VAN,

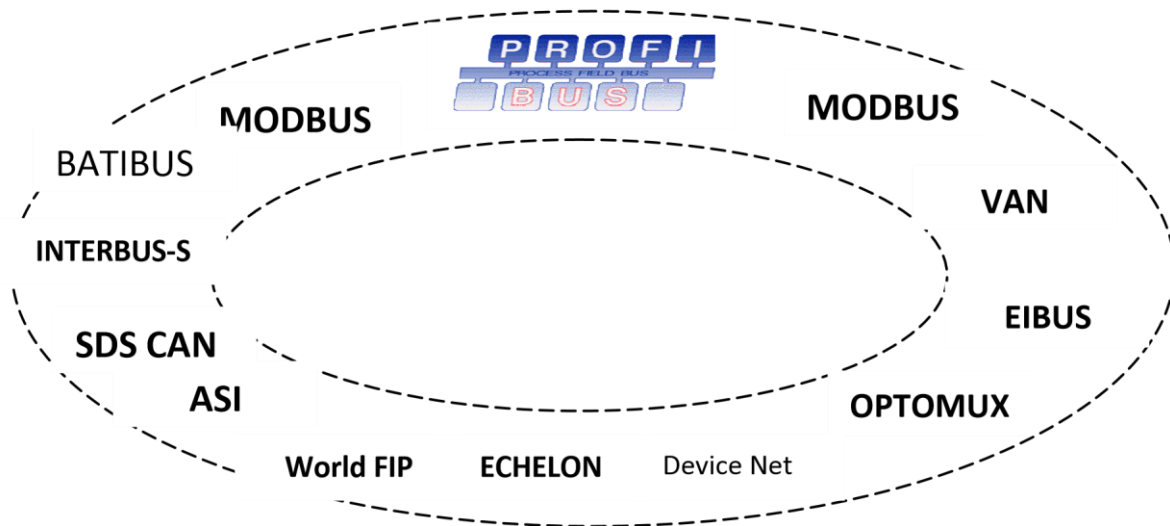


Figure 3.3: Les réseaux de terrain.

3.8. Rôle des réseaux industriels

L'un des rôles du réseau de terrain est de fournir l'outil de communication afin d'utiliser les nouvelles possibilités du SAPID car les outils traditionnels de communication s'avèrent mal adaptés. On demande à un réseau de terrain :

- De simplifier la réalisation d'un automatisme et lui permettre d'évoluer tout en améliorant ou, au moins en conservant, la qualité de service actuelle (fonctions de régulation et de contrôle du procédé, sûreté de fonctionnement, accessibilité aux variables du procédé, ...),
- De faciliter l'emploi des capteurs et actionneurs "intelligents", qui permettent d'améliorer la maintenabilité du Système Automatisé de Production et, en conséquence, de permettre l'échange d'informations nécessaires à leur télé paramétrage, leur télé réglage, leur télé forçage,
- D'améliorer la disponibilité de l'installation en permettant d'accéder aux différentes Informations nécessaires (maintenance, télédiagnostic, gestion industrielle, ...).

3.9. Avantage et inconvénient des réseaux industriels

Un réseau local industriel est utilisé dans une usine ou tout système de production pour connecter diverses machines afin d'assurer la commande, la surveillance, la supervision, la conduite, la maintenance, le suivi de produit, la gestion, en un mot, l'exploitation de l'unité de production.

Les réseaux industriels ont permis de gérer dans un premier temps des E/S décentralisées, puis la périphérie d'automatisme.

Avantage :

- Installation locale ou distante du produit plus facile
- Extension possible des applications
- Transferts de données vers des hôtes répartis pour le traitement et la supervision automatiques du produit
- Gestion, diagnostics et réparation à distance de l'équipement Ces réseaux de terrain.

Contributeur à réaliser :

- Des gains de câblage importants (suppression des boucles analogiques 4-20mA).
- Intelligence déportée.
- Mais surtout ils permettent de rendre accessibles des services sur tout le site : Diagnostic,
- Programmation
- Réduction des coûts de maintenance Inconvénients :
- Sécurité des informations
- Demande une étude préalable pour des performances optimales et pour le choix du réseau (Topologie, Vitesse, standard ou Propriétaire.....) - coût direct du prix du Bus de Terrain.

Le réseau de terrain doit également s'intégrer avec les réseaux et langages de niveau supérieur, dans le cadre du concept CIM. Nous avons choisi de présenter le réseau Profibus qui répond à ces contraintes industrielles et semblent bien adaptés pour interconnecter des instruments intelligents dans le contexte de notre application.

3.10. Le réseau Profibus**3.10.1. Définition**

Profibus (Process Field Bus) est un réseau de terrain ouvert, permettant de répondre à un large éventail d'applications dans les domaines concernant :

- Les procédés manufacturiers (conduite des procédés séquentiels, procédés discontinus par lots « batch ») ;
- Les procédés continus (conduite, régulation) ; — la gestion des bâtiments (gestion technique centralisée, gestion technique du bâtiment)

En tant que réseau non propriétaire, Profibus est issu de travaux initiés en 1987 par le ministère fédéral allemand pour la Recherche technologique, comprenant un groupement de sociétés industrielles et d'instituts de recherche allemands, orchestré par Siemens AG.

La norme allemande DIN 19245 a été créée en 1991, normalisée EN 50170 par le Cenelec en 1996, comme norme européenne. Depuis 1999, le réseau Profibus est reconnu dans la norme internationale CEI 61158, avec les autres réseaux ControlNet, P-Net, Fieldbus Foundation High-Speed-Ethernet, SwiftNet, WorldFip, Interbus-S. [BAJ 01]

Avec beaucoup de difficultés, le groupe de travail du projet CEI 61158 a convergé enfin vers un compromis de norme sur les réseaux de terrain en y intégrant sept réseaux très divers et quelquefois rares. Les travaux d'homogénéisation de la norme CEI 61158 se poursuivent, notamment pour affiner les différents types identifiés au niveau des couches 2 et 7.

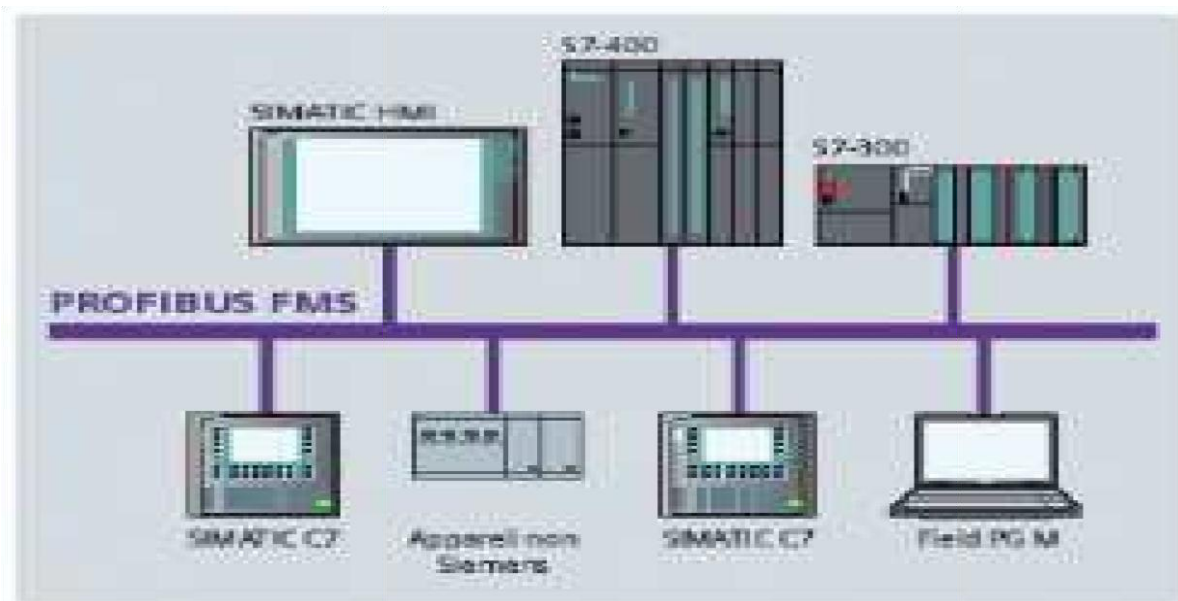


Figure 3. 4: le réseau profibus.

3.10.2. Architecture

Profibus propose une architecture réseau en trois niveaux, autorisant une communication entre matériels hétérogènes et de différents constructeurs, afin de couvrir tous les niveaux d'automatisation d'un système :

- Transmission de données de type action réflexe avec un temps de réaction très court ;
- Raccordement direct de capteurs et d'actionneurs sur le bus ;
- Fonctionnement en sécurité intrinsèque ;
- Dialogue entre automatismes et périphérie décentralisée ;
- Échange de données complexes et volumineuses pour la gestion de cellules.

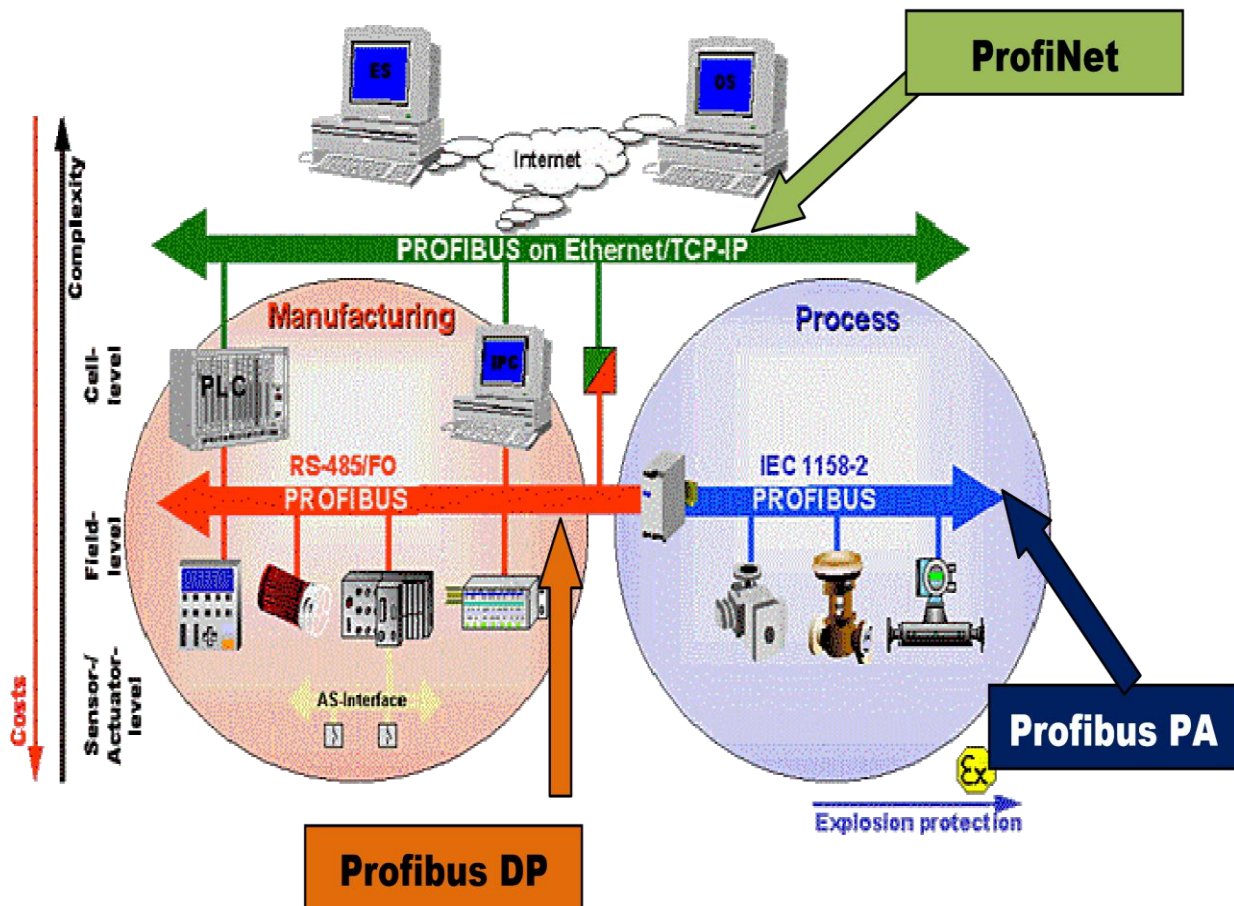


Figure 3.5 : classification des réseaux Profibus

En 2002, l'offre de produits communiquant sous Profibus est forte de plus de 3 000 produits, fournis par un grand nombre de sociétés dont Schneider, Siemens, Landys & Gir, Applicom Int., Weidmuller, Saia, Europep, Hartmann et Braun, Khunke, Mitsubishi, Infranor, Beckhoff, Hirschmann, Wago, Festo, Endress+Hauser, Moeller, ABB.

Les acteurs principaux de développement de l'offre de produits et d'évolution du réseau participent à l'organisation internationale des utilisateurs Profibus (Profibus Nutzerorganisation: PNO), qui s'appuie sur un réseau d'associations nationales dans plus de

vingt pays, dont l'association France Profibus. Une procédure de certification des équipements communiquant sous Profibus, respectant la norme ISO 9001, est réalisée par des centres de

certification Profibus, garantissant ainsi une conformité des produits à la norme Profibus et leur conférant un numéro d'identification Profibus unique.

3.10.3 Variante du réseau Profibus

Profibus se décline en trois variantes de protocoles, répondant chacune à des finalités métiers et applicatives spécifiques :

- ✓ Profibus-DP (Decentralized Peripheral) : destiné aux applications de type maître-esclave en monomaître pour la gestion des équipements d'entrées-sorties déportées avec des temps d'accès extrêmement courts. Le fonctionnement multimaître est possible ;
- ✓ Profibus-FMS (Fieldbus Message Specification) : destiné aux applications nécessitant l'échange entre maîtres pour la synchronisation d'activités de contrôle-commande, basé sur la messagerie MMS (Manufacturing Message Specification) ;
- ✓ Profibus-PA (Process Automation) : destiné aux applications de contrôle de process nécessitant la communication avec des équipements de terrain (capteurs, actionneurs) permettant une télé alimentation des équipements et un fonctionnement avec sécurité intrinsèque en ambiance explosive (EExi).

3.10.4 Profibus dans le système OSI

Les spécifications de la norme Profibus, définies par les normes EN 50170 et DIN 19245, portent sur les couches 7, 2 et 1 du modèle OSI (Open System Interconnection) comme le montre l'analogie du réseau Profibus avec le modèle OSI sur la figure 2. Les deux variantes DP et FMS peuvent cohabiter sur le même réseau physique car elles partagent les mêmes couches physiques et de liaison de données. L'interconnexion d'un réseau ProfibusPA avec DP est généralement assurée au travers d'une passerelle DP/PA, qui peut être totalement transparente pour le maître DP qui adresse les équipements PA comme s'ils étaient sur DP, la passerelle jouant le rôle de maître PA. Cela présente un inconvénient : la passerelle peut limiter la vitesse sur le bus DP à 45,45 kbit/s.

La couche physique, couche 1, caractérise les supports de transmission, leurs caractéristiques électrique et mécanique. Trois standards sont préconisés : RS485, fibre optique (FO) et CEI 61158-2.

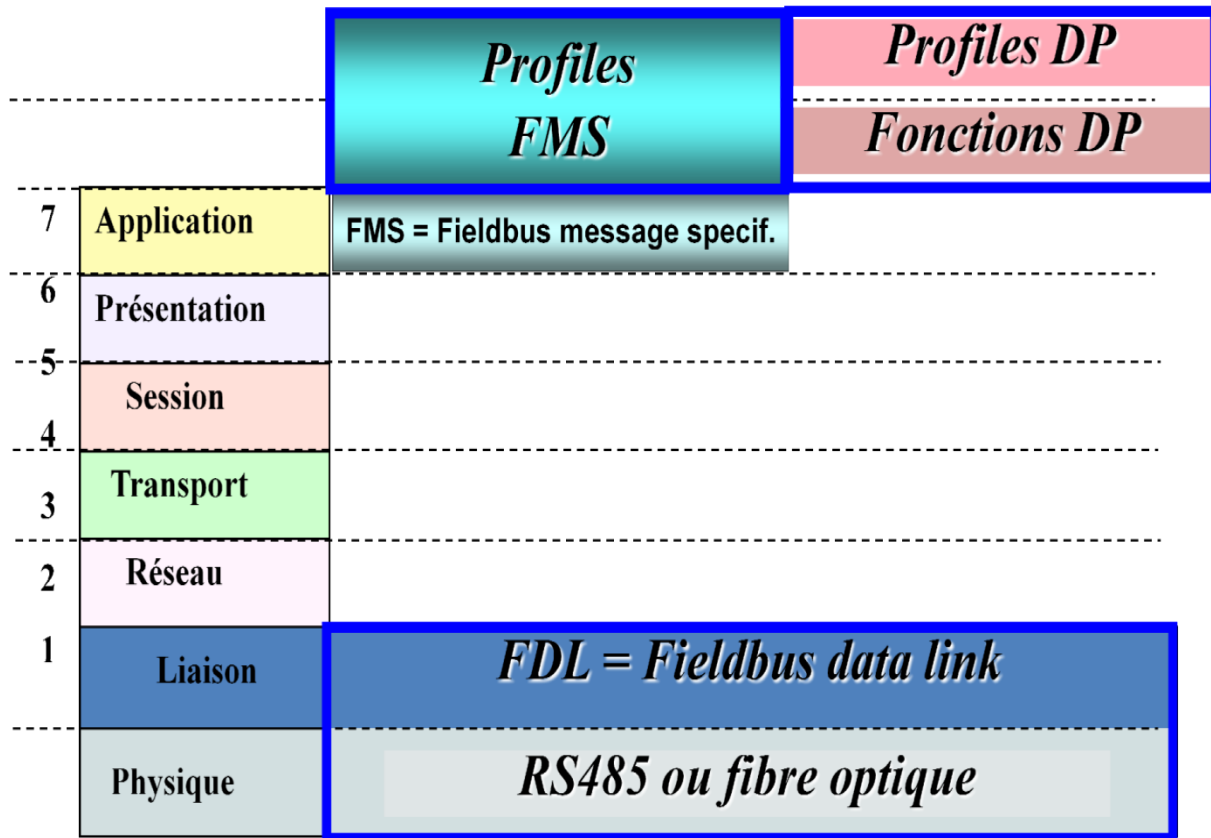


Figure 3.6 : structure OSI des trois variantes du Profibus

La couche de liaison de données, couche 2, appelée couche FDL (Fieldbus Data Link Layer), caractérise quant à elle les procédures d'accès au bus, les services de transmission supportés ainsi que la structure des télégrammes.

Les couches 3 à 6 ne sont pas implémentées par Profibus. La couche application, couche 7, définit pour sa part les fonctions accessibles à l'utilisateur en s'appuyant sur la notion d'objet de communication au travers de services de gestion d'objets FMS (Fieldbus Message Specification). Les fonctionnalités de la couche FMS constituent un sous-ensemble réduit des fonctions du standard MMS (Manufacturing Message Specification) du protocole MAP (Manufacturing Automation Protocol), optimisées pour les applications réseau de terrain, et enrichies de fonctions d'administration d'objets de communication.

La couche FMS exploite la notion d'équipement virtuel VFD (Virtual Field Device) avancé par la norme MMS [R 7 574]. Selon les variantes Profibus-DP ou Profibus-PA, des profils d'application DP ou PA assurent des services spécialisés aux applications utilisatrices.

Une interface LLI (Lower Layer Interface) est chargée d'adapter la couche 7 à la couche 2, en prenant en charge le contrôle de flux et la surveillance de la liaison définie par des relations de communication configurables. Profibus-FMS supporte des relations de communication en mode connecté nécessitant l'ouverture préalable d'une liaison (par un service Initiate) avec le destinataire avant tout échange, et un mode non connecté permettant une communication en diffusion. Une interface ALI (Application Layer Interface) réalise quant à elle l'interface de la couche 7 avec le haut de la pile OSI vers le processus d'application [1].

Par abus de langage, les variantes Profibus-FMS, DP et PA sont souvent appelées protocoles. On parle ainsi de protocole Profibus-DP, protocole Profibus-FMS et protocole Profibus-PA. Mais comme le montre la figure 2, Profibus-DP et Profibus-FMS partagent les mêmes couches 1 et 2, et seul Profibus-FMS définit des services FMS en protocole d'application.

Quant à Profibus-PA, il se distingue par une couche physique CEI 61158-2 différente, et une couche 2 implémentant un calcul de clé de contrôle différent, ce qui confère à Profibus-PA un réel titre de protocole PA. Malgré cela, il est d'usage courant (et certainement facilitant la compréhension) d'admettre cet abus de langage. Dans la suite de cet article, cette appellation abusive de protocole pourra être utilisée. [BAJ 01]

3.10.5. Principe d'accès au bus

Profibus met en œuvre un modèle de communication de type maître-esclave selon un mode d'accès au bus de nature hybride, comme le montre la figure 3. Les équipements maîtres, appelés stations actives, dirigent la transmission de données sur le bus et émettent librement des messages, sous réserve d'obtenir le droit d'accès au médium, déterminé par le passage d'un jeton.

Les équipements esclaves, appelés stations passives, sont des équipements périphériques (blocs d'entrées-sorties, vannes, entraînements et transmetteurs de mesure, etc.) qui n'ont pas

Le droit d'accès au bus. Leur action se limite à l'acquittement des messages reçus des maîtres ou à la transmission de messages en réponse à une demande des maîtres.

La nature hybride du principe d'accès au réseau implémenté par Profibus permet :

- ✓ D'une part une communication entre les stations maîtres par un mécanisme de passage de jeton sur bus, déterministe et adaptatif. La circulation du jeton est effectuée selon un anneau logique, indépendamment de la topologie bus du réseau ;
- ✓ d'autre part une communication simple de type maître-esclave entre une station maître et les équipements esclaves auxquels elle veut s'adresser.

Chaque station maître (station active) disposant du droit d'accès au bus figuré par le passage du jeton – qui est constitué d'une trame spéciale – est libre d'accéder à tout esclave (station passive) connecté au réseau. [BAJ 01]

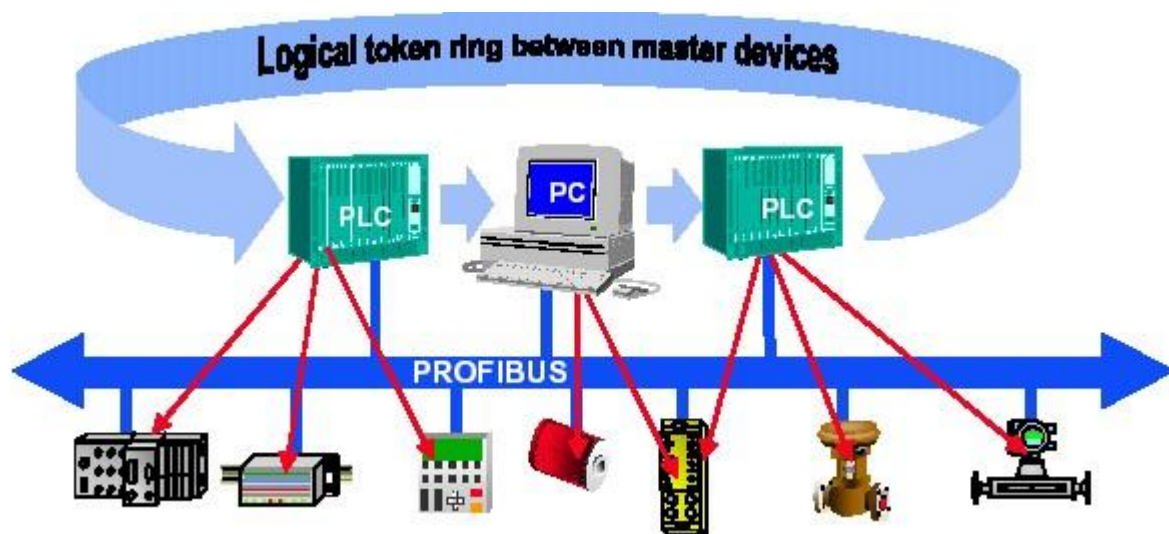
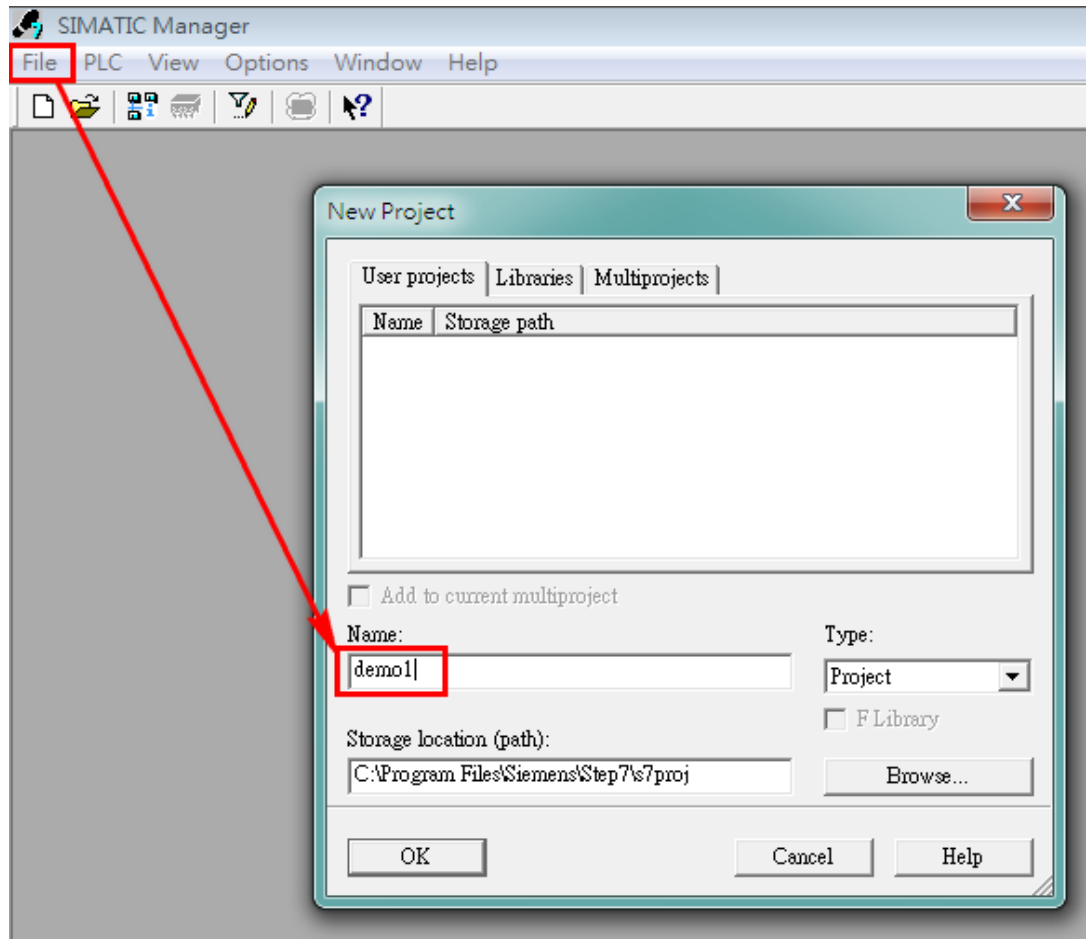


Figure 3.7 : principe hybride de gestion du bus.

3.11. Configuration API

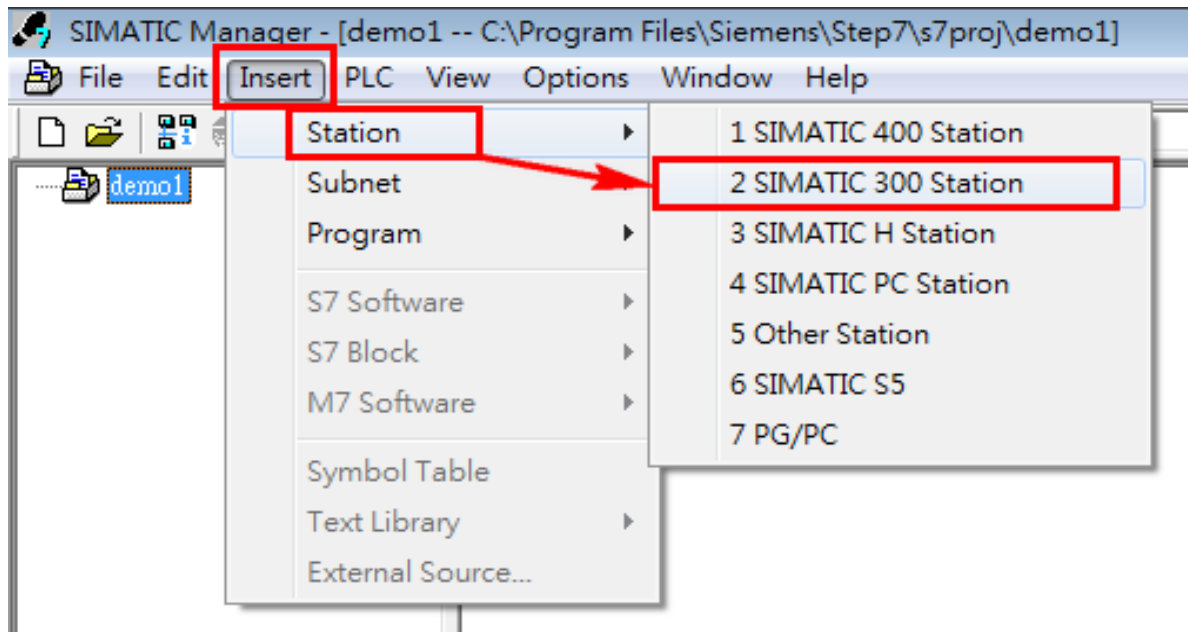
Création du projet STEP 7

On Démarre SIMATIC Manager et créez un nouveau projet en sélectionnant le menu

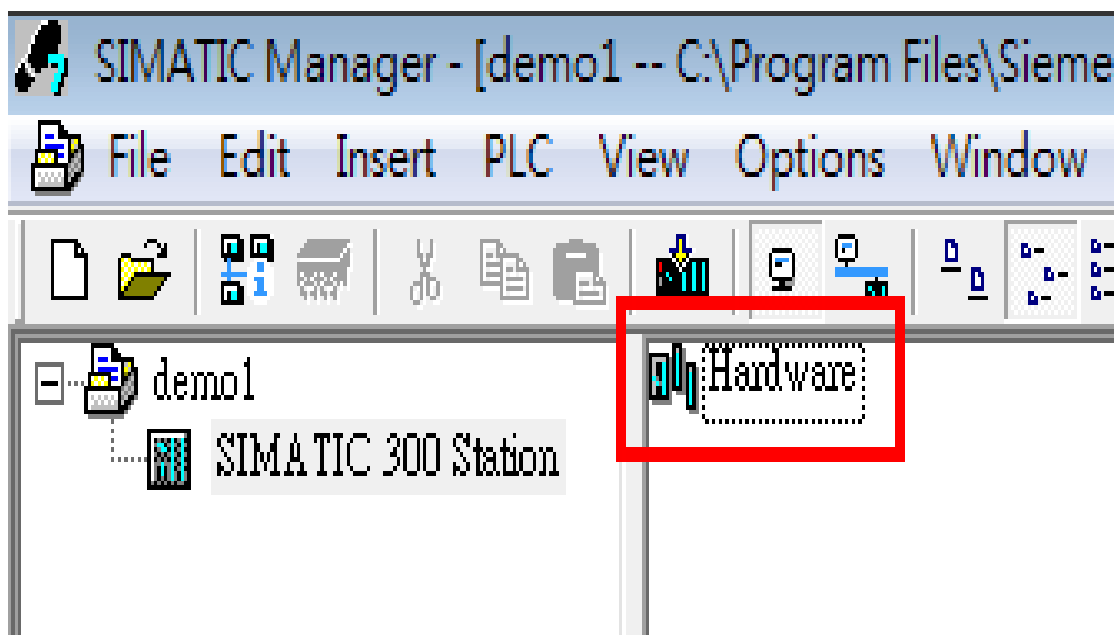


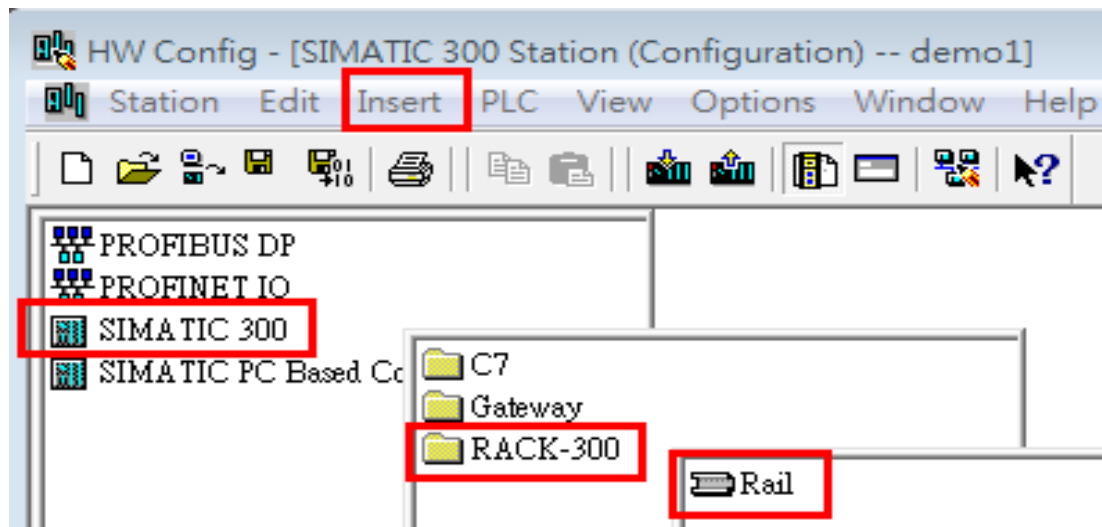
«Fichier» puis l'option «Nouveau». On attribue un nom à ce projet.

On sélectionne le menu «Insertion» puis l'option «Station» pour insérer «SIMATIC 300 Station» dans le projet.



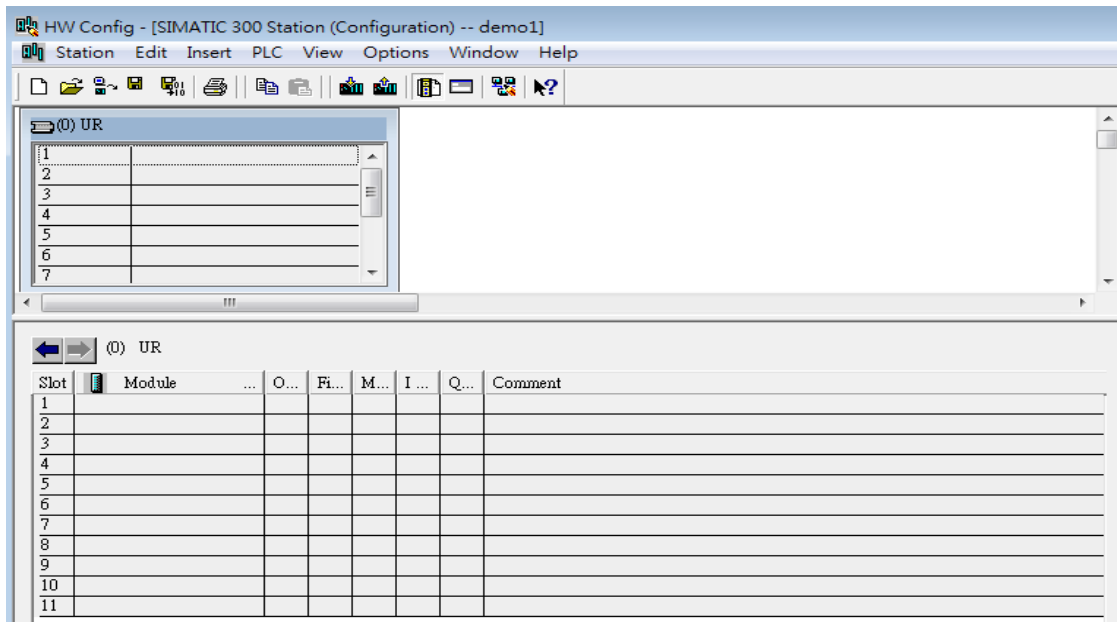
Double-clique sur l'icône «Matériel», puis on ajoute un rack à ce projet en



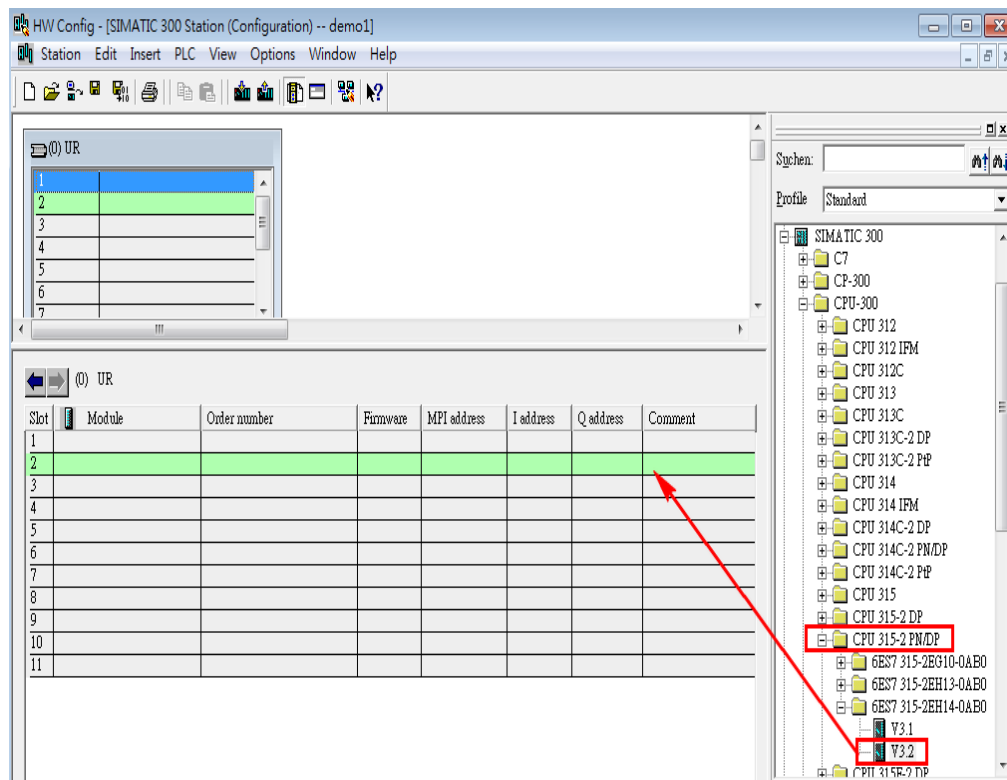


Sélectionnant le menu «Insérer» puis l'option «Insérer un objet».

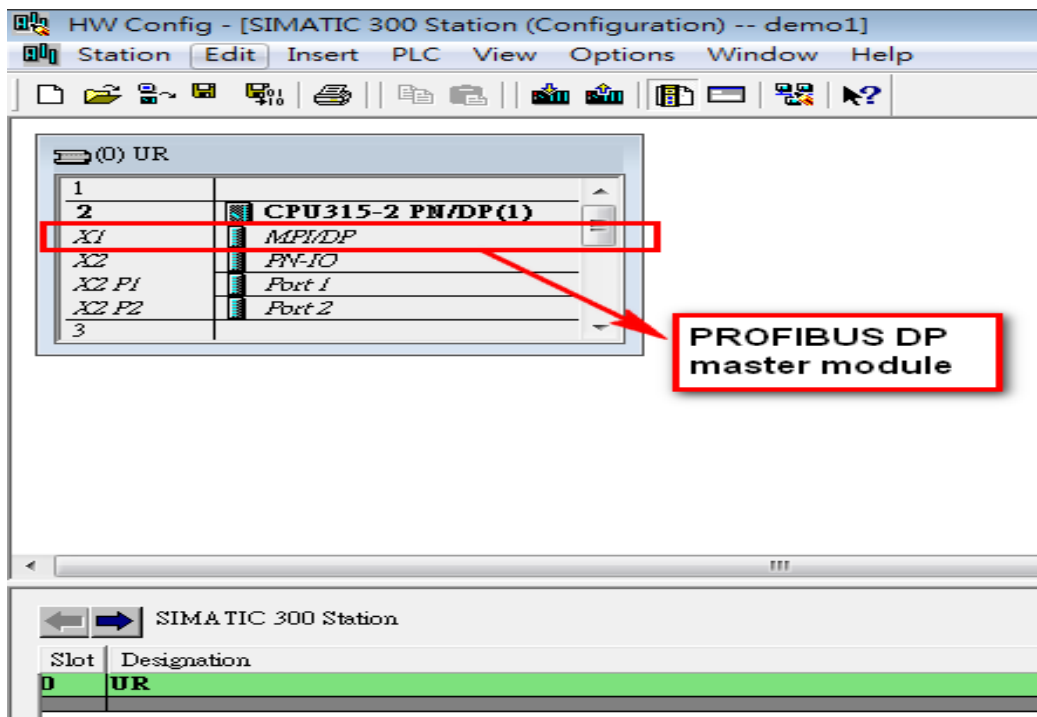
Une fois les étapes ci-dessus terminées, la fenêtre «HW Config» apparaîtra comme la figure suivante.



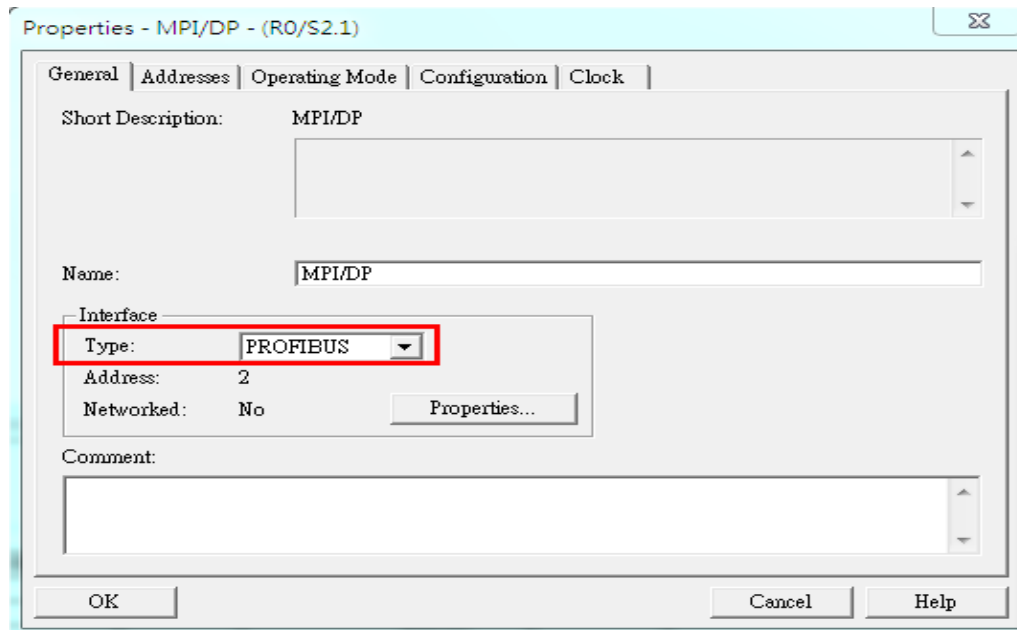
On ajoute le bon module CPU au projet STEP 7 en fonction de son modèle matériel réel. Ici, nous utilisons par exemple la CPU 315-2 PN / DP. On Sélectionne le module CPU approprié dans le menu et on fait glisser l'icône vers l'emplacement.



3.11.2 Création d'un réseau PROFIBUS

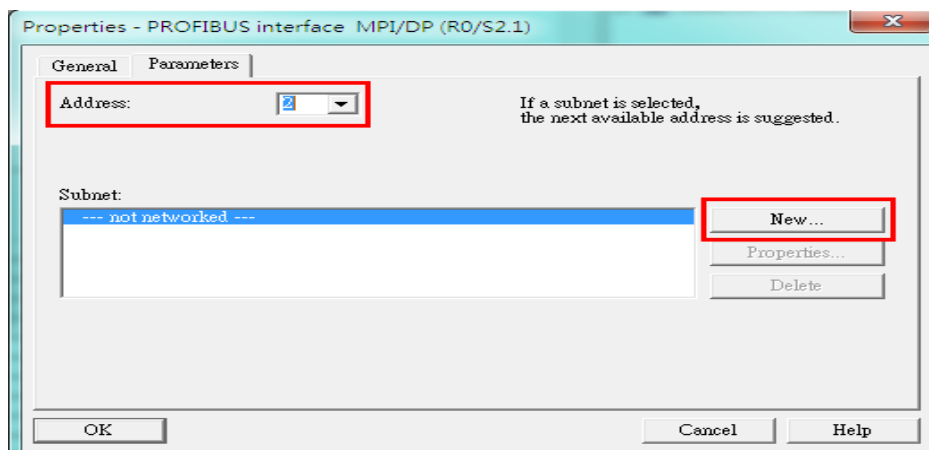


Double-clique sur le bloc «MPI / DP» pour configurer le module PROFIBUS DP.

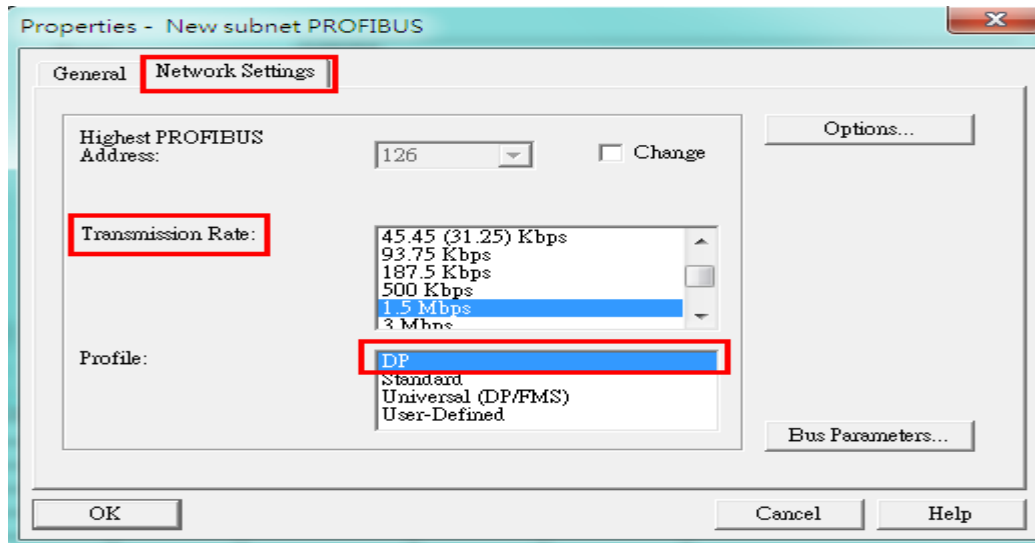


On définit le type d'interface comme PROFIBUS

On doit attribuer ici l'adresse du module maître PROFIBUS et cliquer sur le bouton

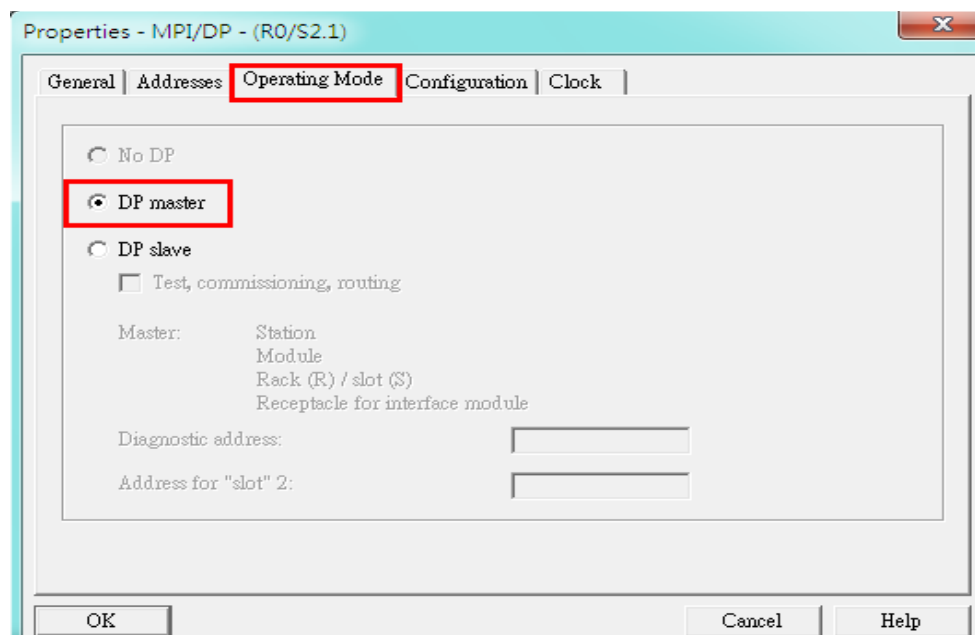


«Nouveau» pour créer un nouveau sous-réseau.

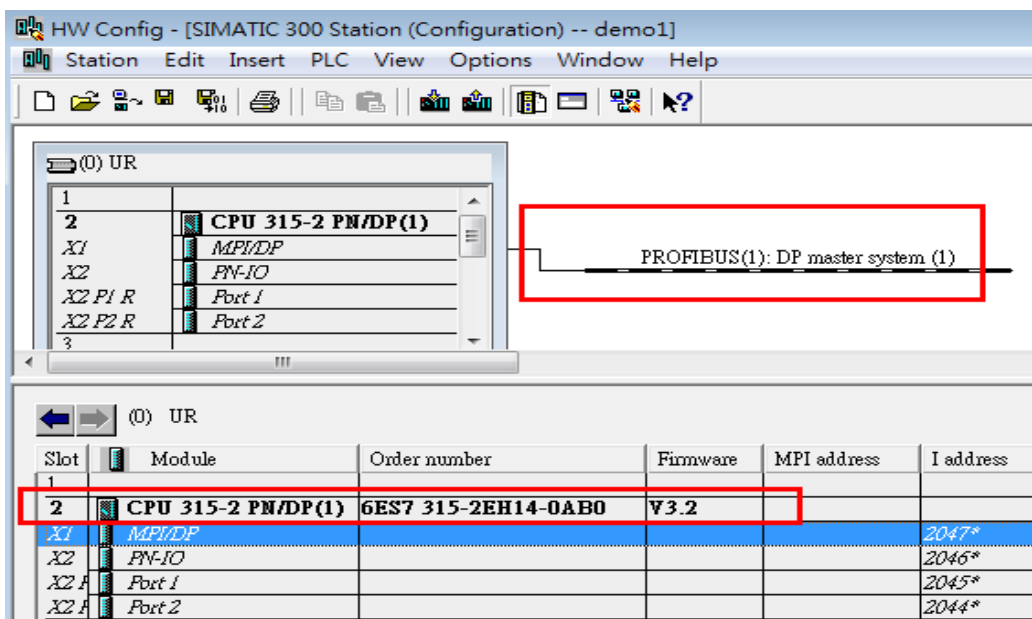
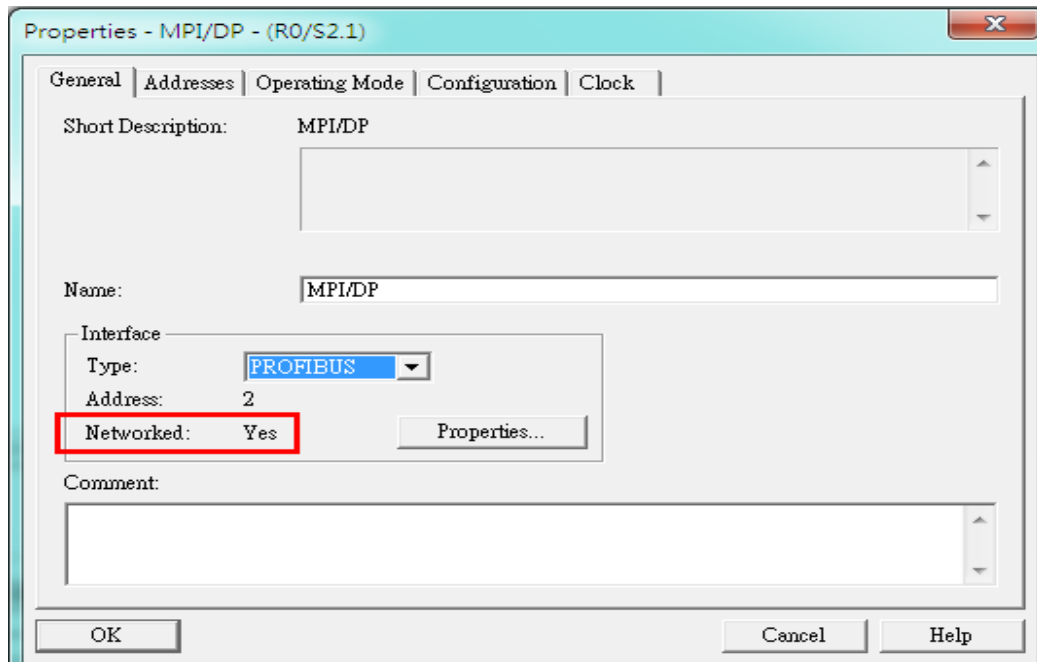


Sélectionne la vitesse de transmission appropriée pour ce sous-réseau. Le profil doit être configuré comme «DP». On Clique sur «OK» une fois ces modifications effectuées.

Passé à l'onglet «Mode de fonctionnement» et nous définissent le mode sur «Maître DP».



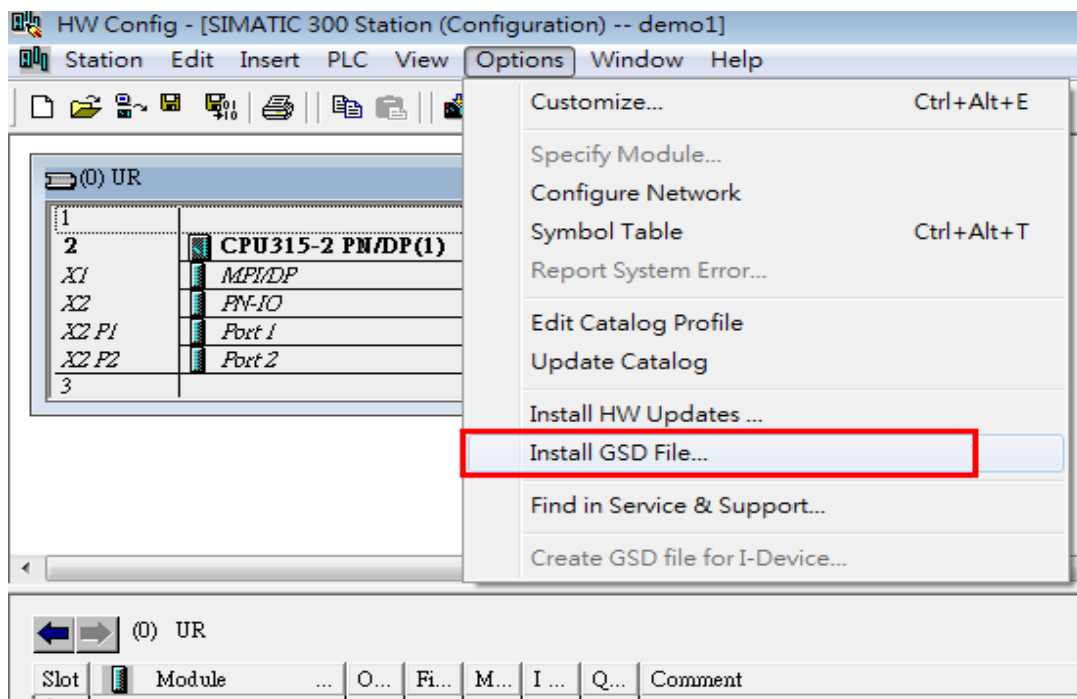
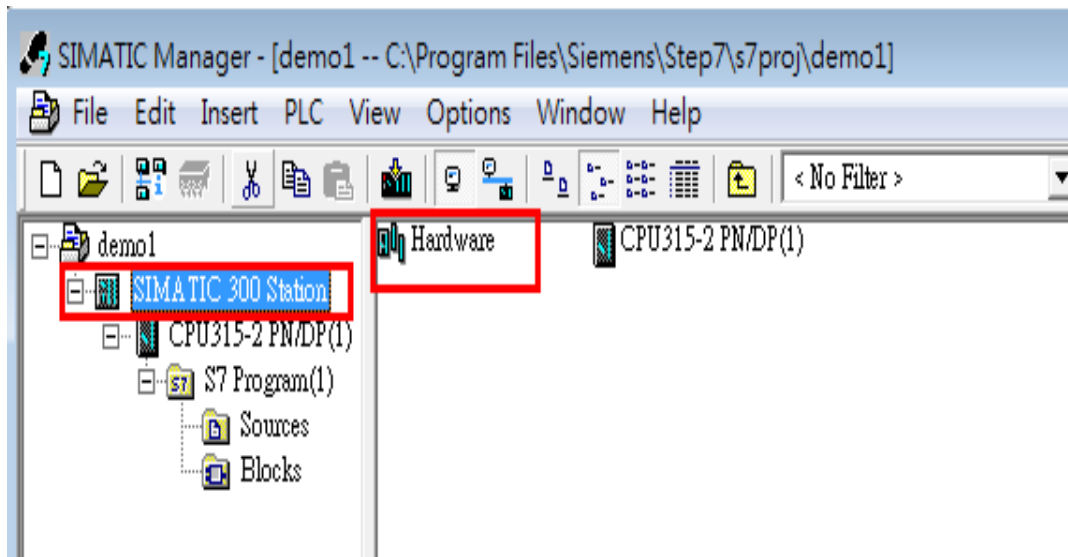
on verra le résultat comme les figures suivantes. Cela signifie que le réseau PROFIBUS est



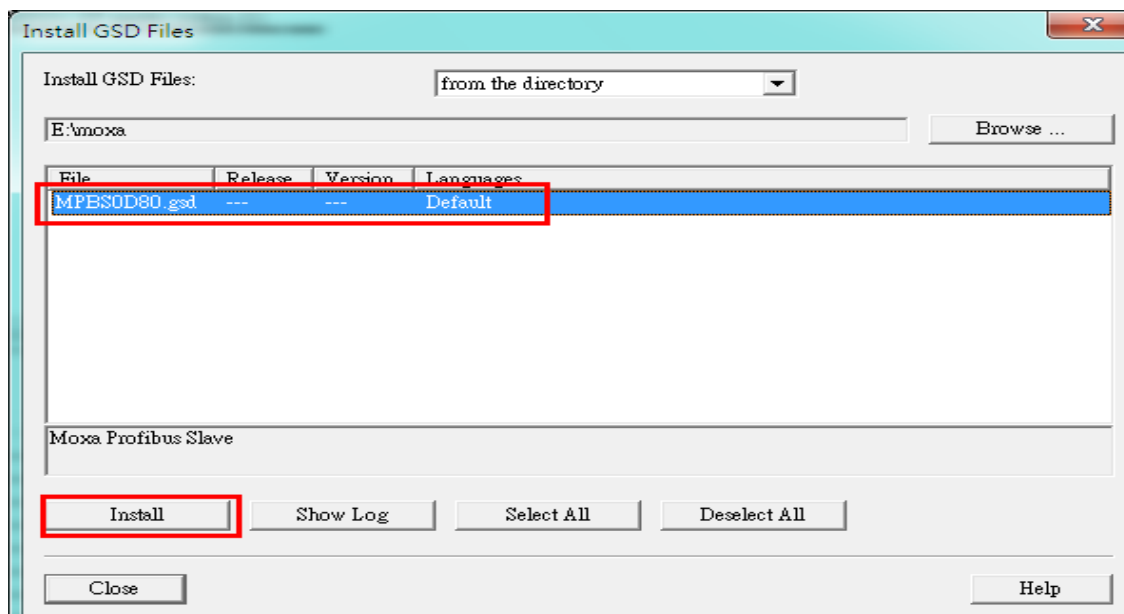
3.11.3. Installation du fichier GSD

À des fins d'ingénierie et de configuration, On installe le fichier GSD de l'appareil dans l'outil de configuration - SIMATIC Manager.

Double-clique sur le bouton «Matériel».

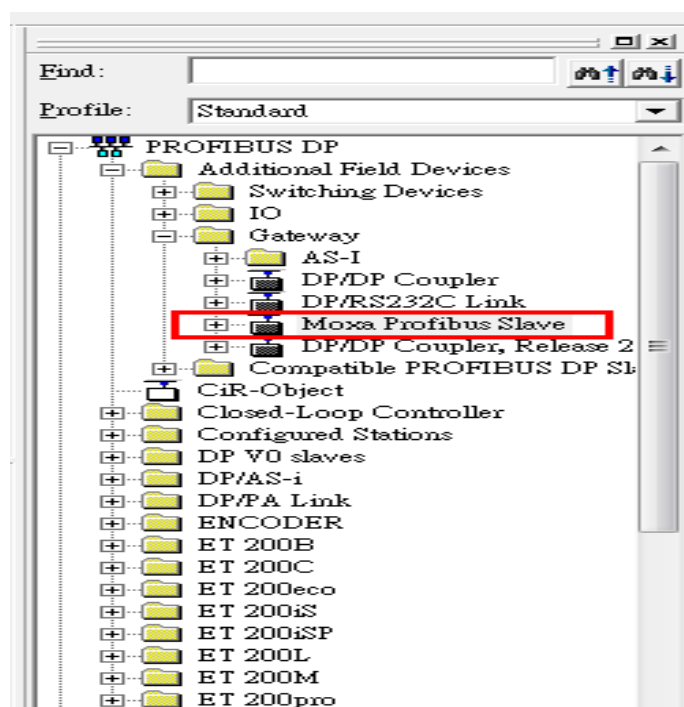


On Sélectionne «Options -> Installer le fichier GSD».



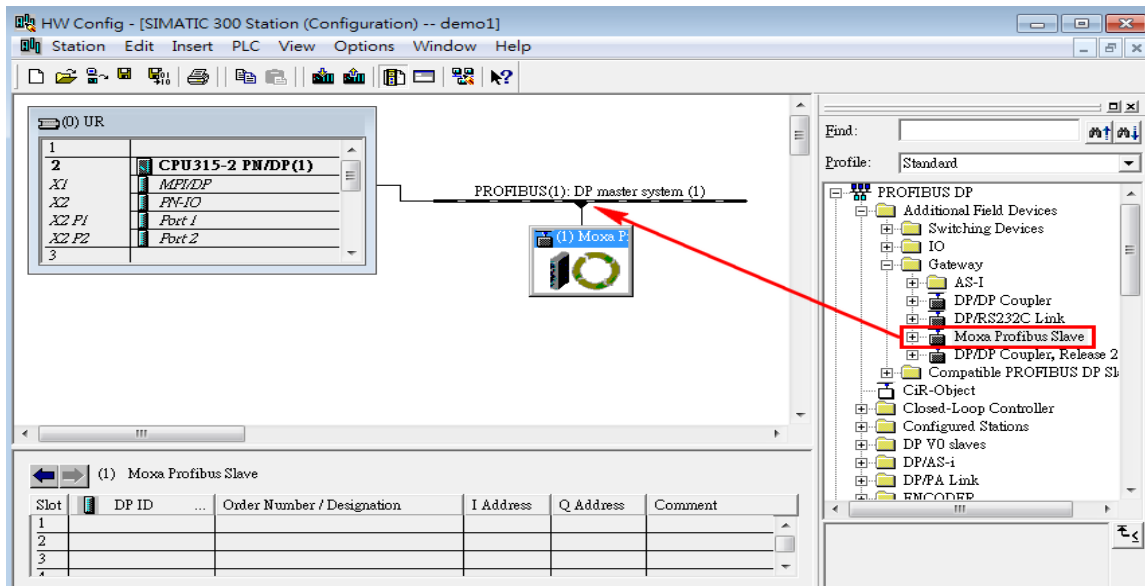
On Sélectionne le fichier GSD du module esclave Moxa PROFIBUS et clique sur le bouton «Installer».

Si le fichier GSD est installé avec succès, on trouvera «Moxa Profibus Slave» dans la liste du catalogue matériel.

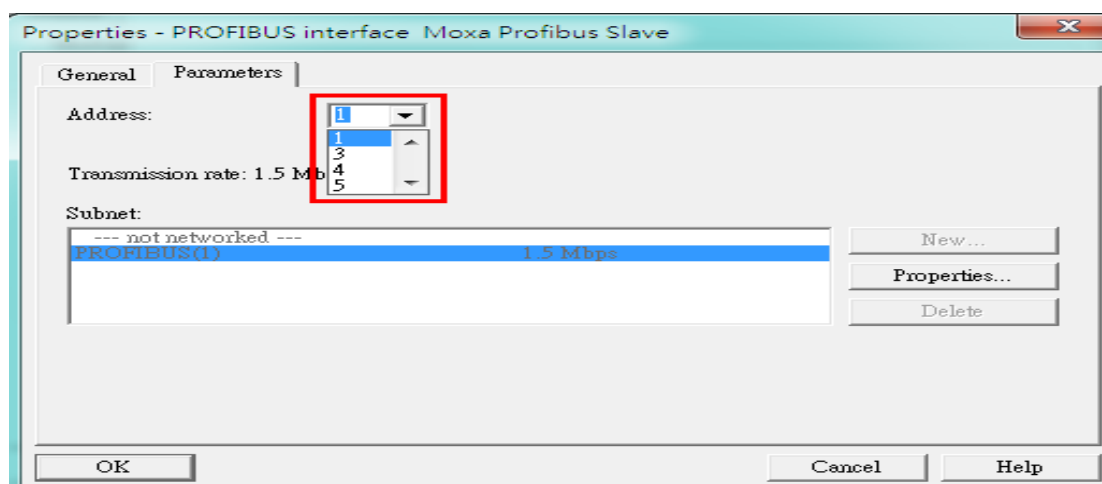
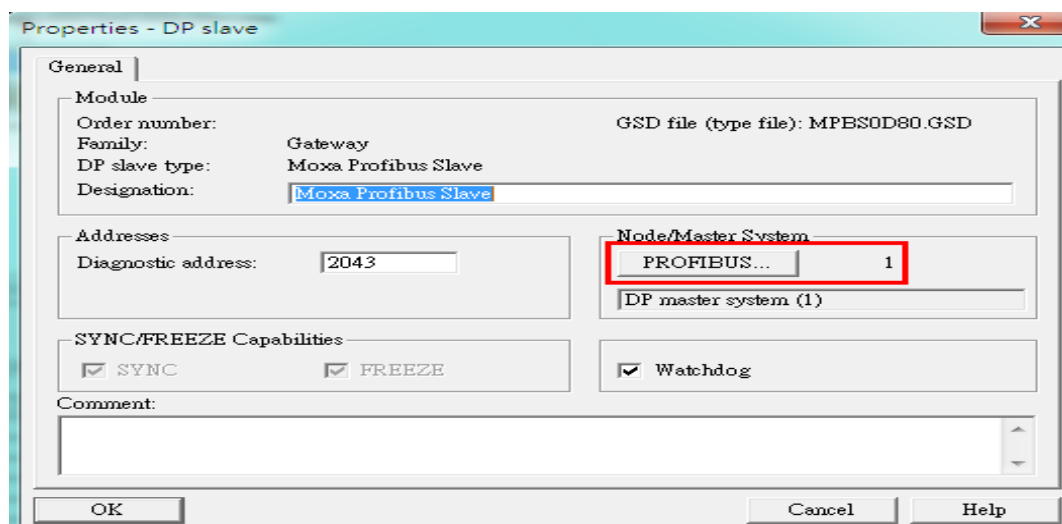


3.11.4. Configuration de l'interface PROFIBUS

On Glisse et déposez l'appareil «Moxa Profibus Slave» du catalogue vers «DP master system».

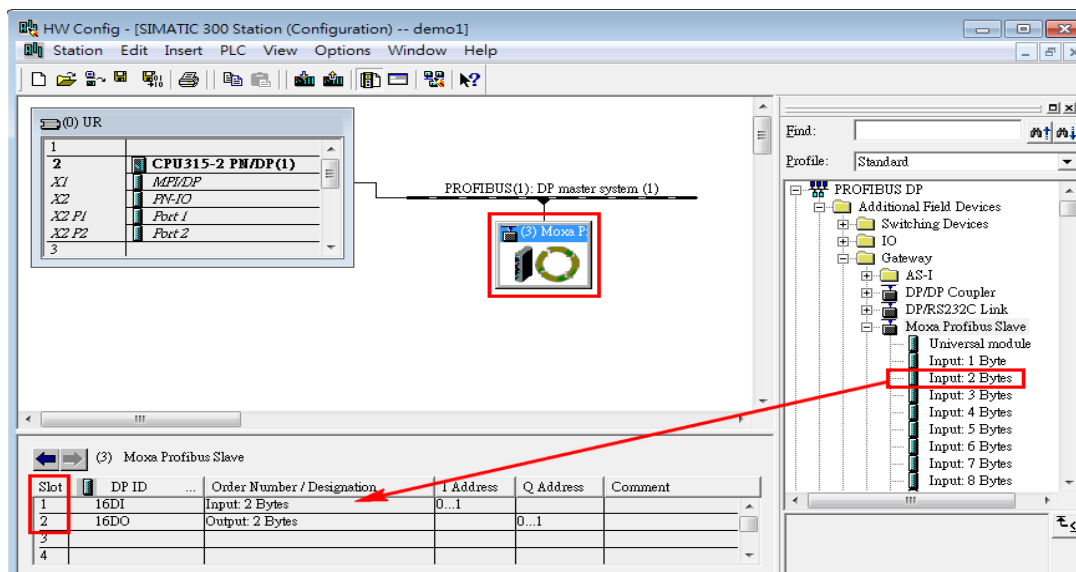


On Sélectionne l'icône «Moxa Profibus Slave» et clique avec le bouton droit de la souris pour sélectionner «Propriétés de l'objet». L'adresse PROFIBUS de l'appareil Moxa peut être configurée ici. On noter que cette valeur doit être identique à la valeur du commutateur rotatif d'adresse sur l'esclave PROFIBUS de Moxa.

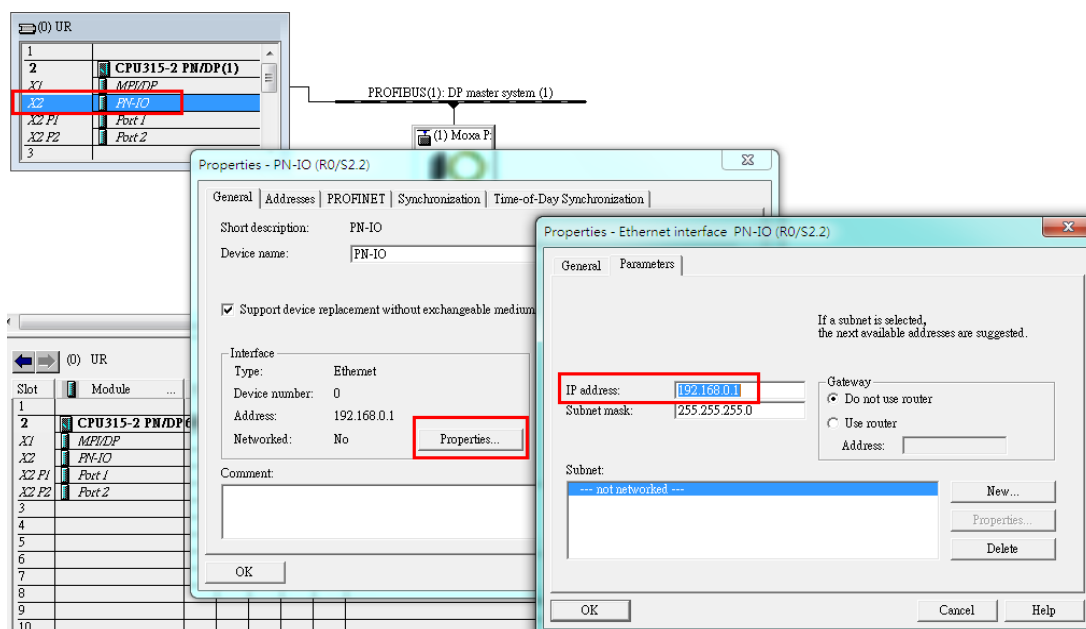


Configuration des modules d'E / S souhaités pour l'échange de données avec le maître PROFIBUS, On peut librement choisir la bonne combinaison de modules d'E / S en fonction de notre application réelle. Dans cet exemple, 2 octets d'entrée et 2 octets de sortie sont choisis.

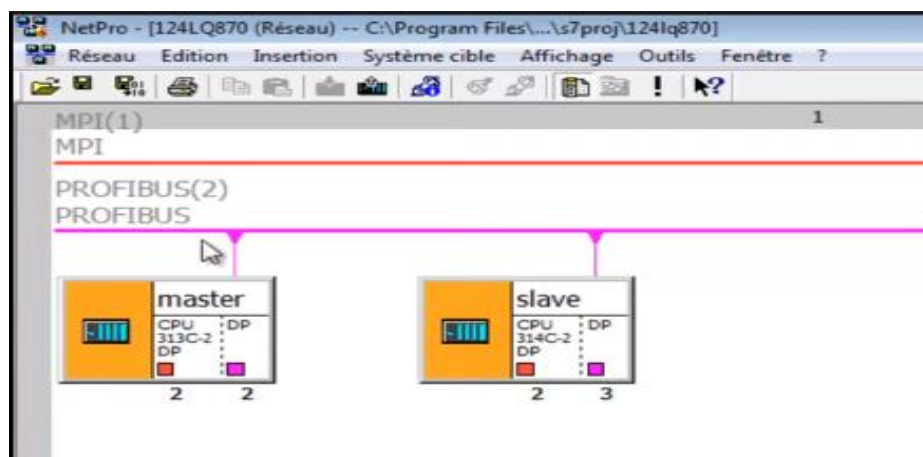
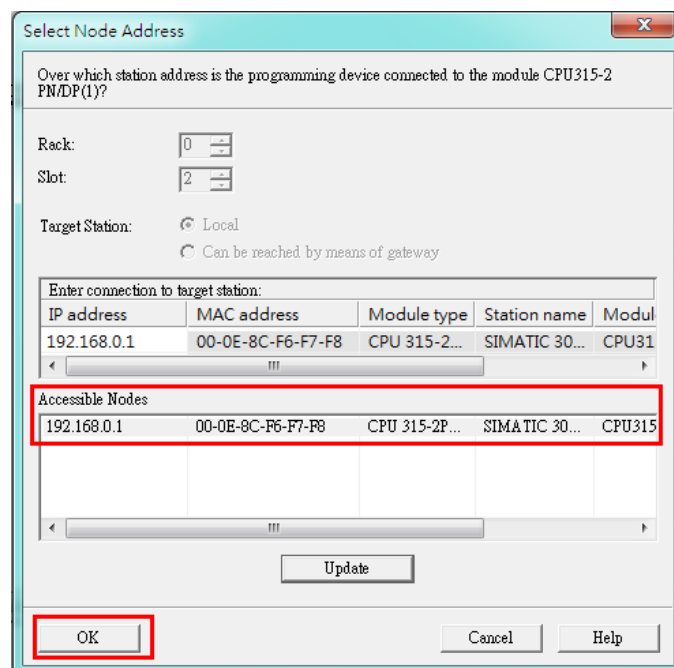
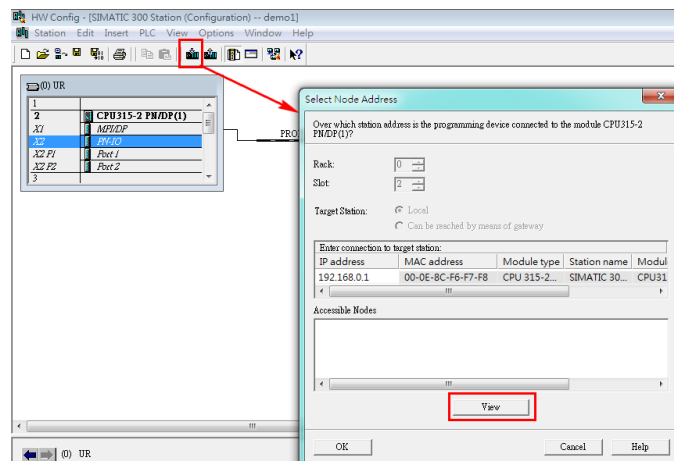
On glisse le module «Entrée: 2 octets» de la liste des modules de l'esclave Moxa Profibus vers l'emplacement 1 et «Sortie: 2 octets» vers l'emplacement 2. enregistrement ces modifications une fois toutes les configurations terminées.



L'utilisateur doit télécharger la nouvelle configuration dans la CPU 315-2 PN / DP une fois tous les paramètres correctement configurés. Avant cela, assurez-vous que la connexion Ethernet entre le PC et la CPU 315-2 PN / DP est déjà établie. L'utilisateur peut modifier l'adresse IP de la CPU 315-2 PN / DP en double-cliquant sur le bloc «PN-IO».



Cliquez sur le bouton «Télécharger dans le module» pour télécharger la configuration dans la CPU 315-2 PN / DP.



3.12. Conclusion

L'emploi de réseaux de communication dans les architectures d'automatisme industriel permet d'augmenter leur flexibilité et donc de répondre aux besoins d'adaptation des machines et des installations. Se faisant, ils obligent à des choix qui nécessitent des connaissances particulières afin d'effectuer les bonnes sélections parmi la multitude de réseaux de communication existants. Des critères simples sont applicables : ouverture, standardisation et adéquation

Profibus propose une architecture de communication ouverte et bien adaptée aux domaines majeurs d'application des réseaux industriels et des réseaux de terrain que sont l'industrie manufacturière avec Profibus-DP et Profibus-FMS, les procédés continus avec

Profibus-DP et Profibus-PA, ainsi que le bâtiment technique. Chaque version, chaque protocole FMS, DP et PA répond à des besoins spécifiques de communication dans un environnement automatisé, en reposant sur un ensemble commun de services robustes et déterministes.

Chaque automatisation requière une bonne compréhension du fonctionnement du système ainsi que l'établissement d'un modèle et ce, afin d'identifier et d'attribuer les entrées/sorties adéquates au système étudié, et la configuration de la communication entre les automates.

Le prochain chapitre sera consacré à la description de l'usine et à la modélisation des stations automatisées en utilisant un grafcet.

Conclusion

Générale

Conclusion Générale

L'automatisation d'un processus de production devient une justification du pouvoir concurrentiel de l'entreprise industrielle. En effet, la maîtrise des systèmes de contrôle commande permet aux entreprises d'améliorer la qualité des produits, d'améliorer la productivité et de sécuriser l'ensemble des équipements.

L'automate programmable industrielle (API) était considérée comme une machine séquentielle, capable de suppléer des automatismes réalisés en logique traditionnelle, en apportant toutefois de profonds bouleversements dans la manière de concevoir et d'organiser le contrôle d'un processus.

L'intégration de l'automate programmable renforce le degré de fiabilité de l'équipement et offre une très grande adaptabilité face aux évolutions de l'environnement. Aujourd'hui, l'automate programmable n'est plus seulement une machine séquentielle mais il est beaucoup plus considéré comme un calculateur de processus grâce aux énormes progrès quant à la structure de base, la qualité et la diversité des outils proposés.

Pour ce travail de fin d'études, nous avons travaillé sur l'automate de la gamme SIMATIC S7- 300 de SIEMENS, et sur le Réseaux industriel Profibus qui a été notre choix pour l'application visée, ce qui nous a appris plein de choses sur l'automatisation, ainsi qu'une expérience réelle munie d'une grande capacité d'information, astuce et secret de l'industrie, en concluant que :

L'automate programmable, de sa CPU et de tous les types des modules qui vont être utilisés.

- ✓ La mise en évidence de notre travail est basée sur le choix d'un API (S7-300) et le câble réseaux Profibus avec le logiciel de programmation STEP7.
- ✓ La communication entre un automate programmable industriel et un autres via des réseaux industriel (le réseau Profibus dans notre exemple)
- ✓ L'étude détaillée de la machine, nous a permet de toucher plusieurs disciplines l'informatique, automatisme et communication.
- ✓ Les différents langages de programmation facilitent le contrôle à partir de terminaux de programmation très simples et économiques surtout pour l'opérateur et la maintenance.
- ✓ Ce travail nous a permis aussi, non seulement d'approfondir mes connaissances en automatisme mais aussi d'acquérir une expérience extrêmement valorisante de point de vue programmation des automates programmable et de la communication en réseaux industriel

Bibliographies

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. . Perrin J., Binet F., Dumery J.J., Merlaud C., Trichard J.P., “Automatique et informatique industrielle : Bases théoriques, méthodologiques et techniques”, Nathan Technique, ISBN 2- 09-179452-X, novembre 2004.
2. « Automatisme » édition DUNOD collection agati 1993.
3. « Généralités sur les réseaux » Documents de Formation CARIP Version 2.0.0 Académie de Lyon.
4. Andre Simon. Automate programmables industriels. Edition L’ELAN. LIEGE , 1991, 147p.
5. Aperçu NCM S7 pour PROFIBUS Elément de la documentation NCM S7 pour PROFIBUS SIEMENS AG
6. C .JOSSIN, I:\TRAVAIL\AUTOM_Buts_de_l'automatisme.DOC.
7. Centre de technologie avancée. Programmation des automates S7-300 Province de Luxembourg :PIERRARD-VITRON, 20p.
8. Cergy, «Support de cours Réseau EISTI», France 2001
9. Eric Decke « Réseaux Locaux Industriels et Bus de Terrain » Janvier 2006.
10. Jebri Elies « Cours systèmes de communication» 1999/2002.
11. Manuel SIMATIC NET pour réseaux PROFIBUS SIEMENS AG
12. Pierre DUYSINX- LEMENTS DE ROBOTIQUE/ASPECTS MECANIQUES ; Ingénierie des Véhicules Terrestres ;Département PROMETHE.
13. S. Schneider « Les bus et les réseaux de terrain en automatisme industriel » Ouahid Belkacem Novembre 2002.
14. Schneider. Electric automates nano plate-forme automatisme micro. 1999, 40p.
15. SIMATIC NET NCM S7 pour Industriel Profibus, version 1, 1999
16. William Bolton. Les Automates programmables industriels. Edition DUNOD. Paris, 2010

Bibliographie

Sitoraphie :

1. <http://bts.crsa.rascal.free.fr/Automatismes/cours>
2. http://edusol.education.fr/sti/sites/edusol.education.fr/sti/files/ressources/techniques/5875/5875_la-robotique-industrielle-eduscol-2015_0.pdf, 2015, date de consultation, mars 2018.
3. http://romain.raveaux.free.fr/teaching/RR_6_terrain_v2.pdf
4. <https://cache.industry.siemens.com>
5. <https://products.electro-matic.com/industrial-automation/controllers-plc-pac/s7-300/>