



Bus de Communication et Réseaux Industriels

Cours - Automatique, Licence 3

Dr. FARES NAFA

Faculté des Sciences et de la Technologie
UNIVERSITE DE JIJEL

د. فارس نافع

Avant-propos

Dans un environnement industriel en pleine évolution ou la compétitivité est primordiale, l'automatisation des processus demeure toujours une nécessité.

En effet, les automates programmables industriels (API) qui représentent le cœur de tout système automatisé, ne cessent d'évoluer et d'intégrer les nouvelles technologies, que ça soit de point de vue hardware (architecture, connectivité,...) ou software (programmation, système de gestion, ...).

L'évolution des réseaux de télécommunication a poussé l'automatisation des processus vers les solutions connectées quel que soit le niveau d'intervention de ses éléments.

Ainsi, ce présent cours destiné aux étudiants en Licence -3- Automatique, va leur permettre en premier lieu une introduction aux réseaux informatiques et leurs spécifications. Après, les éléments nécessaires vont être amené progressivement à une meilleur perception et compréhension d'un réseau industriel et des différents protocoles de communication requis.

A travers ce support de cours, des exercices et des exemples d'application feront objet d'éclaircissement à toute spécification analysée.

Sommaire

1.	ARCHITECTURE DES RESEAUX	1
1.1.	RESEAU DE COMMUNICATION	1
1.2.	RESEAU INFORMATIQUE	1
1.3.	LA STRUCTURATION PHYSIQUE D'UN RESEAU	1
1.4.	CLASSIFICATION DES RESEAUX	1
1.4.1.	PERSONAL AREA NETWORK (PAN)	1
1.4.2.	LOCAL AREA NETWORK (LAN)	1
1.4.3.	METROPOLITAN AREA NETWORK (MAN)	2
1.4.4.	WIDE AREA NETWORK (WAN)	2
1.4.5.	GLOBAL AREA NETWORK (GAN)	3
1.4.6.	VIRTUAL PRIVATE NETWORK (VPN)	3
1.4.7.	D'AUTRES ES CRITERES DE CLASSIFICATION D'UN RESEAU	3
1.5.	TOPOLOGIES	4
1.5.1.	LA TOPOLOGIE PHYSIQUE	4
1.5.1.1.	TOPOLOGIE BUS	4
1.5.1.2.	TOPOLOGIE ETOILE	4
1.5.1.3.	TOPOLOGIE EN ANNEAU	5
1.5.1.4.	LA TOPOLOGIE EN ARBRE	5
1.5.1.5.	LA TOPOLOGIE MAILLEE	5
1.5.2.	LA TOPOLOGIE LOGIQUE	6
1.5.2.1.	MODE DE DIFFUSION (PAR EXEMPLE TOPOLOGIE EN BUS OU EN ANNEAU)	6
1.5.2.2.	MODE POINT A POINT (PAR EXEMPLE TOPOLOGIE EN ETOILE OU MAILLEE)	6
1.6.	ARCHITECTURE DES RESEAUX : MODELE OSI DE L'ISO	6
1.6.1.	INTRODUCTION	6
1.6.2.	LES DIFFERENTES COUCHES DU MODELE	7
1.6.2.1.	LA COUCHE PHYSIQUE	7
1.6.2.2.	LA COUCHE LIAISON DE DONNEES	7
1.6.2.3.	LA COUCHE RESEAU	7
1.6.2.4.	LA COUCHE TRANSPORT	7
1.6.2.5.	LA COUCHE SESSION	7
1.6.2.6.	LA COUCHE PRESENTATION	7
1.6.2.7.	LA COUCHE APPLICATION	8
1.6.3.	EXEMPLE- INTERNET	8
1.6.4.	QUELQUES PROTOCOLES	8
1.7.	LES EQUIPEMENTS D'INTERCONNEXION DANS UN RESEAU	9
1.8.	RESEAU ETHERNET ET INTERNET, ET ADRESSAGE IP	10
1.8.1.	ORGANISATION ET PARAMETRES DE CONFIGURATION D'UNE LIAISON	10
1.8.2.	ADRESSE IP (INTERNET PROTOCOLE) D'UNE MACHINE DANS UN RESEAU	11
1.8.3.	AFFECTATION DES ADRESSES IP	12
1.8.4.	CLASSES D'ADRESSES POUR UN RESEAU LOCAL	12

1.8.5.	MASQUE DE SOUS RESEAU	12
1.8.6.	EXEMPLE D'UN RESEAU LOCAL ETHERNET (LAN) RELIE A INTERNET (WAN)	13
1.8.6.1.	TAILLE D'UN RESEAU IPV4	14
1.8.6.2.	ADRESSES IPV4 INTERDITES	14
1.8.7.	LE DECOUPAGE D'UNE CLASSE EN SOUS-RESEAUX	15
1.8.7.1.	DECOUPAGE EN SOUS-RESEAU	15
1.8.8.	ADRESSE MAC	16
1.8.8.1.	QUELLE EST L'UTILITE D'UNE ADRESSE MAC ?	17
1.8.8.2.	ADRESSAGE IP ET MAC, QUELLE DIFFERENCE ?	17
1.8.9.	LE RESEAU ETHERNET	17
1.9.	ORGANISATION DU RESEAU	17
1.9.1.	LE RESEAU CLIENT/SERVEUR	18
1.9.2.	LE RESEAU POSTE A POSTE (PEER TO PEER)	18
1.10.	LES TRANSMISSIONS DANS LES RESEAUX	18
1.10.1.	TRANSMISSION EN BANDE DE BASE	18
1.10.2.	TRANSMISSION PAR MODULATION	19
1.11.	TYPE DE TRANSMISSION	20
1.11.1.	TRANSMISSION SERIE	21
1.11.2.	TRANSMISSION PARALLELE	21
2.	BUS DE TERRAIN ET RESEAUX LOCAUX INDUSTRIELS	18
2.1.	INTRODUCTION	18
2.2.	L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL	18
2.3.	LES AUTOMATISMES CENTRALISES	19
2.4.	LES AUTOMATISMES DECENTRALISES	19
2.5.	RESEAUX DE TERRAIN	19
2.6.	LE CONCEPT DU CIM (COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING)	20
2.6.1.	DEFINITION	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.6.2.	LA PYRAMIDE DU CIM ET ARCHITECTURE DU RESEAU INDUTRIEL	20
2.7.	CARACTERISTIQUES D'UN RLI	23
2.7.1.	LA SUBDIVISION USINE/ATELIER/ TERRAIN.	23
2.7.2.	CARACTERISTIQUES DU TRAFIC	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.7.3.	QUALITES REQUISES	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
2.7.4.	SERVICES SPECIFIQUES	24
2.7.5.	CARACTERISTIQUES DU TRAFIC	24
2.7.6.	QUALITES REQUISES	25
2.8.	LES RESEAUX LOCAUX INDUSTRIELS (RLI) ET LE MODELE OSI	25
2.9.	CLASSIFICATION DES RLI	26
2.10.	EXEMPLE DE TYPES DE RESEAUX INDUSTRIELS	26
2.11.	LE SUPPORT PHYSIQUE DE COMMUNICATION (LE MEDIA)	27
2.11.1.	LE CABLE COAXIAL	27
2.11.2.	LA PAIRE TORSADEE	27
2.11.3.	LA FIBRE OPTIQUE	28
2.12.	LES METHODES D'ACCES	28
2.12.1.	MAITRE ESCLAVE	28
2.12.2.	ACCES ALEATOIRE	28
2.12.3.	ACCES PAR JETON	29
2.12.4.	CSMA/CA (CARRIER SENSE MULTIPLE ACCESS / COLLISION AVOIDANCE)	29
2.12.5.	METHODE CSMA / DCR (DETERMINISTIC COLLISION RESOLUTION)	29
3.	BUS CAN (CONTROLLER AREA NETWORK)	30
3.1.	BUS CAN ET MODELE OSI	30

3.2.	LA COUCHE PHYSIQUE		30
3.2.1.	TOPOLOGIE DU BUS		31
3.2.2.	CODAGE NRZ : BITS DOMINANTS ET RECESSIFS		31
3.2.3.	LE BIT STUFFING		31
3.2.4.	LE BIT TIMING		32
3.2.5.	BIT TIMING : LECTURE D'UN BIT		32
3.2.6.	LONGUEUR DU BUS ET DEBIT		32
3.2.7.	SUPPORT PHYSIQUE CAN NORME ISO 11898-2		32
3.2.8.	TYPES DE NOEUDS CAN		33
3.3.	TRAMES CAN		33
3.3.1.	STRUCTURE GENERALE D'UNE TRAME CAN		33
3.3.2.	TRAMES DU BUS CAN		33
3.3.3.	TRAME DE DONNEES (DATA FRAME)		34
	LE CHAMPS CRC EST COMPOSE DE LA SEQUENCE DE CRC SUR 15 BITS SUIVI DU CRC DELIMITER (1 BIT RECESSIF) :		34
3.3.4.	TRAME DE REQUETE		34
3.3.5.	METHODE D'ACCES MAC		35
3.3.5.1.	LA METHODE D'ARBITRAGE	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
3.3.5.2.	EXEMPLE D'ARBITRAGE	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
3.3.5.3.	CHAMPS D'ARBITRAGE	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
3.3.5.4.	LA GESTION DES ERREURS		35
3.3.5.5.	TRAMES D'ERREURS		35
3.4.	LE BUS CAN 2.0B		36
3.4.1.	FORMAT DES TRAMES		36
3.4.2.	LES DEUX TYPES CAN		36
3.4.2.1.	NIVEAUX DE TENSION ET ETATS LOGIQUES DU BUS CAN		37
3.4.2.2.	INTERET DE LA LIAISON DIFFERENTIELLE		37
3.5.	EXEMPLE DU BUS CAN AUTOMOBILE		37
4.	BUS DE TERRAIN AS-I - INTERFACE ACTIONNEURS CAPTEURS		39
4.1.	INTRODUCTION		39
4.2.	POSITIONNEMENT DE L'AS-I		39
4.3.	PRINCIPAUX AVANTAGES		40
4.4.	CARACTERISTIQUES TECHNIQUES		40
4.4.1.	COUCHE PHYSIQUE		40
4.4.2.	COUCHE LIAISON ET PROTOCOLE		40
4.4.3.	DEPLOIEMENT DU RESEAU		41
4.4.4.	TOPOLOGIE		41
4.4.5.	COMPOSANTS D'INFRASTRUCTURE		41
4.4.6.	EXEMPLE D'ACCESSOIRES		42
4.4.7.	EXTENSION DU RESEAU		42
4.4.8.	CODAGE APM (ALTERNATE PULSE MODULATION)		44
4.4.9.	MAITRE AS-I		45
4.4.10.	ESCLAVES AS-I		48
4.4.11.	ADRESSAGE DES STATIONS		48
4.4.12.	ADRESSAGE ETENDU		48
4.5.	LES PROFILS DES COMPOSANTS AS-I		48
4.5.1.	LES PROFILS DU MAITRE		49
4.5.2.	- PROFILS DES ESCLAVES		49
4.5.3.	PROFIL DE COMMUNICATION	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
4.5.3.1.	TEMPS DE REPONSE DU RESEAU AS-I	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.	
4.5.4.	CAS D'UTILISATION D'UN MAITRE COUPLEUR-AUTOMATE	ERROR!	
	BOOKMARK NOT DEFINED.		

4.5.5.	CAS D'UTILISATION D'UN MAITRE PASSERELLE	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
4.6.	LA COUCHE 2 : LIAISON DE DONNEES	50
4.6.1.	METHODE D'ACCES	50
4.6.2.	TRAMES AS-I	50
4.6.3.	LES TRANSACTIONS COMBINEES CTTX	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
4.6.4.	LES PERFORMANCES D'UNE SOLUTION GLOBALE D'AUTOMATISME	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
4.7.	AS-I SAFETY AT WORK	52
4.7.1.	PRINCIPES DE BASE	52
4.7.2.	ESCLAVES DE SECURITE	52
4.7.3.	MONITEUR DE SECURITE	52
4.7.4.	TEMPS DE REPONSE	53
4.7.5.	MAINTENANCE	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
4.8.	FICHE TECHNIQUE DU PROTOCOLE AS-I	53
5.	PROFIBUS	76
5.1.	INTRODUCTION	76
5.1.1.	PROFILS DE COMMUNICATION	76
5.1.2.	SUPPORTS PHYSIQUES	76
5.2.	LES FONDEMENTS DE PROFIBUS	77
5.2.1.	ARCHITECTURE DE COMMUNICATION	78
5.2.2.	TRANSMISSION RS 485	78
5.2.3.	TRANSMISSION CEI 1158-2	80
5.2.3.1.	TOPOLOGIE	80
5.2.4.	TRANSMISSION OPTIQUE	81
5.2.4.1.	TOPOLOGIE	81
5.2.5.	METHODE D'ACCES SUR PROFIBUS	82
5.3.	LE PROFIL DE COMMUNICATION DP	83
5.3.1.	FONCTIONS PROFIBUS DP DE BASE	83
5.3.1.1.	CARACTERISTIQUES FONDAMENTALES	84
5.3.1.2.	VITESSE	84
5.3.1.3.	DIAGNOSTIC	84
5.3.1.4.	CONFIGURATION DU SYSTEME ET TYPES D'EQUIPEMENT	84
5.3.1.5.	ADRESSAGE DES DONNEES PAR NUMERO D'EMPLACEMENT ET INDEX	88
5.4.	PROFIL FMS	89
5.4.1.	SERVICES FMS	90
5.5.	LES PROFILS APPLICATIFS	91
5.5.1.	6AUTOMATISATION DES PROCEDES (PA)	91
5.5.2.	LA COMMUNICATION SUR PA	92
5.5.3.	LES ASPECTS APPLICATIFS DE PA	92
5.5.4.	LES BLOCS DE FONCTIONS DE PA	92
5.5.5.	PROFIL SECURITE (PROFISAFE)	93
5.6.	PROFINET	94
5.6.1.	APPAREILS DE TERRAIN SUR PROFINET IO	94
5.6.2.	PROFINET ET LE MODELE OSI	94
5.6.3.	PROFINET ET LA PYRAMIDE CIM	95
5.6.4.	COMMUNICATION MACHINE-TO-MACHINE AVEC PROFINET CBA	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

Dr.F.Natafa

1

Architecture des réseaux

1. Architecture des réseaux

1.1. Réseau de communication

Un réseau de communication est l'ensemble des ressources matériels et logiciels relatif à la transmission et à l'échange d'information entre différentes entités.

1.2. Réseau informatique

Un **réseau informatique** est un ensemble d'équipements informatiques reliés entre eux pour échanger des informations dans un certain domaine géographique.

Cet ensemble comprend au moins un support de transmission pour l'acheminement des signaux, et de protocoles de communication.

Un réseau connecte des machines certes, mais il permet surtout la communication entre les tâches qui s'exécutent sur les machines.

1.3. La structuration physique d'un réseau

Il y en a trois types d'éléments :

- Les supports de communication (câbles, fibres, etc.)
- Les équipements d'interconnexion (ex : routeurs, switch, hub, etc.)
- Les équipements terminaux (ordinateurs, stations, API, capteurs, actionneurs, ...)

1.4. Classification des réseaux

Il est possible selon la taille et la portée du réseau de différencier et de catégoriser les réseaux. Chaque type de réseau a été conçu pour des domaines d'application particulière, et est basé sur des techniques et des normes propres apportant différents avantages et limites. On distingue plusieurs catégories de réseaux :

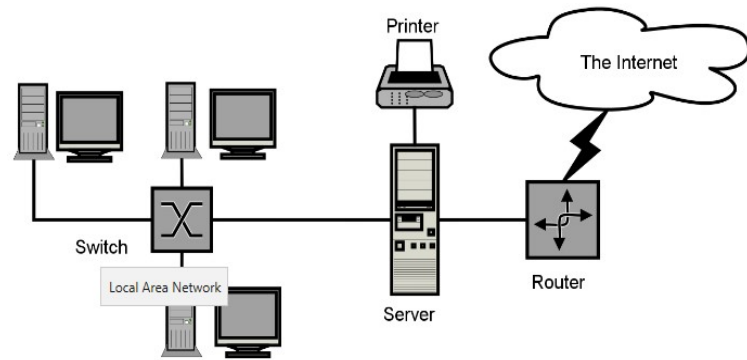
1.4.1. Personal Area Network (PAN)

C'est pour permettre l'échange de données des appareils mobiles comme les smartphones, tablettes, ordinateurs portables ...etc. On parle aussi de du **réseau personnel sans fil (WPAN pour Wireless Personal Area Network)** qui se repose sur des technologies comme le Bluetooth, USB sans fil, INSTEON, IrDA, ZigBee ou Z-Wave. Les WPAN et les PAN couvrent généralement quelques mètres et ne sont pas adaptés pour connecter des appareils se trouvant dans des pièces ou bâtiments différents.

1.4.2. Local Area Network (LAN)

Un regroupement d'ordinateurs sur un réseau forme ce qu'on appelle réseau local ou **LAN (acronyme de Local Area Network)**. Un LAN peut relier deux ordinateurs d'une maison ou plusieurs centaines d'appareils au sein d'une entreprise. La transmission de données est réalisée sur la base de câbles de cuivre ou via des câbles de fibre optique.

Figure I.1- Réseau LAN



Dans un réseau local, il existe d'autres composants supplémentaires, tels que des concentrateurs (concentrateurs), des ponts (ponts) ou des commutateurs (commutateurs de réseau), qui sont essentiels et agissent ainsi comme des éléments de couplage et des nœuds de distribution. Si le LAN est basé sur le sans fil, il est appelé **WLAN** (Wireless Local Area Network) ou Wireless Local Area Network.

1.4.3. Metropolitan Area Network (MAN)

Un réseau métropolitain (MAN) ou réseau métropolitain est un réseau de communication à large bande qui connecte plusieurs réseaux locaux à proximité géographique. Il s'agit généralement de différentes succursales d'une entreprise, reliées par des lignes louées au vaste réseau.



Figure I.2- Réseau MAN

1.4.4. Wide Area Network (WAN)

Un réseau métropolitain relie des zones rurales ou urbaines proches les unes des autres, tandis qu'un **WAN (réseau étendu)** ou réseau étendu couvre de vastes zones géographiques à l'échelle nationale ou continentale. Les WAN appartiennent généralement à des organisations ou à des entreprises et sont donc exploités ou loués par des particuliers.

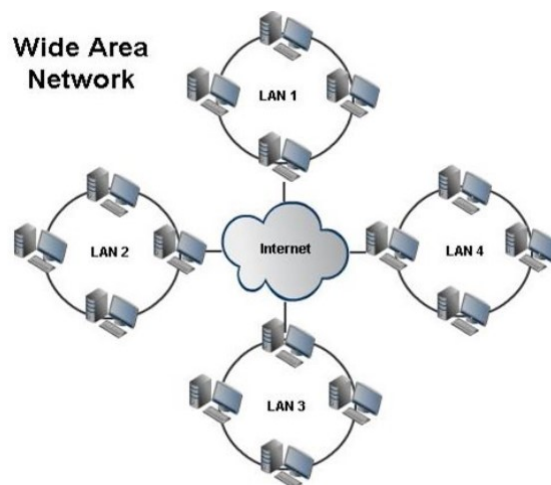


Figure I.3- Réseau MAN

1.4.5. Global Area Network (GAN)

Un réseau international comme Internet est aussi appelé **GAN** (*Global Area Network*). Les entreprises actives à l'échelle mondiale disposent également de réseaux isolés couvrant plusieurs WAN, connectant les ordinateurs de l'entreprise dans le monde entier.

1.4.6. Virtual Private Network (VPN)

Un VPN (Virtual Private Network) ou réseau privé virtuel est un **réseau de communication virtuel** qui exploite la plateforme hardware d'un réseau pour relier et logiquement les systèmes IT. Il englobe en générale tout type de réseau susmentionné. Cependant **Internet est le moyen de transmission le plus généralement utilisé**. Les données sont transmises au sein d'un tunnel virtuel qui est déployé entre un client VPN et un serveur VPN.

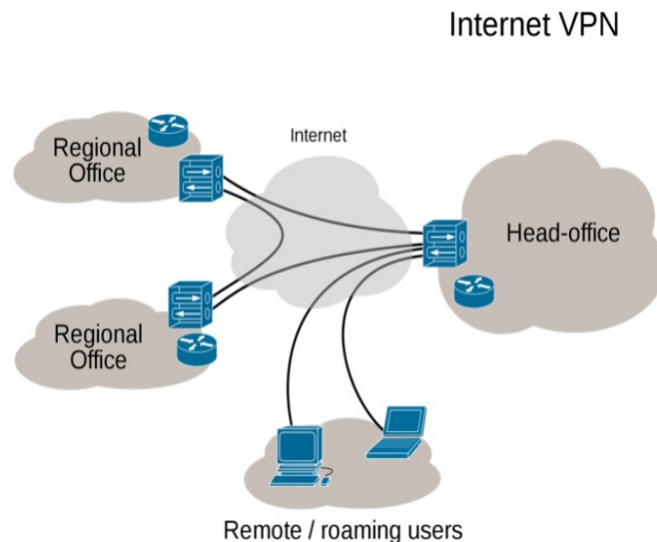


Figure I.4- Réseau MAN

1.4.7. D'autres critères de classification d'un réseau

- **L'ouverture**
 - **Les réseaux privés internes** à l'intérieur d'une entreprise : **Intranet**
 - **Les réseaux publics**, nationaux ou internationaux des entreprises de télécommunication : **Internet**
 - **Les réseaux privé internes et externes**, ouvert vers l'extérieur : **Extranet**
- **Le support de connexion :**
 - Le câble coaxial (blindé ou non)
 - Le câble en paires torsadées (blindée ou non)
 - Les lignes téléphoniques (Réseau Téléphonique Commuté)
 - La fibre optique
 - Les ondes radios
 - Les ondes infrarouges
 - Les satellites
- **Le type de topologie** (architecture matérielle et/ou logique) :
 - Les réseaux en bus

- Les réseaux en étoile
- Les réseaux en anneau
- **La méthode d'accès au réseau :**
 - CSMA/CD et CSMA/CA pour les réseaux Ethernet
 - Le Jeton pour les réseaux TOKEN RING et FDDI.

1.5. Topologies

Définition- Une topologie est une structuration physique et logique d'un réseau. L'organisation physique concerne la manière dont les terminaux sont raccordés (Bus, Anneau, Étoile...), tandis que la topologie logique indique la manière dont les informations circulent sur les réseaux (diffusion ou point à point).

1.5.1. La topologie physique

Définition- C'est l'organisation physique des équipements de communication dans un réseau, c'est-à-dire la configuration spatiale du réseau.

Usuellement, on distingue les topologies suivantes : en bus, en anneau, en étoile, la topologie maillée et la celle en arbre.

1.5.1.1. Topologie Bus

Une **topologie en bus** est l'architecture la plus basique d'un réseau. En effet, dans une telle topologie, tous les nœuds sont reliés à une même ligne de communication par l'intermédiaire de câble. Le mot « bus » désigne la ligne physique qui raccorde les machines du réseau.



Figure I.5- Topologie Bus

- **Avantage-** Simple à mettre en œuvre et peu coûteux.
- **Inconvénient-** En cas coupure du câble, tout le réseau tombe en panne.

1.5.1.2. Topologie étoile

Pour cette topologie, chaque nœud du réseau est relié à un point de concentration par de différents câbles.

Avantage - Un nœud peut tomber en panne sans affecter les autres éléments du réseau.

Inconvénient - Topologie coûteuse par rapport aux réseaux en bus ou en anneau.



Figure I.6- Topologie Etoile

En effet, la longueur du câblage est assez grande, ce qui engendre un coût supplémentaire.

Remarque - La topologie en étoile étendue est l'interconnexion en étoile des réseaux en étoile.

1.5.1.3. Topologie en anneau

Il s'agit d'un réseau dans lequel les machines sont raccordées boucle fermée.

Dans ce type de réseau possédant une **topologie en anneau**, les nœuds sont positionnés sur une boucle et communiquent à tour de rôle.

L'avantage de ce type est qu'il possède de différentes chemins : dans le cas d'une coupure d'un chemin reliant deux machines A et B, la communication entre ces deux dernières peut être établie à travers un autre chemin.

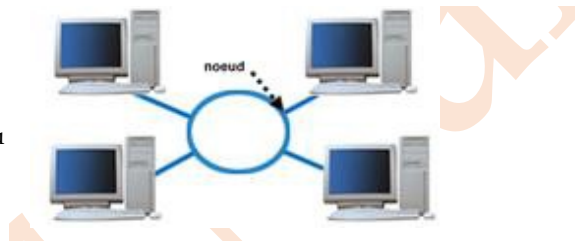
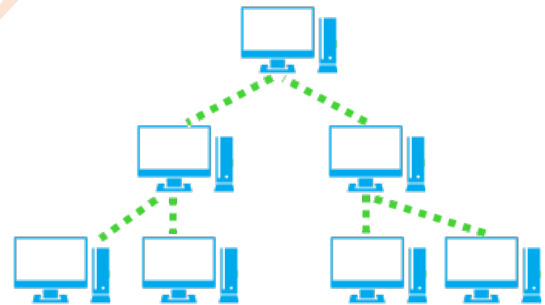


Figure I.7- Topologie en Anneau

1.5.1.4. La topologie en arbre

C'est une autre forme de la topologie en étoile divisée en niveaux. Le sommet, de haut niveau, est raccordé à plusieurs nœuds de niveau inférieur, dans la hiérarchie. Ces machines peuvent être eux-mêmes connectés à plusieurs nœuds de niveau inférieur.

Figure I.8- Topologie en Arbre



1.5.1.5. La topologie maillée

Cette topologie, est une variante de la topologie en étoile, elle correspond à plusieurs liens point-à-point. L'inconvénient est le nombre de liaisons nécessaires qui devient très important: s'il y a N terminaux, le nombre de liaisons disponibles sera de $\frac{N(N-1)}{2}$.



Figure I.9- Topologie maillée

1.5.2. La topologie logique

La topologie logique définit la façon dont les informations circulent sur les réseaux. Les topologies les plus courantes sont : **diffusion** et **point-à-point**.

1.5.2.1. Mode de diffusion (ex : topologie en bus ou en anneau)

Ce mode de fonctionnement n'admet qu'un seul support de transmission. Son principe est d'envoyer l'information sur tout le réseau, ainsi toute unité réseau est apte à voir le message et d'analyser selon l'adresse du destinataire si le message lui est destiné ou non.

A tout moment, chaque équipement peut envoyer un message sur le support, il faut juste écouter au préalable si le chemin est libre, sinon il doit attendre.

1.5.2.2. Mode point à point (ex : topologie en étoile ou maillée)

Pour ce type de topologie, le support physique ne relie qu'une paire d'unités seulement. Quand deux équipements non directement connecter entre eux veulent communiquer, ils le font par l'intermédiaire des autres nœuds du réseau.

1.6. Architecture des réseaux : Modèle OSI de l'ISO

1.6.1. Introduction

Pour éviter la diversité des solutions d'interconnexion d'architectures hétérogènes, l'ISO (International Standards Organisation), a mis en œuvre un modèle de référence appelé modèle OSI (Open Systems interconnection). Ce modèle décrit les principes utilisés et les protocoles suivis pour normaliser l'interconnexion de systèmes ouverts (un réseau est composé de systèmes ouverts lorsque la modification, l'adjonction ou la suppression d'un de ces systèmes ne modifie pas le comportement global du réseau).

L'OSI est un modèle en sept couches dont le principe fondamental est de déterminer ce que chaque couche doit faire mais pas comment elle doit le faire (Figure I.10).

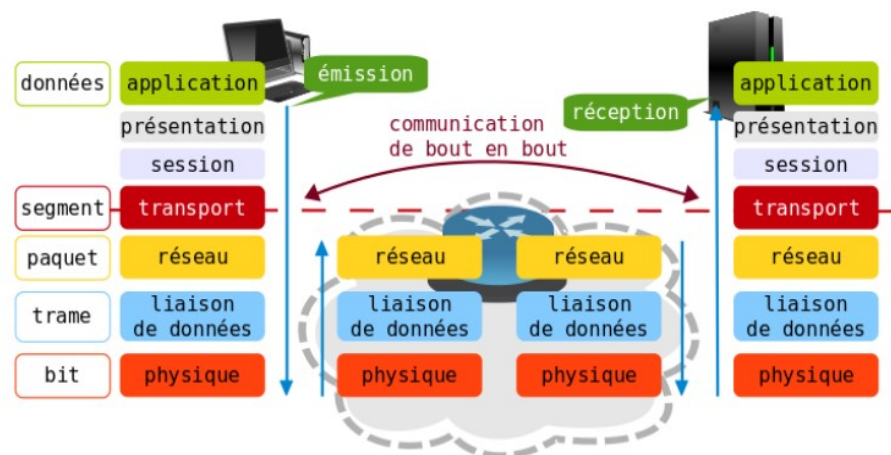


Figure I.10- Le modèle OSI de l'ISO

1.6.2. Les différentes couches du modèle

1.6.2.1. La couche physique

Cette couche définit la transmission physique des unités d'informations (bits) : Le support physique, (Cuivre, optique, radio, etc...), les connectiques, la période de transmission d'un symbole, etc..

1.6.2.2. La couche liaison de données

Cette couche a pour rôle de "liant" : elle va convertir la couche physique en une liaison a priori exempte d'erreurs de transmission pour la couche réseau. Elle découpe les données d'entrée de l'émetteur en trames, transmet ces trames en séquence et gère les trames d'acquiescement renvoyées par le récepteur.

1.6.2.3. La couche réseau

C'est la couche qui permet d'administrer le sous-réseau, i.e. le routage des paquets sur ce sous-réseau et l'interconnexion des différents sous-réseaux entre eux.

Dans cette couche on définit les règles permettant l'acheminement de bout en bout : Structure des paquets, Adressage, Acheminement (Routage), QoS, ...

Remarque- *Les couches basses: physique, liaison et réseau assurent la transmission des données à travers le réseau.*

1.6.2.4. La couche transport

C'est la couche responsable du bon acheminement des messages complets au destinataire. Son rôle principal est de prendre les messages de la couche session, de les découper s'il le faut en unités plus petites et de les passer à la couche réseau, tout en s'assurant que les morceaux arrivent correctement de l'autre côté.

1.6.2.5. La couche session

Cette couche gère les connexions entre applications et organise et synchronise les échanges entre tâches distantes. Elle réalise le lien entre les adresses logiques et les adresses physiques des tâches réparties. De plus, elle établit également un lien entre deux programmes d'application devant coopérer et gère leur dialogue (qui doit parler, qui parle...).

1.6.2.6. La couche présentation

Cette couche s'occupe de la conversion des données dans un format compréhensible par l'application. Elle va assurer l'indépendance entre l'utilisateur et le transport de l'information. Précisément, cette couche convertit les données, les reformater, les crypter et les compresser.

1.6.2.7. La couche application

C'est le point de contact entre l'utilisateur et le réseau. Principalement, c'est la couche qui apporte à l'utilisateur les services de base offerts par le réseau, tels que le transfert de fichier, la messagerie...

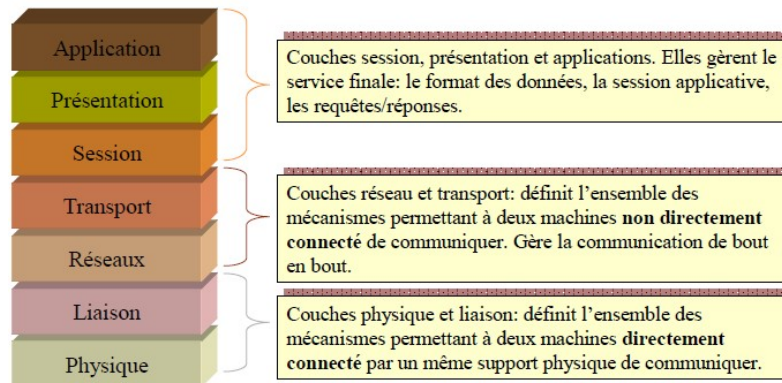


Figure I.11- Le fonctionnement des différentes couches du modèle OSI

1.6.3. Exemple- Internet

L'exemple de communication d'un réseau internet est illustré dans la figure I.12.

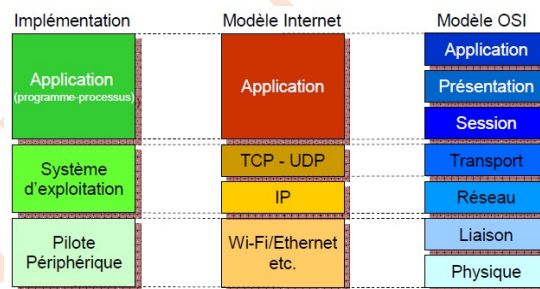


Figure I.12- Le fonctionnement du protocole internet selon le modèle OSI

1.6.4. Quelques protocoles

Dans le domaine de communication, on peut trouver plusieurs protocoles selon la couche d'utilisation:

7 Couche application

SSH • FTP • DNS • SNMP • Telnet • SMTP • POP3 • IMAP • RTP • HTTP • Modbus • SIP • DHCP • CANopen • BGP

6 Couche de présentation

• ASCII • Videotex • Unicode • TDI • ASN.1 • XDR • UUCP • NCP • AFP • SSP

5 Couche de session

• AppleTalk • NetBios

4 Couche de transport

TCP • UDP • SCTP • SPX • DCCP

3 Couche de réseau

IP • IPv4 • IPv6 • DHCP (en tant que service) RIP • OSPF • IS-IS • ARP

2 Couche de liaison de données

Ethernet • CSMA/CD • CSMA/CA • Anneau à jeton • FDDI • CAN • PPP • PPPoE • ATM • MPLS "2,5"

1 Couche physique

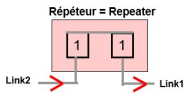

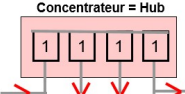

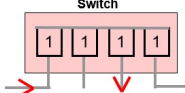

Codage NRZ • Codage Manchester • Codage Miller • RS-232 • Câble coaxial • 10BASE2 • 10BASE5 • Paire torsadée • 10BASE-T • 100BASE-TX • 1000BASE-T • PDH • SDH • ADSL • VDSL • USB • Bluetooth • Wi-Fi.

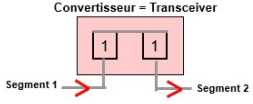

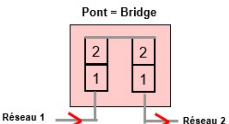

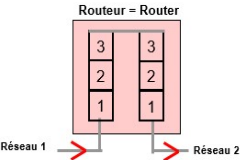

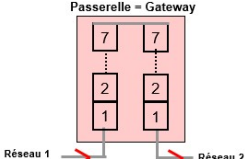

1.7. Les équipements d’interconnexion dans un réseau

Plusieurs équipements sont indispensables pour réaliser physiquement un réseau de communication. Ces équipements ont de différents rôles selon l’architecture physique et logique du réseau d’une part, et des services à fournir d’une autre part.

Ainsi, on peut trouver des équipements d’interconnexion des réseaux locaux tels que les switch et le hub et aussi d’autres équipements pour les réseaux différents à grande envergure.

Tableau I.1- Les équipements d’interconnexion.

Equipement	Exemple d’icon	Description
 <p>Répéteur = Repeater</p> <p>Répéteur</p>		<p>Permet l’extension d’un réseau par segments. Il amplifie et rétablit le même type de signal. Il travaille uniquement au niveau physique du <u>modèle OSI</u></p> <p>Exemple - répéteur RS485.</p>
 <p>Concentrateur = Hub</p> <p>Hub</p>		<p>Il permet de concentrer le trafic réseau provenant de plusieurs <u>hôtes</u> (réseau en étoile), il opère au niveau de la couche (1) du modèle OSI. Il ne réduit pas le nombre de collisions.</p> <p>Exemple -Hub Ethernet</p>
 <p>Switch</p> <p>Switch</p>		<p>Permet l’extension d’un réseau en étoile. Il amplifie et rétablit le même type de signal sur un seul port. Il agit au niveau de la couche (2) du <u>modèle OSI</u>. Il permet ainsi de diminuer le nombre de collisions.</p> <p>Exemple = Switch Ethernet.</p>

 <p>Convertisseur = Transceiver</p> <p>Segment 1 → [1] [1] → Segment 2</p> <p>Transceiver</p>		<p>Permet l'extension d'un réseau par segments de nature différente.</p> <p>Exemple - convertisseur RS232/RS485.</p>
 <p>Pont = Bridge</p> <p>Réseau 1 → [2] [1] [2] [1] → Réseau 2</p> <p>Bridge</p>		<p>Permet de relier deux réseaux utilisant le même protocole mais des couches basses différentes. Ils travaillent au niveau logique c'est-à-dire au niveau de la couche (2) du modèle OSI (couche liaison)</p> <p>Exemple- Bridge Modbus RS485 / Ethernet TCP-IP</p>
 <p>Routeur = Router</p> <p>Réseau 1 → [3] [2] [1] [3] [2] [1] → Réseau 2</p> <p>Routeur</p>		<p>Il relie deux réseaux de même nature. Il opère sur la couche (3) du modèle OSI. (lecture et acheminement des adresses IP).</p> <p>Exemple - Routeur Ethernet TCP-IP</p>
 <p>Passerelle = Gateway</p> <p>Réseau 1 → [7] [2] [1] [7] [2] [1] → Réseau 2</p> <p>Gateway.</p>		<p>C'est pour relier deux réseaux de protocoles différents.</p> <p>Il fonctionne sur la couche (7).</p> <p>Exemple = Passerelle FIPIO / Modbus.</p>

1.8. Réseau Ethernet et Internet, et adressage IP(Internet protocol)

1.8.1. Organisation et paramètres de configuration d'une liaison

Dans un réseau informatique, une adresse IP est un identifiant unique attribué à chaque interface avec le réseau IP et associé à une machine (routeur, ordinateur, etc.).

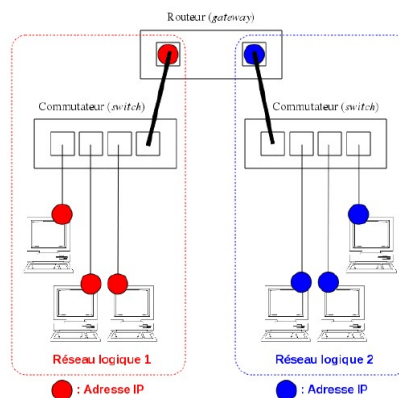


Figure I.13- Interconnexion physique PC-Switch-Routeur.

C'est une adresse **unicast** utilisable comme adresse source ou comme destination.

Une adresse IP est décomposée en deux parties :

- ❖ Une partie de l'adresse identifie le réseau (**netid**) auquel appartient l'hôte et,
- ❖ Une partie identifie le numéro de l'hôte (**hostid**) dans le réseau.

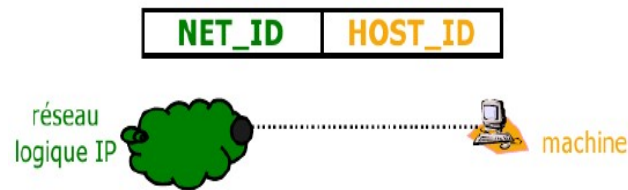


Figure I.14- La décomposition d'une adresse IP.

Ainsi, on distingue deux situations :

- Les équipements communiquent directement entre eux à condition qu'ils soient sur le même réseau IP (même **netid**). Ils peuvent être interconnectés physiquement par des concentrateurs (hub) et/ou des commutateurs (**switch**).
- Les équipements qui n'appartiennent pas au même réseau IP (**netid différents**) ne peuvent pas communiquer entre eux directement. Ils pourront le faire par l'intermédiaire d'un routeur (ou **gateway**).

Remarque - Le routeur doit posséder une adresse IP dans chaque réseau IP qu'il interconnecte. On dit qu'il est multi-domicilié.

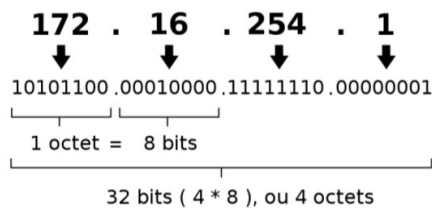
1.8.2. Adresse IP (Internet Protocole) d'une machine dans un réseau

Chaque élément ou machine doit avoir sa propre adresse au sein du réseau. On spécifie deux versions : IP V4 (4 octets ou 32 bits), et IP V6 (16 octets ou 128 bits). Cette évolution d'IPV4 vers IPV6 est due à la saturation de l'IPV4 depuis 2011. **IP V4** généralement notée avec quatre nombres compris entre 0 et 255, séparés par des points.

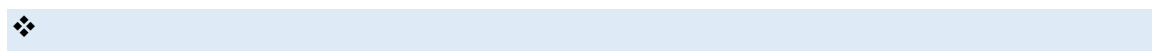
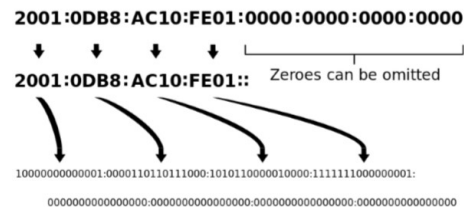
IP V6 adresses sont codées sur **128 bits**. Elle est généralement notée par groupes de 4 chiffres hexadécimaux séparés.

La décomposition d'une adresse IPv4 et IP v6 sont illustrés comme suit :

Une adresse IPv4 (notation décimale à point)



An IPv6 address (in hexadecimal)



Remarque-

❖ L'adresse IP d'une machine, composée de 32 bits ou 4 octets doit être unique sur le réseau auquel elle est reliée. Une adresse IP est formée de 2 parties ou ID (IDentification)

1.8.3. Affectation des adresses IP

On distingue deux situations pour assigner une adresse IP à un équipement :

- **De manière statique** : l'adresse est fixe et configurée le plus souvent manuellement puis stockée dans la configuration de son système d'exploitation.
- **De manière dynamique** : l'adresse est automatiquement transmise et assignée grâce au protocole DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) ou BOOTP.

1.8.4. Classes d'adresses pour un réseau local

On peut choisir l'adresse machine dans un certain nombre de plages appelé classe de réseau. Ces adresses sont dites publiques car tout le monde peut les utiliser à souhait au sein d'un réseau local. On choisira entre ces 3 classes suivant l'importance du réseau.

Tableau I.2- Les classes d'adresses.

Nombre de machines adressables selon la classe de l'adresse					
Classe A , HostID de 3 octets, on peut adresser (256 * 256 * 256) - 2 machines, soit 16777214.	Classe	Bits de départ (gauche)	Début	Fin	Masque de sous-réseau par défaut
Classe B , HostID de 2 octets, on peut adresser (256 * 256) - 2 soit 65534 machines.	Classe A	0	0.0.0.0 ⁽¹⁾	127.255.255.255 ⁽¹⁾	255.0.0.0
Classe C , HostID d'un octet : 256 - 2, soit 254 machines.	Classe B	10	128.0.0.0	191.255.255.255	255.255.0.0
	Classe C	110	192.0.0.0	223.255.255.255	255.255.255.0
	(1) Pour un réseau de classe A le réseau 0 et le réseau 127 n'existent pas il existe donc 126 réseaux de classe A				

1.8.5. Masque de sous réseau

Un masque de sous réseau permet d'identifier le réseau auquel appartient une machine pour diriger l'information. Pour découper une adresse IP (c'est-à-dire séparer le **netid** du **hostid**), il faut utiliser un masque (**netmask**). Chaque équipement effectuera une opération ET (bit à bit) entre l'adresse IP complète et le masque.

Il suffit donc de placer des bits à 1 dans le masque pour conserver le netid et des 0 pour écraser le hostid. Ainsi, un masque a la même taille qu'une adresse IP.

C'est donc la valeur du masque qui définit le netid (et donc le hostid), on parle de **masque de réseau**. La valeur du masque est essentielle dans l'adressage IP.

Classe	Masque de sous réseau associé	Equivalent binaire
A	255.0.0.0	11111111.00000000.00000000.00000000
B	255.255.0.0	11111111. 11111111. 00000000. 00000000
C	255.255.255.0	11111111. 11111111. 11111111. 00000000

Exemple- soit l'adresse 192.168.12.1.

Le résultat avec la fonction ET logique entre une adresse machine 192.168.12.1 et un masque 255.255.255.0 donne :

Exemple : soit la machine 192.168.12.1 avec le masque 255.255.255.0

Adresse machine	192.168.12.1	11000000.10101000.00001100.00000001
Masque de sous réseau	255.255.255.0	11111111.11111111.11111111.00000000
Application d'un et logique	192.168.12.0	11000000.10101000.00001100.00000000

Après l'application du masque, le résultat est 192.168.12.0., qui représentent l'identificateur réseau.

Remarque - Dans les plages d'adresses assignables à des machines d'un réseau, il y aura toujours deux adresses interdites : l'adresse du réseau et l'adresse de broadcast. L'utilisation du masque 255.255.255.255 donnera l'adresse IP complète assignée à une machine

1.8.6. Exemple d'un réseau local Ethernet (LAN) relié à Internet (WAN)

L'organisation locale (LAN) du réseau :

- L'ID du réseau local est 192.168.0.0.
- Les ID des machines dans le réseau local sont : 10 pour PC1 ; 11 pour PC2 ; 12 pour PC3 ; 1 pour le routeur. Par défaut, l'ID machine « 0 » est celle du réseau local ou sous réseau, elle ne peut pas être utilisée par une machine.

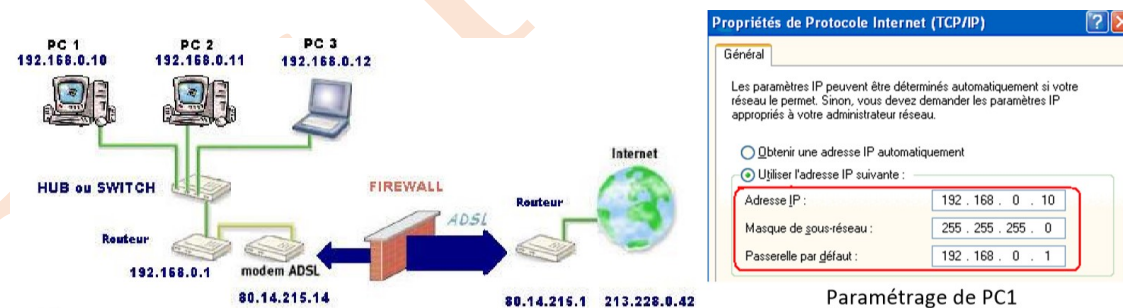


Figure I.15- Exemple d'adressage dans un réseau local.

Passerelle avec l'extérieur : Le routeur via le modem ADSL relie le réseau local à Internet (fonction de passerelle). Vu de l'extérieur le réseau local est à l'adresse publique 80.14.215.14 attribuée par le fournisseur d'accès.

Le premier routeur rencontré à l'adresse 80.14.215.1 est celui du fournisseur d'accès. Au-delà, ce sont les routeurs du réseau étendu (WAN) qui déterminent le chemin (le routage) pour accéder à l'adresse demandée 213.228.0.42

Exercice 1- Deux machines doivent communiquer, la machine 1 d'adresse 192.59.66.200 et la machine 2 d'adresse 192.59.66.17.

- i. Donner le masque du sous-réseau et le résultat de masquage.
- ii. Pourquoi les deux machines peuvent-elles communiquer directement ?

Exercice 2- Un réseau noté 102.0.0.0

- i. Donner la plage d'adresse IP de ce réseau utilisée pour les machines.
- ii. Déduire le nombre de machines connectables et la classe de ce réseau.
- iii. Fournir le masque réseau et le masque machine.

1.8.6.1. Taille d'un réseau IPv4

C'est le masque qui définit la taille d'un réseau IP : c'est-à-dire la plage d'adresses assignables aux machines du réseau.

Exemple- Soit le réseau 176.16.0.0 avec un masque de 255.255.0.0. Quel est le nombre d'adresses machine de ce réseau? Le masque 255.255.0.0 possède 16 bits à 1 et découpe donc une adresse IP de la manière suivante :

Le netid fera donc 16 bits (valeur fixée par le masque)

Le nombre de bits restant pour le hostid : $32 - 16 = 16$ bits.

Le nombre d'adresses machines de ce réseau est donc : $2^{16} - 2 = 65536 - 2 = 65534$ adresses machines. Il existe une autre notation (nommée CIDR) pour exprimer l'adresse d'un réseau. On indique alors le nombre de bits à 1 dans le masque de la manière suivante : **176.16.0.0/16**.

1.8.6.2. Adresses IPv4 interdites

Il y a des adresses interdites que l'on ne peut pas utiliser comme adresse IP pour un équipement :

- Les adresses réseaux : c'est-à-dire les adresses dont tous les bits de la partie hostid sont à 0
- Les adresses de diffusion générale (broadcast) : c'est-à-dire les adresses dont tous les bits de la partie hostid sont à 1
- L'adresse de boucle locale (loopback) 127.0.0.1 associé au nom localhost. De manière générale, toutes les adresses de ce réseau 127.0.0.0 1.
- L'adresse 0.0.0.0 qui est utilisée par des différents services (DHCP, tables de routage, ...) et qui a souvent une signification particulière.
- Les adresses de lien local : ces adresses sont utilisables seulement comme adresses de configuration automatique par défaut des interfaces d'hôtes (en cas d'absence de configuration manuelle explicite et de non-détection d'autres systèmes de configuration comme DHCP) : 169.254.0.0 - 169.254.255.255 (169.254/16).

1.8.7. Le découpage d'une classe en sous-réseaux

1.8.7.1. Découpage en sous-réseau

En 1984, devant la limitation du modèle de classes, la RFC 917 (Internet subnets) crée le concept de **sous-réseau**.

Ceci permet :

- Par exemple d'utiliser une adresse de Classe B comme 256 sous-réseaux de 254 ordinateurs au lieu d'un seul réseau de 65536 ordinateurs, sans toutefois remettre en question la notion de classe d'adresse.
- d'optimiser l'utilisation et la sécurité du réseau en le segmentant
- de maîtriser l'adressage à l'intérieur du réseau.

Conséquence - Le masque de sous-réseau ne peut plus être déduit de l'adresse IP elle-même. L'utilisation de masque de longueur variable (Variable-Length Subnet Mask, VLSM) permet une utilisation plus efficace de l'espace d'adressage.

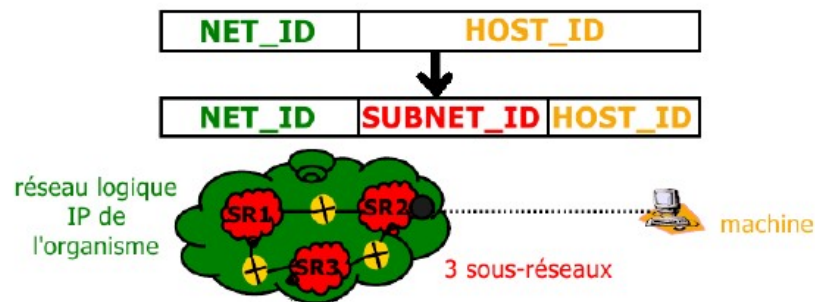


Figure I.16- Le découpage en sous-réseaux.

Pour segmenter un réseau en sous-réseaux, il faut alors décomposer la partie *hostid* de l'adresse IP en deux parties : une adresse de sous-réseau (*subnetid*) et une adresse machine (*hostid*).

Par exemple, pour créer 3 sous-réseaux, il faudra prendre **2 bits dans la partie *hostid*** et on créera 2^2 donc 4 sous-réseaux :

0 0 pour le sous-réseaux n°0 - 1 0 pour le sous-réseaux n°2

0 1 pour le sous-réseaux n°1 - 1 1 pour le sous-réseaux n°3

Évidemment, le masque de départ change et doit maintenant englober la partie *netid* et la partie *subnetid*. Ce nouveau masque se nomme **masque de sous-réseaux**

Exemple -

Pour le réseau 192.168.1.0/24 découpé en 4 sous-réseaux

netid = 24 bits

subnetid = 2 bits

hostid = 32 - 24 - 2 = 6 bits

Le masque de sous-réseau sera : 24 + 2 = 26 bits soit 255.255.255.192

Le nombre de machines adressables dans chaque sous-réseau sera de $2^{n\text{bits}} - 2$ adresses interdites

Le nombre de machines adressables dans chaque sous-réseau sera de :

26-2 adresses interdites = 62 adresses

sous-réseaux n°0 192.168.1.0/26 : 192.168.1.1 à 192.168.1.62 (broadcast = 192.168.1.63)

sous-réseaux n°1 192.168.1.64/26 : 192.168.1.65 à 192.168.1.126 (broadcast = 192.168.1.127)

sous-réseaux n°2 192.168.1.128/26 : 192.168.1.129 à 192.168.1.190 (broadcast = 192.168.1.191)

sous-réseaux n°3 192.168.1.192/26 : 192.168.1.193 à 192.168.1.254 (broadcast = 192.168.1.255)

Avantages : Maîtriser l'adressage, la segmentation du réseau et optimiser le fonctionnement du réseau.

Inconvénient : Gérer des tables de routages plus complexes. La complexité des tables de routage étant donné le plus grand nombre de réseaux à "router".

Exercice-3

1) L'adresse réseau de l'entreprise est 172.16.0.0. On désire créer 12 sous-réseaux. Donner :

- Le nombre de bits utilisés pour créer les sous réseaux
- Le nombre de sous réseaux réellement créés
- Le masque de sous réseau
- Le nombre maximum d'adresses de poste pour chaque sous réseau

Exercice-4

L'adresse réseau de l'entreprise est 192.168.0.0. Les différents services organisés en sous-réseaux disposent au maximum de 20 machines. Les sous-réseaux sont connectés entre eux par un routeur. Donner :

- Le nombre d'équipements
- Le nombre de bits à réserver pour l'adressage des machines
- Le nombre de sous réseaux créés
- Le masque de sous réseau
- Les plages d'adresses pour chaque sous-réseau
- L'adresse de broadcast de chaque sous-réseau

1.8.8. Adresse MAC

Définition -Une adresse MAC est un identifiant unique attribué à chaque périphérique réseau (comme une carte Wifi ou Ethernet) par le fabricant.

MAC signifie Media Access Control et chaque identifiant est unique à chaque périphérique. Une adresse MAC se compose de six groupes de deux caractères chacun, séparés par deux points.

Exemple - L'adresse MAC : 00:1B:44:11:3A:B7.

1.8.8.1. Quelle est l'utilité d'une adresse MAC ?

La fonctionnalité première d'une adresse MAC est l'identification de chaque périphérique. Elle est utilisée sur la plupart des types de réseaux en vogue de nos jours, traditionnels (ethernet par exemple) ou mobile (Wi-Fi, Bluetooth...).

L'adresse MAC étant unique, elle est souvent utilisée dans le filtrage de connexion à une borne WiFi par exemple. C'est en effet le moyen le plus efficace de bloquer l'accès à un appareil, plutôt que de bloquer une adresse IP qui pourra facilement être modifiée.

1.8.8.2. Adressage IP et MAC, quelle différence ?

Une adresse IP permet d'identifier votre appareil de connexion sur internet. Toutefois, elle est amenée à changer. Si vous utilisez le même appareil pour vous connecter à internet depuis un autre endroit, votre adresse IP ne sera plus la même car l'adresse IP dépend du réseau utilisé. Elle permet d'identifier une machine connectée à internet.

En revanche, l'adresse MAC ne change jamais et permet quant à elle d'identifier chacun des périphériques réseau, notamment sur un réseau local.

Dans le système OSI, l'adresse MAC est traitée dans la couche 2 tandis que l'adresse IP est traitée dans la couche 3.

1.8.9. Le réseau ETHERNET

Ethernet est un réseau à diffusion développé à l'origine par les sociétés Xerox, Intel et Digital Equipment. L'IEEE a ensuite normalisé ce réseau par la norme **IEEE 802.3**, reprise ensuite par l'ISO sous la norme **8802-3**.

Ethernet est un bus de données initialement développé pour la communication informatique de haute vitesse approprié pour la transmission de volumes de données importants.

Les réseaux Ethernet permettent généralement de transmettre deux types de trames au format légèrement différent : les trames Ethernet V2 et les trames 802.3.

Ethernet est de plus en plus accepté en ambiance industrielle entre le processus et le niveau de commande (hiérarchies bus de terrain). De plus, Ethernet est la base pour l'internet et les serveurs web.

1.9. Organisation du réseau

On distingue deux types d'architecture de réseaux : le poste à poste et le client/serveur.

1.9.1. Le réseau Client/Serveur

L'architecture client/serveur désigne un mode de communication entre plusieurs ordinateurs d'un réseau qui distingue un ou plusieurs clients du serveur : chaque logiciel client peut envoyer des requêtes à un serveur.

Les postes de travail n'ont seulement besoin que d'un petit bout de logiciel (appelé client) pour se connecter au serveur et ce quel que soit le système d'exploitation installé sur les postes de travail.

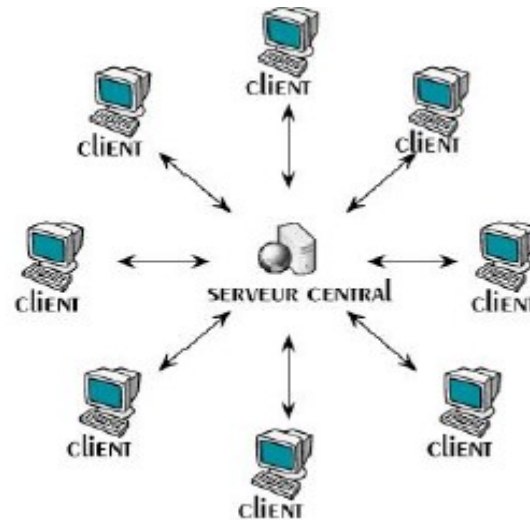


Figure I.17- Solution Client/serveur.

1.9.2. Le réseau poste à poste (peer to peer)

Un autre type d'architecture réseau est le poste à poste (peer-to-peer en anglais, ou P2P), dans lequel chaque ordinateur ou logiciel est à la fois client et serveur. Cette architecture ne convient que pour un petit réseau.

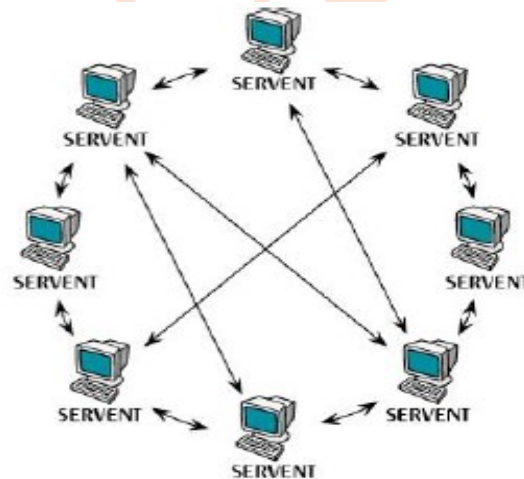


Figure I.18- Solution point à point.

1.10. Les transmissions dans les réseaux

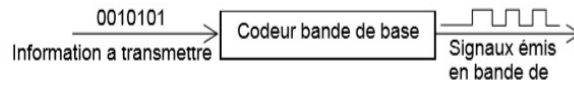
Pour transmettre des informations binaires sur un support de transmission, il est nécessaire de le transformer au préalable en un signal électrique mieux adapté aux contraintes physiques du système de transmission. Dans ce contexte, deux techniques de transmission sont envisageable : la transmission dite en mode de base qui n'effectue qu'une simple transformation du signal, et la transmission qui réalise une translation du spectre (modulation).

1.10.1. Transmission en bande de base

Le Codeur bande de base, a essentiellement pour objet :

- De transformer le signal numérique en un autre, à fin que le spectre du nouveau signal soit mieux adapté aux caractéristiques du support de transmission (de bande passante en particulier) .

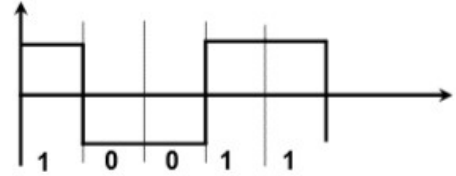
- De maintenir la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur.



Les principaux codages en bande de base Différents codage sont utilisés pour transmettre les données en bande de base :

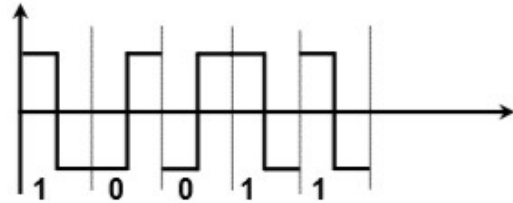
a. Le codage NRZ

Le codage NRZ (Non Return to Zéro, non-retour à zéro) utilise une tension négative pour représenter un '0' binaire, et une tension positive pour un '1' binaire. Un sérieux problème de synchronisation des horloges sont à redouter, puisque le signal sera constant pour une longue suite de bits identiques.



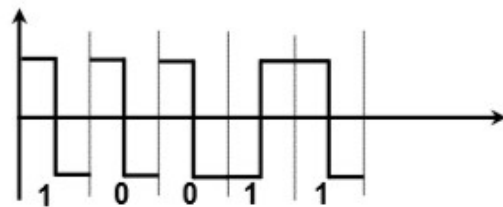
b. Le codage Manchester

Le principe de ce codage est de diviser la période de transmission de bit 'T' en deux intervalles égaux, ainsi chaque période de transmission comporte une transition en son milieu, ce qui facilite la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur et le spectre du signal a été décalé vers les hautes fréquences par rapport au signal NRZ, mais il s'étale sur une bande double du codage précédent. Un '0' binaire est représenté par une tension allant de bas en haut, tandis que le '1' binaire est représenté par une tension allant du haut en bas.



c. Le Codage Manchester différentiel

Le codage Manchester différentiel tient compte du bit précédent. Un '0' binaire est représenté par un changement de tension au début de la transmission, et le '1' binaire est représenté par l'absence de changement de tension au début de la transmission.



1.10.2. Transmission par modulation

La transmission par modulation consiste à envoyer un signal sinusoïdal (analogique) appelée porteuse dont l'un de ses paramètres (fréquence, phase ou amplitude) contient les données que l'on veut transmettre. Cette technique permet d'adapter la bande spectrale du signal à la bande passante du support et de transmettre plusieurs signaux sur le même support.

Il existe plusieurs manières dont une porteuse analogique peut être modulée pour représenter des données numériques :

Modulation d'amplitude - Dans cette technique, l'amplitude de la porteuse est modifiée de manière à représenter, à coder, les données.

Modulation de fréquence - La modulation de fréquence consiste à modifier la fréquence de la porteuse pour représenter les données.

Modulation de phase - dans ce cas, c'est la phase de la porteuse qui est modifiée de manière à représenter les données.

Modulation hybride - Il est possible de combiner les différents types de modulation que nous venons de présenter à fin de transmettre un nombre important de bits par secondes. Il est ainsi fréquent d'utiliser à la fois une modulation d'amplitude et une modulation de phase.

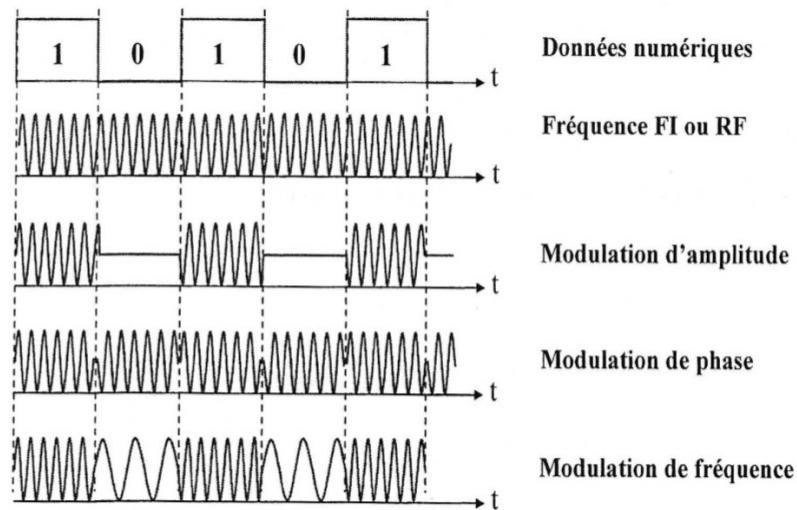


Figure I.19- Les différents types de modulation.

1.11. Type de transmission

L'exploitation d'un canal de transmission peut s'effectuer suivant différents modes qui sont :

- **Mode simplex** - Dans ce mode, une seule extrémité émet et l'autre reçoit (transmission unidirectionnelle).
- **Mode semi duplex (half duplex)** - Ce mode, appelé aussi bidirectionnel à l'alternat, permet une transmission dans les deux sens, mais alternativement. Chacune des deux extrémités reçoit et émet à tour de rôle, jamais simultanément.
- **Mode duplex (full duplex)** - ce mode, appelé aussi bidirectionnel simultanés permet une transmission dans les deux sens en même temps, comme si deux interlocuteurs parlaient simultanément, en supposant que chacun entend et parle en même temps.

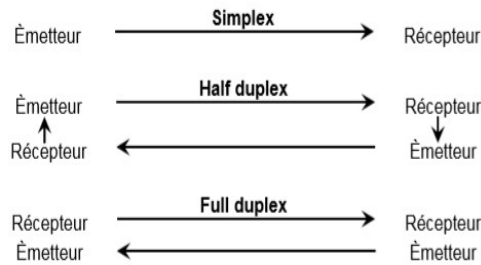
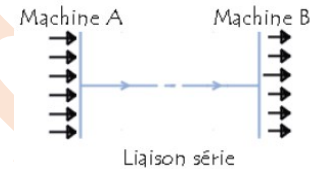


Figure I.20- Les modes de transmission.

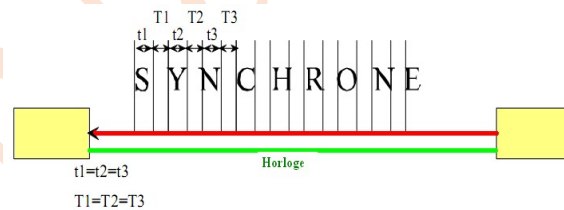
1.11.1. Transmission Série

- La connexion nécessite 3 fils en full duplex: envoi, réception et GND.
 - Les bits sont envoyés l'un après l'autre.
- On distingue deux types de transmission série :



a. Série Synchronise

- Les informations sont transmises en continue.
- Un signal de synchronisation est transmis en parallèle avec l'information.



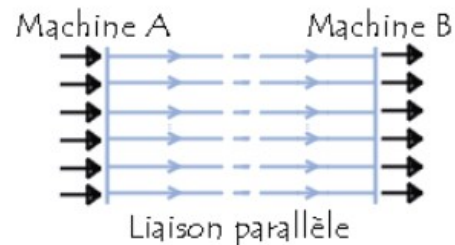
b. Série Asynchrone

- L'information est transmise de façon irrégulière bien que l'intervalle entre deux bits est fixé et constant.
- Des bits de synchronisation (START, STOP) encapsulent l'information.



1.11.2. Transmission parallèle

- Le nombre de fils = taille du parallélisme
- Les bits sont transmis simultanément
- Utilisé pour les courtes distances à cause des interférences que cause chaque ligne sur l'autre et donc le signal se détériore rapidement.



Dr.F.N.Vafa

2

Bus de terrain et réseaux
locaux industriels

2. Bus de terrain et réseaux locaux industriels

2.1. Introduction

Définition - 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'installation de production.

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.

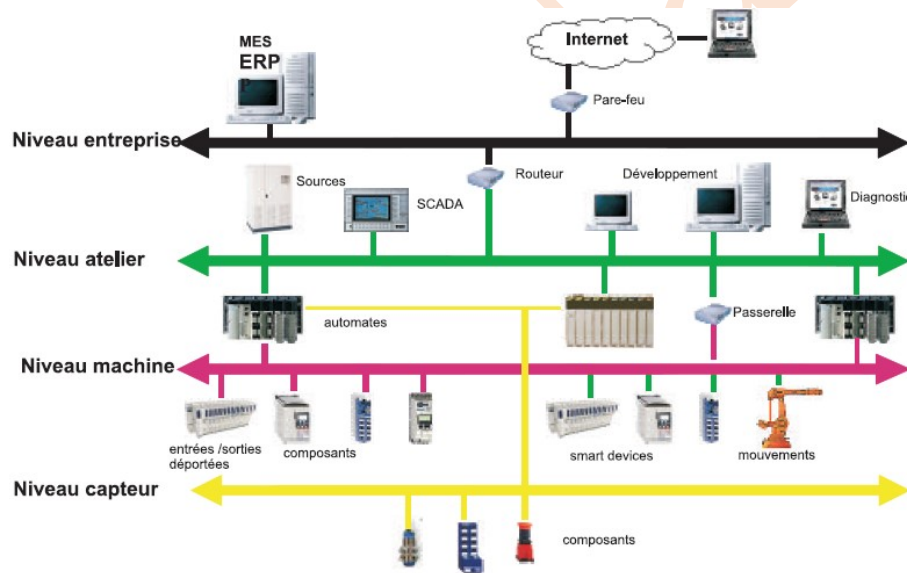
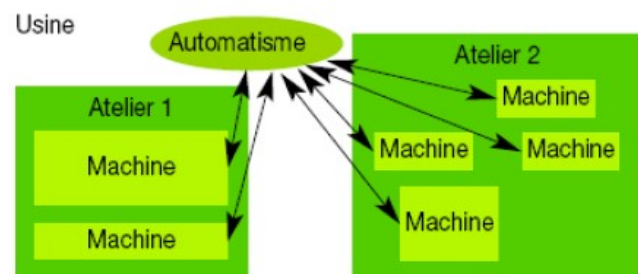


Figure 2.1 - Architecture d'un réseau industriel.

2.2. L'environnement industriel

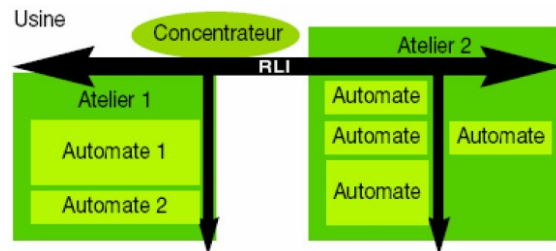
L'environnement industriel englobe tous les équipements qui participent à la chaîne de production que ce soit pour la fabrication, le contrôle ou la maintenance. Ces équipements peuvent être des : machines à outils, robots, contrôleurs à logique programmée (PLC) : Automates programmable (API), capteurs, actionneurs, stations de supervision,...etc. Ainsi que



les moyens nécessaires à leur interconnexion tel que les câbles, les passerelles, les routeurs,... etc.

2.3. Les automatismes centralisés

Au début des années 80, les automatismes, s'appuyant sur des automates programmables Industriels (API) traitaient essentiellement des fonctions séquentielles. Les control des productions se fait d'une manière séparée entre unité.



2.4. Les automatismes décentralisés

Du fait des contraintes imposées par les systèmes centralisés, les utilisateurs se sont orientés vers une segmentation de l'architecture. Celle-ci a été faite en découpant l'automatisme en entités fonctionnelles.

Cette segmentation a généré le besoin de communication entre les entités fonctionnelles afin de simplifier les automatismes en réduisant le nombre d'E/S gérées et bien évidemment de faciliter la mise en service et la maintenance.

2.5. Réseaux de terrain

Cette évolution a permis de gérer dans un premier temps des E/S décentralisées puis la périphérie d'automatisme.

Avantages-

- 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.

D'une manière générale, les réseaux de terrain contribuent à réaliser :

- Des gains de câblage importants (suppression des boucles analogiques 4-20mA).
- Intelligence déportée.
- Et principalement, ils permettent de rendre accessibles des services sur tout le site : diagnostic, programmation, mise à jour.
- Réduction des coûts de maintenance.

Inconvénients-

- Prise en compte de l'information en temps réel (en cours d'évolution).
- Plus d'exigence sur la sécurité des informations.

2.6. Le concept du CIM (computer integrated manufacturing)

Les installations industrielles, permettent de mettre en œuvre un grand nombre de fonctions qui sont largement interdépendantes et qui peuvent être organisés hiérarchiquement en quatre niveaux d'abstraction nommé CIM.

Définition -Le CIM "*Computer Integrated Manufacturing*" est un concept décrivant la complète automatisation des processus de fabrication. C'est à dire que tous les équipements de l'usine fonctionnent sous le total contrôle des ordinateurs, automates programmables et autres systèmes numériques.

Le CIM consiste et intègre les équipements de CAO (Conception Assistée par Ordinateur ou CAD/CAM, computer-aided design / computer-aided manufacturing), d'ateliers flexibles, de centres d'usinage à commande numérique (CNC), d'ERP (Enterprise Resources Planning) ou plutôt de MRP pour Material Requirement Planning ou encore GPAO pour la Gestion de Production Assistée par Ordinateur, de stockage et de manutention automatisés ainsi que de méthodologies conceptuelles d'intégration de ces composants à l'intérieur d'un système global d'information de l'entreprise.

2.6.1. La pyramide du CIM et architecture du réseau industriel

Il s'agit d'une représentation comportant 4 niveaux auxquels correspondent des niveaux de décision. Plus on s'élève dans la Pyramide du CIM, plus le niveau de décision est important, plus la visibilité est globale et plus les cycles standards s'allongent.

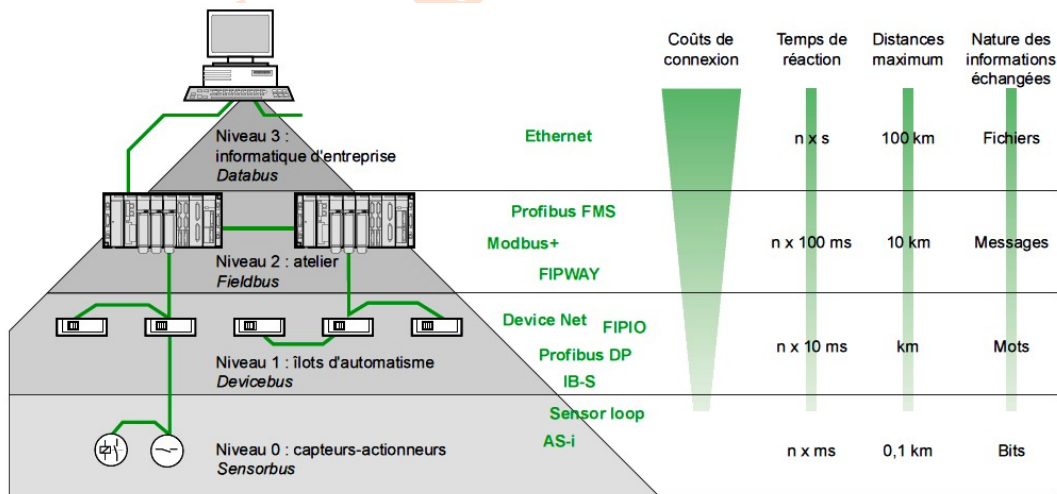


Figure 2.3 - La pyramide CIM.

Dans le concept CIM, on découpe une unité de production en plusieurs niveaux, du niveau "capteurs/actionneurs" (le niveau le plus bas, dit niveau 0) au niveau "gestion", en passant notamment par les niveaux "cellule" et "atelier".

Au niveau du contrôle/commande, chaque niveau pouvait être mis en œuvre avec des technologies bien identifiées.

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 (gérés par les ERP)
- ✓ **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.

2.7. Avantage de la communication dans le réseau industriel

Parmi toutes les composantes d'une installation industrielle, les réseaux de communication jouent un rôle central dans les solutions automatisées, ils permettent essentiellement :

- Un flux d'information continu depuis le niveau capteurs/actionneur jusqu'au niveau gestion de l'entreprise.
- La disponibilité des informations en tout point de l'installation.
- Echange rapide des informations entre les différentes parties de l'installation.
- En diagnostic, et une maintenance efficaces des fonctions de sécurités intégrées. empêchant les accès non autorisés.

Avant d'analyser les technologies des réseaux de communication, il est nécessaire de présenter une synthèse des principaux besoins auxquels ces niveaux apportent une réponse pertinente.

Tableau 2.1 - Les besoins et les contraintes de communication

Niveau	Besoin	Volume d'informations à transmettre	Temps de réponse	Distance	Topologie réseau	Nombre d'adresses	Médium
Entreprise	Echange de données. Sécurité informatique. Standards entre progiciels.	Fichiers Mbits	1mn	Monde	Bus, étoile	Non limitée	Electrique, optique, radio
Atelier	Synchronisation des API d'un même flot d'automatisme échanges d'information en mode client/serveur avec les outils de conduite (HMI, supervision). Performances Temps réel.	Données Kbits	50 à 500 ms	2 à 40 Km	Bus, étoile	10 à 100	Electrique, optique, radio
Machine	Architecture distribuée. Intégration fonctionnelle et transparence des échanges. Topologie et coût de connexion.	Données Kbits	5 à 100 ms (cycle de l'API)	10 m à 1 Km	Bus, étoile	10 à 100	Electrique, optique, radio
Capteur	Simplification du câblage distribution des alimentations des capteurs et actionneurs. Optimiser les coûts de câblage.	Données bits		1 à 100 m	Sans contrainte	10 à 50	Electrique radio

Selon le tableau ci-dessus, on peut retenir les deux principaux axes de besoins :

- Le nombre d'informations à transmettre,
- Le temps de réponse nécessaire.

Ceci nous permet de positionner les principaux réseaux commercialisés.

2.8. Les standards des réseaux industriels

Après la normalisation des réseaux commerciaux à partir de 1994, les réseaux et bus de terrain enveloppent deux types :

- Standards de fait : Interbus-S, ASI ou AS-i (Actuators Sensors Interface), Lonworks (capteur/actionneur),
- Standards internationaux-
 - **WorldFIP (France, Italie) - NFC 46-600** : Honeywell, Cegelec, Télémécanique, EDF...
 - **PROFIBUS (PROcess Field BUS, Allemagne) - DIN 19245** : Siemens, Fisher Controls (USA)...

Avec l'évolution des solutions réseaux, une cohabitation entre des standards de fait et des standards internationaux s'est imposée par analogie avec internet et les protocoles réseaux. Cela a permis une standardisation globale selon le modèle de référence OSI.

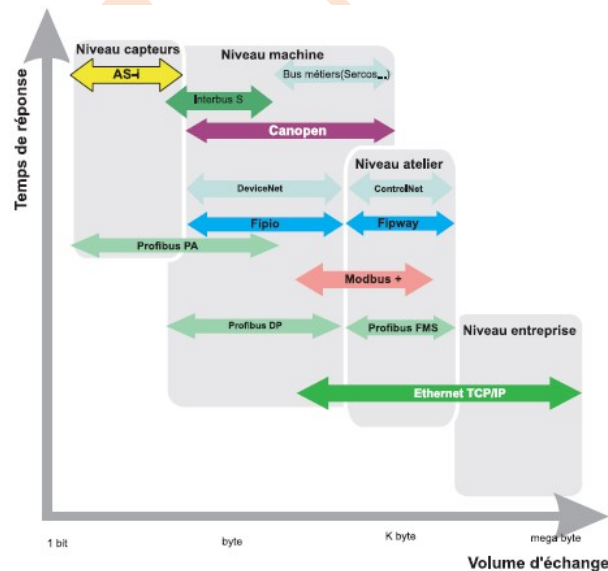


Figure 2.4 - Principaux réseaux industriels.

De nos jours, le réseau Ethernet pénètre de plus en plus la structure d'automatisme : automate, variateur et bientôt capteurs, etc. Une convergence vers une structure ALL-IP est toujours d'actualité.

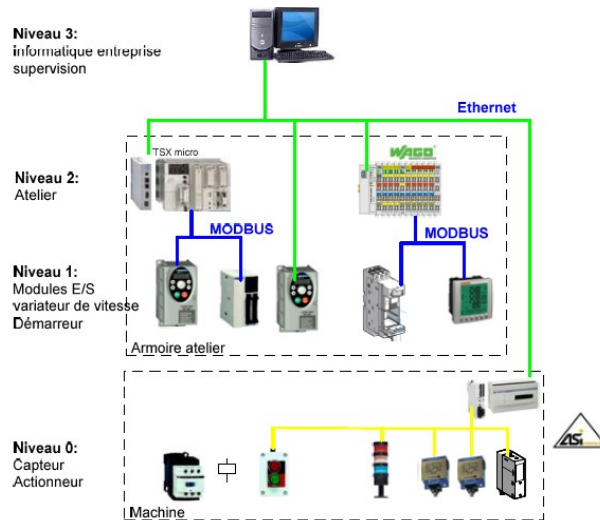


Figure 2.5 - Convergence vers ALL-IP

2.9. Caractéristiques d'un RLI

2.9.1. La subdivision usine/atelier/ terrain.

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.

Le niveau terrain comporte un nombre très important de nœuds tel que les capteurs les actionneurs, les machines, les robots, ...etc, qui peuvent être même reliés à travers plusieurs réseaux locaux. Le niveau atelier en comporte un nombre moins important, à savoir quelques stations de supervision et quelques robots. Le niveau usine quant à lui ne comporte que quelques stations de gestion de production et de conception.

Pour la quantité d'information échangée dans chaque niveau, elle est très importante au niveau usine où on a besoin de transmettre des fichiers tel que les plans, les programmes,...etc. En descendant les niveaux, la taille des données diminue pour arriver à quelques bits entre les capteurs et les actionneurs.

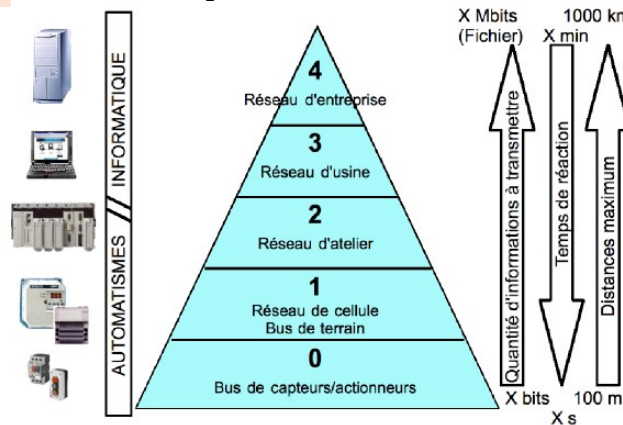


Figure 2.6 - Le flux de communication dans la pyramide CIM

En ce qui concerne la vitesse de transmission requise à chaque niveau, au niveau terrain la vitesse de transmission doit être très élevée pour pouvoir émettre les messages en temps réel. Cependant, au niveau usine le temps réel n'est pas fortement exigé : la perte de quelques secondes lors du transfert d'un fichier n'est pas vraiment catastrophique.

2.9.2. Services spécifiques

Un réseau local industriel peut être caractérisé par plusieurs phénomènes de communication spécifiques dont la prise en compte et l'apport de solution permet de garantir le bon fonctionnement du réseau :

- **Diffusion**- la diffusion est simultanée : plusieurs émetteurs doivent pouvoir envoyer vers plusieurs récepteurs en même temps.
- **Concentration** - plusieurs équipements peuvent demander la prise en compte en même temps, tel qu'une requête de prise de mesure simultanée de plusieurs capteurs.
- **Périodicité** : plusieurs traitements peuvent être périodiques tel que le prélèvement périodique des mesures de quelques capteurs (mesures cycliques).

2.9.3. Caractéristiques du trafic

Au contraire d'un réseau local de bureau où les messages ont la même priorité, les données échangées dans un réseau industriel varient selon leur priorité en termes d'urgence de transfert, et selon leurs tailles :

a. Nature des messages échangés

Un réseau industriel évolue en général en temps réel où la contrainte temporelle est très importante, plusieurs événements doivent être pris en charge en temps réel et leur retard peut engendrer des dégâts catastrophiques. A cet effet les messages échangés peuvent être :

a. Urgents

Ce type de message peut être trouvé dans le niveau terrain tel que le transfert d'une information d'alarme (dépassement de seuil permis), ou l'ordre de fermeture d'une vanne,...etc.

b. Non urgents

Tout autre type de message tel que le chargement d'un programme exécutable sur une machine ou le transfert d'un rapport.

c. Taille des messages

La charge du trafic peut être très irrégulière en taille de message et en leur nombre, tout dépend du niveau concerné. Ces messages peuvent être :

- **Courts** : tel que la valeur d'une mesure envoyée par un capteur, ou un ordre de démarrage pour une machine.
- **Longs** : tel qu'un fichier ou un programme.

2.9.4. Qualités requises

- **Fiabilité** : la plupart des machines industrielles représentent des sources sérieuses de perturbation des communications. Ainsi, les messages acheminés nécessitent un très haut degré de fiabilité pour pouvoir être transmis sans erreurs, sans perte et sans retard, et cela au niveau physique ou au niveau des protocoles.
- **Performance** : il faut garantir la continuité du fonctionnement même en régime dégradé c'est-à-dire ne pas de panne de certains composants..

Remarque 5 - Au niveau physique les réseaux locaux industriels doivent être dotés de moyens résistant aux perturbations, aux chocs, à la chaleur, ...etc. tel que les câbles et les connecteurs blindés. Les moyens de communication utilisés à chaque niveau doivent répondre en termes de débit aux besoins de ce niveau. Au niveau des protocoles il faut opter pour les protocoles déterministes qui garantissent la livraison des données dans des délais connus pour pouvoir répondre aux exigences du temps réel.

2.10. Les réseaux locaux industriels (RLI) et le modèle OSI

Les RLI ne sont pas construits sur le modèle OSI à 7 couches (contrairement aux réseaux informatiques). Un RLI est basé sur la restriction du modèle OSI à 3 couches. Les couches 3 à 6 sont vides : Pas d'interconnexion avec un autre réseau. La couche liaison (couche 2) est divisée en deux sous-couches:

- La sous-couche L.L.C. (Logical Link Control) : filtrage des messages, recouvrement des erreurs bit/trame, notification des surcharges.
- La sous-couche M.A.C. (Medium Access Control) : mise en trame (émission/réception), détection et signalisation du bit erreur, arbitrage (gestion de l'accès au medium).

Dans le cas des réseaux locaux industriels (RLI), seulement 3 couches sont spécifiées :

- Couche 1 : couche « **Physique** »,
- Couche 2 : couche « **Liaison de données** »,
- Couche 7 : couche « **Application** ».

Les raisons concernant l'absence des autres couches sont les suivantes :

- Couche 3 : Aucun besoin de routage dans les réseaux locaux industriels car les stations sont toutes connectées sur le même réseau physique ;
- Couche 4 : les messages sont très courts (contenu dans une seule trame) : pas besoin de segmentation ;
- Couche 5 : les concepts de session ne sont pas supportés sur les RLI ;

Numéro	Nom de la couche
1	Application
2	Vide
3	
4	
5	
6	Liaison
7	Physique

- Couche 6 : toutes les applications donnent le même sens à la définition d'une Information : il n'y donc pas besoin de présentation.

2.11. Classification des RLI

Plusieurs classifications sont possibles:

- **Fonctionnelle:** fonction à réaliser, champs d'application, trafic à supporter...
- **Stratégique:** Normalisation, disponibilité, évolutivité, interopérabilité...
- **Technique:** topologie, modèle de coopération, méthode d'accès, sécurité...

2.12. Exemple de types de réseaux industriels

- Bus des capteurs et actionneurs (Sensor Bus) : AS-i.
- Bus de terrain (Device Bus) : Modbus+, Profibus, Device Net.
- Réseaux locaux industriels (RLI) : Fipway, Profibus ; FMS, Modbus.
- Réseaux informatiques (DataBus) : Ethernet MMS.

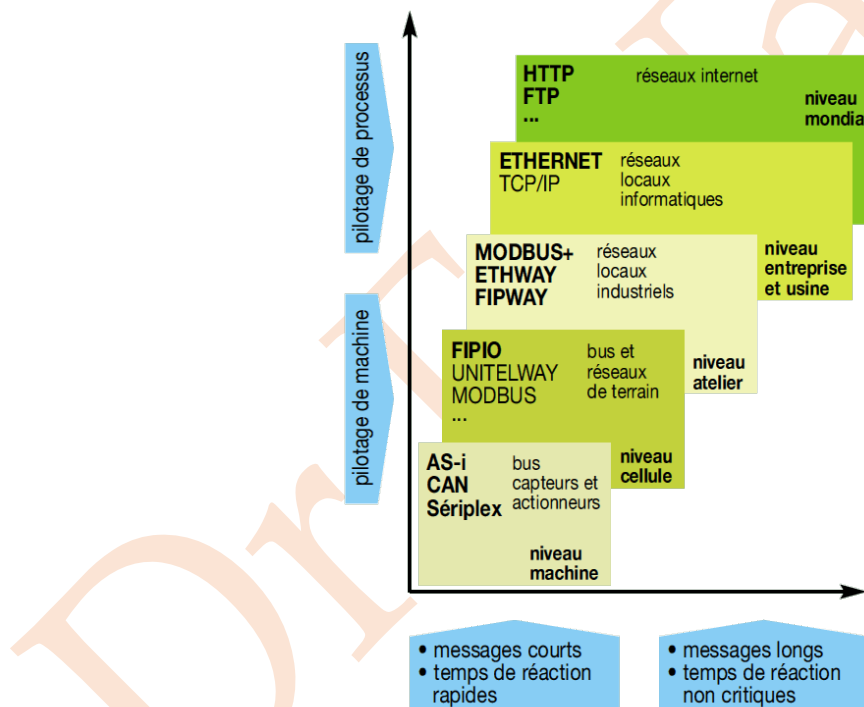


Figure 2.7 - Quelques standards de réseaux industriels

Cependant, tous les RLI diffèrent par :

- Le support physique de communication (conducteurs métalliques, fibres optiques, Hertzien, etc.).
- La topologie (étoile, bus, anneau, arbre).
- La gestion de l'accès au support de communication (maître-esclave, aléatoire, jeton, etc.).
- Le codage des données sur le support de communication. Ce codage peut être "large bande" (porteuse modulée) ou en "bande de base".

2.13. Le support physique de communication (le média)

Le support de communication fait partie de couche 1 du modèle OSI. Il doit être décrit dans le document normalisant le type de technologie employée. On distingue :

2.13.1. Le câble coaxial

Le câble coaxial est un câble cylindrique composé de deux conducteurs électriques concentriques (différents et dits asymétrique).

On distingue deux types : Thin (câble fin) lié au protocole 10b2 (presque non utilisé) et Thick (câble épais) lié au standard 10b5, qui est sensible aux perturbations électromagnétiques.

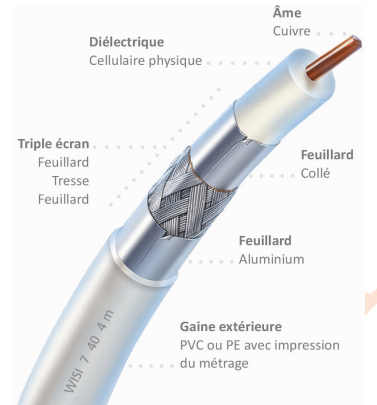


Figure 2.8 - Câble coaxial

2.13.2. La paire torsadée

La paire torsadée est composée de deux fils conducteurs enroulés l'un autour de l'autre (plusieurs paires sont regroupées à l'intérieur d'un même câble).

Il existe quatre types de câbles :

UTP (Unshielded Twisted Pair) une catégorie non blindée. En milieu perturbé, son utilisation est bien évidemment à bannir. Deux blindages sont possibles.

FTP (Foiled Twisted Pairs) : paires torsadées entourées dans leur ensemble d'une feuille d'aluminium (écran). Standard européen.

SFTP (Shielded Foiled Twisted Pairs) et **SSTP (Shielded Shielded Twisted Pairs)** : câbles blindés, dans leur ensemble ou paire par paire. A utiliser dans les locaux avec fortes perturbations électromagnétiques (CEM).

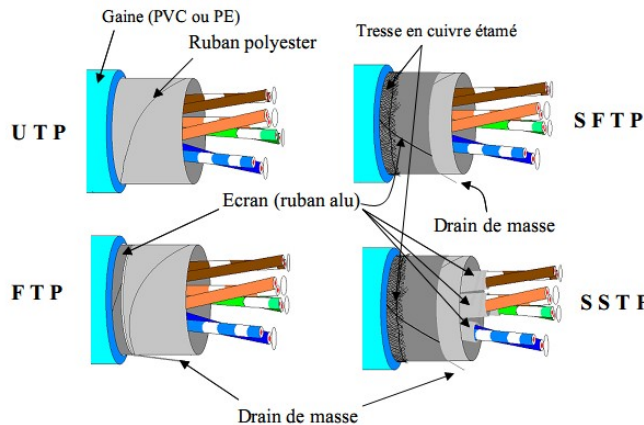


Figure 2.9 - Câbles à paire torsadée

Remarque - Les câbles utilisés en industries sont renforcés selon le cas d'utilisation et les conditions à la quelles sont exposés tel que les températures basses et élevées les produits chimiques, les chocs, ... etc.

2.13.3. La fibre optique

La fibre optique est un conducteur de signaux lumineux, qui est construit soit en silice (pure et dopé), soit en matière plastique.

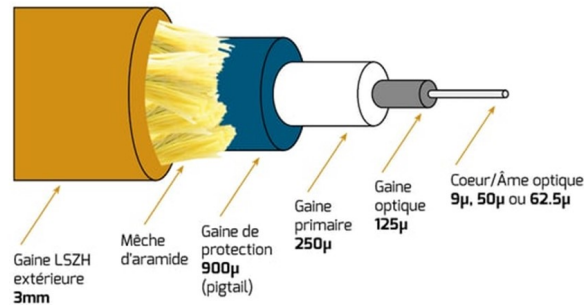


Figure 2.10 - Composition d'une fibre optique

2.14. Les méthodes d'accès

La méthode d'accès constitue la technique employée pour gérer le droit d'accès au média. Elle fait partie des attributions de la couche 2, et plus précisément de la sous-couche MAC, quand celle-ci est séparée du LLC. On distingue deux classes de méthodes :

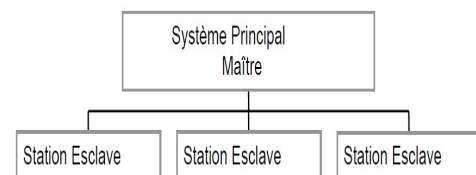
- Méthodes statiques : la bande passante du support est répartie une fois pour toute entre les stations.
- Méthodes dynamiques : le support n'est alloué qu'à la station qui veut parler, au moment où elle veut parler.

Dans le cadre des RLI, on utilise surtout les méthodes dynamiques suivantes : accès maître-esclave, accès aléatoire, accès par jeton.

2.14.1. Maître esclave

Une station spéciale joue le rôle du maître et les autres jouent le rôle des esclaves. Elles peuvent être orateur ou auditeur. Le principe de fonctionnement est tel que :

- Questionné un ou plusieurs esclaves à un moment donné par le maître.
- L'esclave doit répondre dans un temps donné et il n'a pas le droit d'initier un dialogue
- Un dialogue entre deux esclaves passe par le maître pour éviter toute collisions



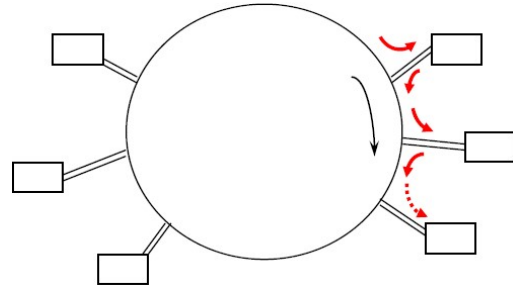
2.14.2. Accès aléatoire

Toutes les stations jouent le même rôle. Avant d'émettre, une station écoute le réseau. Si aucune transmission n'est en cours, elle émet son message, tout en l'écoutant. Si une collision intervient (une autre station émet simultanément), elle réitère sa tentative.

2.14.3. Accès par jeton

Toutes les stations jouent le même rôle et une autorisation d'émettre «le jeton» circule sur le réseau :

Avant d'émettre, une station attend un jeton libre. Lorsqu'il passe il y attache son message et le propage. S'il contient un message qui lui est destiné, elle en prend connaissance et propage le jeton.



Cette technique peut être utilisée dans une topologie en anneau ou en bus.

- Un jeton circule sur le réseau, inclus dans la trame
- La trame passe de station en station (régénérée)
- Le jeton est libre ou occupé (droit d'émettre)
- Trame = jeton + adresse + message
- La trame retourne jusqu'à l'émetteur: lecture des indicateurs.

2.14.4. CSMA/CA (carrier sense multiple access / collision avoidance)

C'est une technique qui peut être appliquée dans les topologies de type bus, elle donne une priorité d'accès au bus pour chaque trame matérialisée par un identificateur. En cas de collision c'est la station de plus haute priorité qui prend le bus. Son principe est le suivant :

- Lorsque le bus est libre, émission bit à bit de l'identificateur puis écoute la porteuse.
- Un bit à 1 (récessif) est masqué par un bit à 0 (dominant)
- Toute station lisant un bit différent de celui qu'elle vient d'émettre passe en réception. Puis réémet immédiatement lorsque la porteuse est de nouveau libre.

2.14.5. CSMA / DCR (Déterministic Collision Resolution)

C'est l'évolution du protocole CSMA/CD pour la résolution de la collision d'une façon déterministe, son principe est le suivant :

- Chaque site est repéré par un numéro (son adresse ou autre caractéristique) et connaît le nombre de sites du réseau,
- DCR effectue une suite de partitionnements dichotomiques sur les sites qui ont le droit de réémettre,
- On appelle « époque » l'intervalle de temps qui s'écoule entre la collision initiale et la fin de son traitement,
- On peut donner une borne supérieure à l'époque (au temps de latence),
- Avantage : assure qu'après une collision toutes les trames concernées sont réémises dans un délai donné.
- Inconvénients : pendant ce temps, les autres stations n'ont pas accès au médium.

Dr.F.N.Vafa

3

Le Bus CAN

3. Bus CAN (Controller Area Network)

Depuis les années 1960 la **longueur** de câble utilisée dans l'automobile ne cesse de croître pour dépasser 2000 m en 1995. Le **nombre des connexions** atteint 1800 à cette même date. La fiabilité et la sécurité sont menacées.

Les normes en matière de **pollution** et de consommation d'énergie obligent les constructeurs à multiplier les capteurs et actionneurs intelligents dans leurs véhicules accélérant ce processus de multiplication des câbles et connexion depuis une vingtaine d'années.

Le besoin de sécurité accrue (ABS, ESP, AIR-BAG...) et la demande de confort (mémoire des réglages de conduite, climatisation régulée par passager, système de navigation...) ne font que renforcer cette tendance.

La société BOSCH développe dès le début des années 1980 une solution de multiplexage des informations circulant à bord de la voiture. Le bus CAN apparaîtra et sera normalisé dans les années qui suivent (dès 1983).

Les composants CAN se démocratisent et investissent d'autres secteurs de l'industrie (moissonneuses, pelleteuse, médical, produits numériques, systèmes électrotechnique...).

3.1. Bus CAN et modèle OSI

Le protocole CAN présente quatre couches du modèle OSI : 1, 2, 3 et 7.

Tableau 3.1 - le protocole CAN et le modèle OSI

OSI	OSI	TCP/IP	Bus CAN
Couche application	Niveau application	-	Spécifié par l'utilisateur
Couche présentation	Niveau présentation	-	-
Couche session	Niveau session	-	-
Couche transport	Niveau message	TCP	CanOpen protocol Network / presentation layer
Couche réseau	Niveau paquet	IP	
Couche liaison données	Niveau trame	Acces reseau	MAC /LLC
Couche physique	Niveau physique	Acces reseau	PLS/PMA/MDI

3.2. La couche Physique

Pour la couche physique, le bus CAN utilise des paires différentielles torsadées (réduction des perturbations). On distingue ainsi deux normes:

- ISO 11898-3 (2006) : CAN « low-speed, fault tolerant »: (125 kbits/s, 2 à 20 nœuds, longueur limitée par la capacité parasite).
- CAN « high-speed » ISO 11898: (125 kbits/s à 1Mbits/s, paire 120 ohms, 2 à 30 nœuds, 40m à 1Mbits/s).

3.2.1. Topologie du bus

CAN est un bus de données série bidirectionnel **half-duplex** dans le domaine automobile, mais est utilisé en unidirectionnel **simplex** dans l'aéronautique, pour obtenir un comportement déterministe. Une transmission en différentiel sur deux lignes CAN_H/CAN_L (Can High/Can Low), et Communication asynchrone avec topologie en bus.

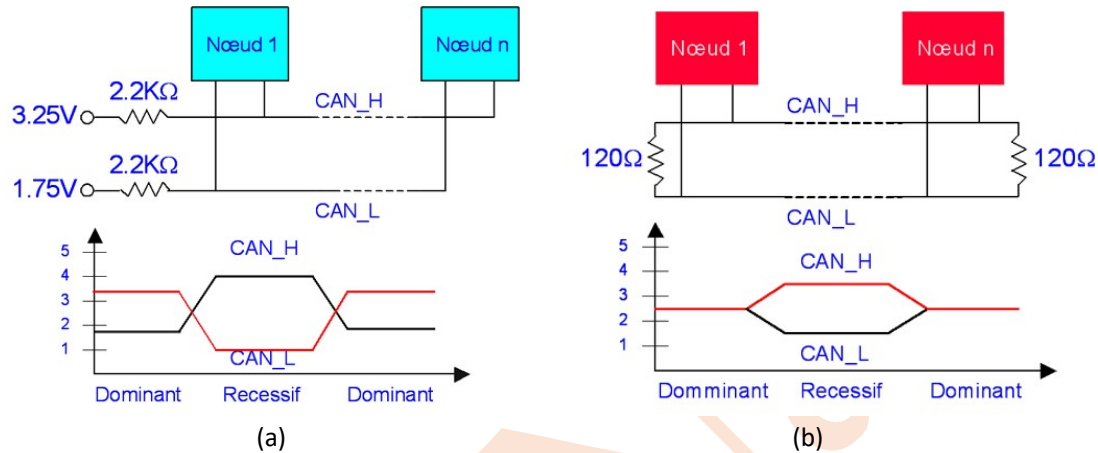


Figure 3.1 - Transmission CAN bus : (a) ISO11519-2 Low Speed CAN < 125Kbps ,
(b) : ISO11898 High Speed CAN 125Kbps - 1Mbps

• Avantages

- Configuration simple
- Câblage réduit
- Ordre des nœuds indifférent

• Désavantages

- L'ensemble des nœuds est affecté en cas de défaut
- Une défaillance est plus délicate à diagnostiquer
- Outils de diagnostic et de maintenance spécialisés

3.2.2. Codage NRZ : bits dominants et récessifs

- Utilisation de la méthode du NRZ (Non Return To Zero).
- Pendant la durée totale du bit, le niveau de tension de la ligne est maintenu
- Le niveau 0 est dominant - le niveau 1 est récessif.



3.2.3. Le bit stuffing

Dans le cas où un grand nombre de bits identiques se succèdent, on utilise le Bit Stuffing. Il impose au transmetteur d'ajouter automatiquement un bit de valeur opposée lorsqu'il détecte 5 bits consécutifs dans les valeurs à transmettre (bit ignoré par le récepteur).

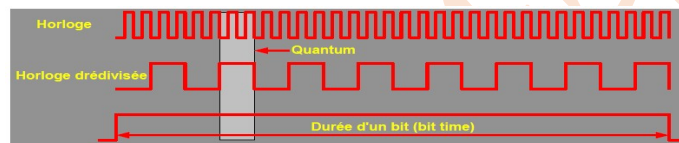
Figure 3.1 – Bit stuffing



3.2.4. Le bit timing

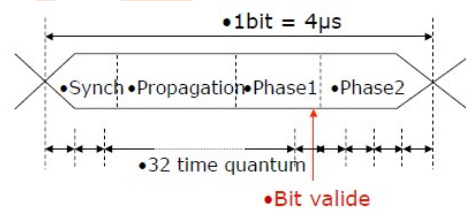
On définit la plus petite base de temps reconnue sur un bus CAN comme étant le *Time Quantum*. Cette base de temps est une fraction de l'horloge de l'oscillateur du bus. Un bit dure entre 8 et 25 quantum.

Figure 3.2 – Bit timing



3.2.5. Lecture d'un bit

- 1 bit correspond à 32 coups d'horloge.
- La lecture du bit devra être faite au 20^{ème} coup d'horloge
- 250 Kbps
- ISO11898 : High Speed CAN



3.2.6. Longueur du bus et débit

Le débit du bus CAN est relative à la longueur du bus:

Tableau 3.2 – Longueur du bus et débit

Débit (Mbit/s)	Longueur (m)	Longueur d'un débit (µs)
1	30	1
800	50	1.25
500	100	2
250	250	4
125	500	8
62.5	1000	16
20	2500	50
10	5000	100

3.2.7. Support physique CAN norme ISO 11898-2

Le support se caractérise par :

- Une paire par émission différentielle. On mesure la différence de tension entre les deux lignes (CAN H et CAN L)
- Terminaison par des résistances de 120 Ohm à chacun des bouts.

- Différentes connectiques (RS485, usb, ...).
- Fibre optique ou transmission hertzienne possible.

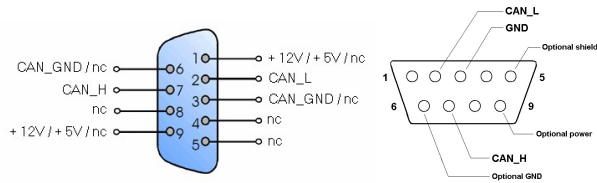


Figure 3.2 – Support physique du bus CAN

3.2.8. Types de noeuds CAN

On peut trouver quatres types de noeuds :

- Les gestionnaires de protocole
- Les microcontrôleurs à gestionnaire CAN intégré
- Les interfaces (*transceivers* - ou encore *drivers*) de lignes
- Les Serial Linked Input Output - SLIO

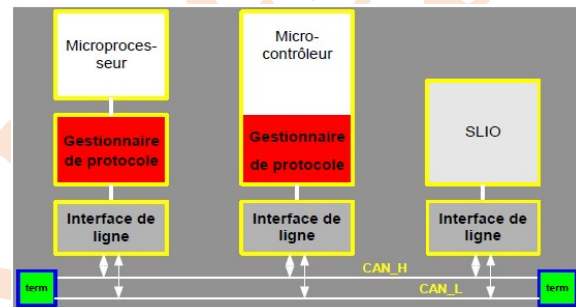


Figure 3.3 – Types de noeuds

3.3. Trames CAN

3.3.1. Structure Générale d'une trame CAN

Une trame de données se compose de 7 champs différents :

SOF	Champ d'arbitrage	Champ de commande	Champ de données	Champ de CRC	ACK	EOF
-----	-------------------	-------------------	------------------	--------------	-----	-----

- Le début de trame ou SOF (Start Of Frame) matérialisé par 1 bit dominant (remporte en cas de conflit 0/1),
- Le champ d'arbitrage (identificateur) composé de 12 ou 30 bits fixe le niveau de priorité du message,
- Le champ de commande (ou de contrôle) composé de 6 bits,
- Le champ de données composé de 0 à 64 bits (de 0 à 8 octets),
- Le champ de CRC composé de 16 bits (contrôle d'erreur),
- Le champ d'acquiescement composé de 2 bits,
- La fin de trame ou EOF (End of Frame) matérialisée par 7 bits récessifs (non prioritaire en cas de conflit 0/1).

3.3.2. Trames du bus CAN

Le bus CAN utilise quatre types de trame :

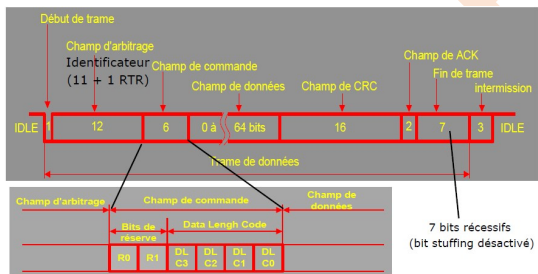
- Une trame de données : une trame au format standard (spécification CAN 2.0A) et une trame au format étendu (spécification CAN 2.0B).
- Une trame de requête.
- Une trame d'erreurs.
- Une trame de surcharge.

3.3.2.1. Trame de données (data frame)

- Standard CAN 2.0A le plus utilisé (CAN2.0B possible via les bits R0 - R1)

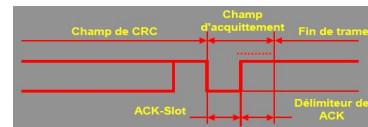
Le champ CRC est composé de la séquence de CRC sur 15 bits suivi du CRC Delimiter (1 bit récessif) :

$$P(X) = X_{15} + X_{14} + X_{10} + X_8 + X_7 + X_4 + X_3 + 1$$



Le champ ACK

- 2 bits = ACK Slot + ACK Delimiter (1 bit récessif)
- Le nœud en train d'émettre envoie un bit récessif pour le ACK Slot
- Le nœud ayant reçu correctement le message en informe le transmetteur en envoyant un bit dominant pendant le ACK.



3.3.2.2. Trame de requête

Contrairement au cas précédent, le bit RTR est récessif. C'est donc ce bit qui différencie une *data frame* d'une *remote frame*. Pour mise en place d'un fonctionnement Requête-Reponse. Cette trame est moins prioritaire que la trame de données Les Remote Frame sont peu utilisées en pratique



Figure 3.3 – La trame de requête

3.3.2.3. Trames d'erreurs

- Les 8 bits de l'erreur Délimiteur donnent l'autorisation aux nœuds du réseau de reprendre leurs communications

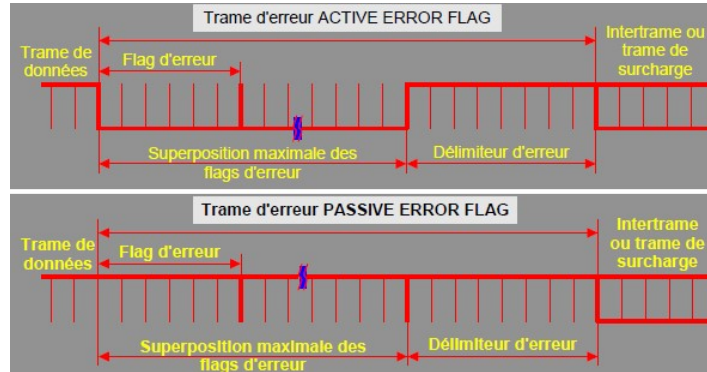


Figure 3.4 - La trame d'erreurs

Des recherches ont montré que le taux d'erreurs non détectées par le protocole CAN est très faible : 1 erreur non détectée pour 1000 années de fonctionnement.

3.3.3. Méthode d'accès MAC

- Basée sur la diffusion broadcast approche Ethernet
- Chaque station connectée au réseau écoute les trames transmises par les stations émettrices.
- Chaque nœud décide quoi faire du message, s'il doit y répondre ou non, s'il doit agir ou non, etc...
- Le protocole CAN autorise différents nœuds à accéder simultanément au bus.
- Arbitrage par priorité : CSMA CD/ AMP (*Carrier Sense Multiple Acces with Collision Detection and Arbitration Message Priority*).

3.3.3.1. La gestion des erreurs

Mécanisme de confinement pour déterminer si le bus :

- N'est pas perturbé du tout.
- Est peu perturbé ou un peu plus gravement perturbé.
- Est tellement perturbé qu'il doit passer en bus off.
- Le contrôleur du bus passe dans le mode bus off lorsque trop d'erreurs se sont produites.
- Il se place dans l'état de sommeil (sleep mode).
- Il peut reprendre son activité si le taux d'erreur diminue.
- Tous les (micro) contrôleurs conformes CAN possèdent deux Compteurs internes bien distincts: - le transmit error counter et - le receive error counter.

De 0 à 127 inclus : état error active.

- Le nœud continue de recevoir et d'émettre normalement.

- Erreur détectée → envoi de *active error* : de 128 à 255 inclus : état error passive
- Le nœud continue de recevoir et d'émettre normalement.
- Erreur détectée → envoi de *passive error flag* : Au-delà de 255 : état de bus off.
- Le nœud en question cesse de recevoir et d'émettre normalement.
- Le protocole autorise un nœud *bus off* à redevenir *error active* (en ayant remis tous ses compteurs d'erreurs à zéro) après que celui-ci ait observé, sans erreur sur le bus, 128 occurrences de 11 bits récessifs.

3.4. Le bus CAN 2.0B

3.4.1. Format des trames

Le bus CAN2.0B est compatible avec le CAN2.0A

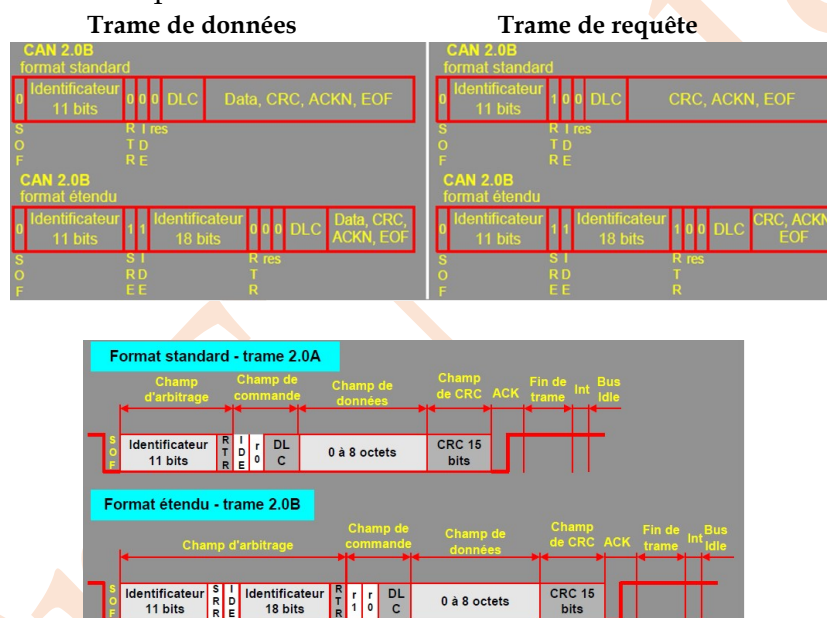


Figure 3.5 - La trame C2.0 B

3.4.2. Les deux versions du bus CAN

Il existent deux versions du bus CAN : CAN low speed et Can high speed.

Tableau 3.3 - Les version du bus CAN

Paramètres	CAN <i>low speed</i>	CAN <i>high speed</i>
Débit	125 kb/s	125 kb/s à 1 Mb/s
Nombre de nœuds sur le bus	2 à 20	2 à 30
Courant de sortie (mode émission)	> 1 mA sur 2,2 kΩ	25 à 50 mA sur 60Ω
Niveau dominant	CAN H = 4V CAN L = 1V	CAN H = 3,5 V CAN L = 1,5 V
Niveau récessif	CAN H = 1,75V CAN L = 3,25V	CAN H = 2,5 V CAN L = 2,5 V
Caractéristique du câble	30 pF entre les câbles de ligne	2*120Ω
Tensions d'alimentation	5V	5V

3.4.2.1. Niveaux de tension et états logiques du bus CAN

Les niveaux utilisés entre les deux lignes de la paire pour le « CAN LOW-SPEED » et « CAN HIGH SPEED » sont définis par rapport à 2,5V.

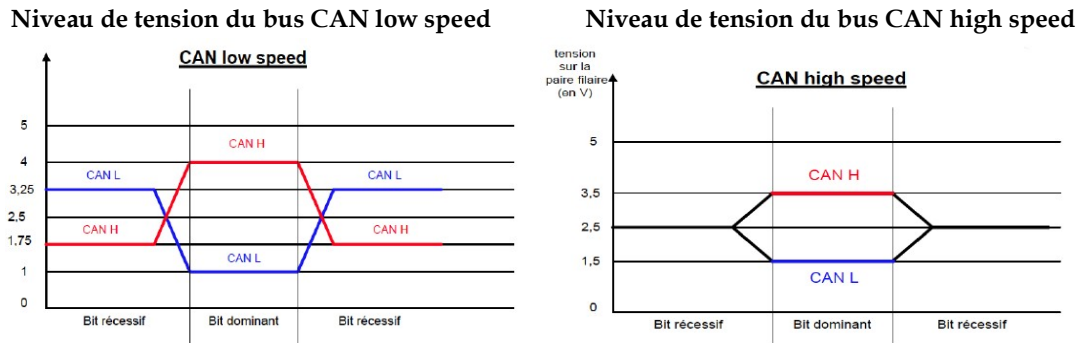


Figure 3.6 - Les deux niveaux logique du bus CAN

3.4.2.2. Intérêt de la liaison différentielle

La paire de fils étant dans le même environnement, le même parasite apparaît nécessairement sur les deux lignes à la fois. La lecture en mode différentiel permet de s'affranchir de l'altération symétrique du signal ou commun aux 2 fils.

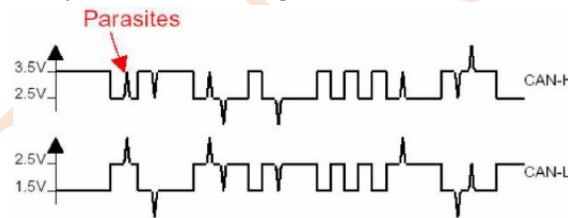


Figure 3.7 - Les liaisons différentielles

3.5. Exemple du BUS CAN automobile

Dans un environnement automobile tel que mentionné dans la figure 3.8 , les principaux objectifs qui ont prévalu à la mise en place du bus CAN sont les suivants:

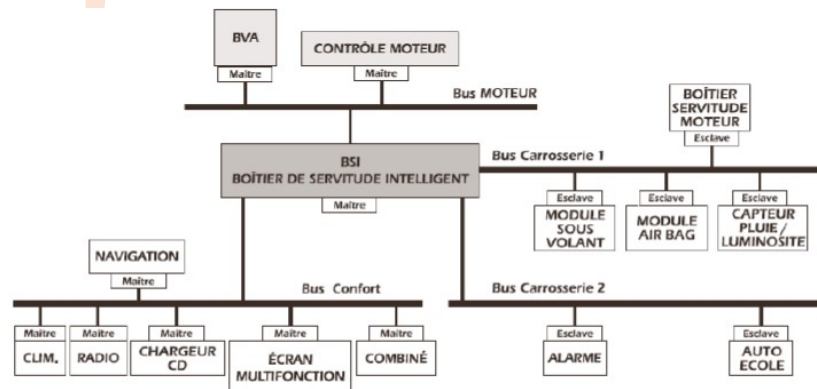


Figure 3.8 - Le bus CAN dans l'automobile

- Réduire le nombre de fils pour diminuer le poids et le coût du câblage dans les véhicules,
- Rendre plus facile l'implantation en conception et en montage des nouveaux équipements,
- Prendre en compte des fonctions complexes qui peuvent évoluer (être reprogrammées...).

Exemple- Le choc frontal

En cas d'un choc frontal, on diffuse l'information :

- Coupure alimentation carburation
- Déverrouillage des portes
- Allumage warning
- Appel d'urgence smartphone
- Localisation GPS.

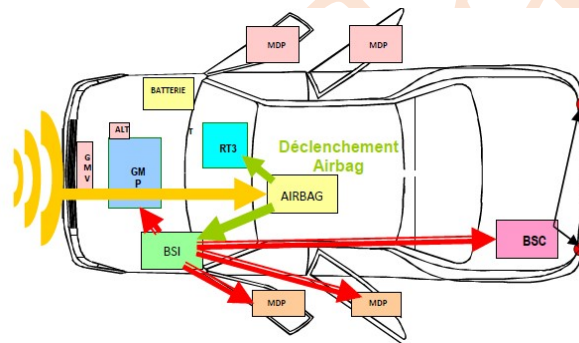


Figure 3.9 - Exemple du choc frontal.

Le canal de communication ainsi créé permet de véhiculer des quantités d'informations beaucoup plus importantes. On l'exploite pour le paramétrage, les outils de diagnostics, le chargement de programmes et il donne accès en tout point de l'installation, unité de contrôle, mais aussi capteurs, variateurs, actionneurs, etc.

Dr.F.N.Vata

4

Interface actionneurs
capteurs AS-i

4. Bus de Terrain AS-I - Interface actionneurs capteurs

En 1991, un groupe de 11 sociétés spécialisées dans les capteurs/actionneurs a défini un bus de terrain afin de pouvoir interconnecter facilement les capteurs et les actionneurs, ainsi est né le concept ASI (Actuator Sensor Interface).

Depuis 1992 une association ASI, qui compte à ce jour 50 membres, est chargée de coordonner, certifier et standardiser le bus.

4.1. Introduction

AS-i est souvent considéré comme la solution la plus économique pour interconnecter des capteurs et actionneurs de terrain. Cela provient des économies de câblage mais également de la simplicité du système tant à la conception qu'à la mise en œuvre.

Bien qu'il ait connu plusieurs évolutions, AS-i reste dédié aux applications relativement simples, c'est pourquoi il est très souvent utilisé en complément d'un bus de terrain plus évolué (ex :PROFIBUS) ou d'un réseau Ethernet industriel.

AS-I est un standard international (la norme IEC 62026-2) pour le plus bas niveau de réseaux d'automatismes : bus de Capteurs / Actionneurs.

4.2. Objectif

- Remplacer le câblage traditionnel au niveau terrain par une paire non blindée
- Possibilité de raccorder des capteurs et actionneurs binaires de différents constructeurs sur un bus de communication sérielle.
- Bénéficier des nouvelles fonctions de capteurs/actionneurs (diagnostic, paramétrage, maintenance automatique).
- Simplifier et minimiser les modifications du câblage et de la connectique associée.

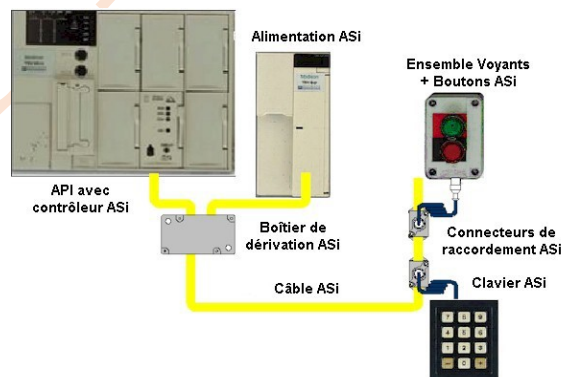


Figure 4.1 - Exemple du bus ASI.

4.3. Positionnement de l'AS-i

AS-i est particulièrement adapté aux systèmes et équipements simples. D'autres réseaux sont techniquement capables de couvrir le champ de AS-i, ils se révèlent souvent plus onéreux et donc inadaptés du point de vue économique.

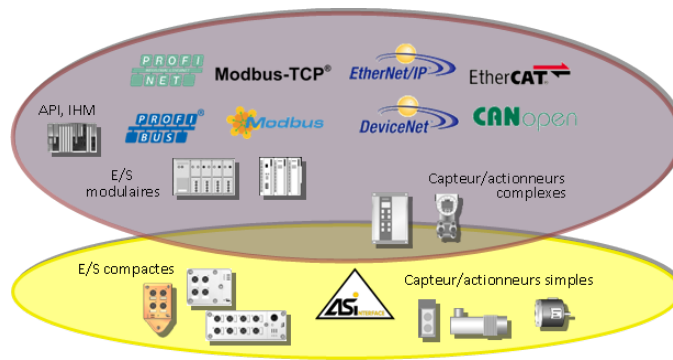


Figure 4.2 – Positionnement de l’AS-i.

4.4. Principaux avantages :

Les avantages d’un tel bus de terrain sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4.1 – Les avantages du bus de terrain AS-i

Simplicité	<ul style="list-style-type: none"> • Une seule paire pour l'alimentation et la transmission • Transmission données et puissance sur 2 fils non blindés, non torsadés sans aucune terminaison • Système de raccordement par prise vampire
Flexibilité	<ul style="list-style-type: none"> • Topologie libre, Grande modularité et évolutive
Performance	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de scrutation max 5 ms, Nombreuses passerelles disponibles. • Concept de transmission robuste et efficace
Standardisation	<ul style="list-style-type: none"> • Standardisation électrique ; existence de “profils” (interchangeabilité). • Composant unique pour tous les constructeurs

4.5. Caractéristiques techniques

4.5.1. Couche physique

- Le support de communication standard est une paire non torsadée non blindée.
- L'alimentation et la communication sont transmises sur la même paire.
- La méthode de transmission est une modulation de courant type APM (Alternate Pulse Modulation).
- Débit fixe: **167 kb/s**.
- Longueur de câble max sans répéteur : **100 m**.

4.5.2. Couche liaison et protocole

- Méthode d'accès de type Maître-esclave (mono-maître).
- Nombre d'esclaves max : **62** (Adressage étendu).
- Données transmises sur un format **4 bits**.
- Interopérabilité et interchangeabilité des stations suivant les Profils définis.

- Cohabitation sur le même bus d'équipements standard et d'organes de sécurité (AS-i Safety at work).

4.5.3. Déploiement du réseau

AS-i est un réseau robuste qui assure une transmission fiable et de qualité si l'on respecte les règles d'installation préconisées. Il faut notamment veiller à la ségrégation des câbles de données et de puissance.

Le câble d'installation le plus couramment utilisé est un câble plat à profil asymétrique de couleur jaune développé spécifiquement pour AS-i.

La connexion des équipements se fait suivant le principe d'une prise vampire.

Il est également possible d'utiliser un câble rond $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ avec des entrées par presse-étoupe (P.E.).

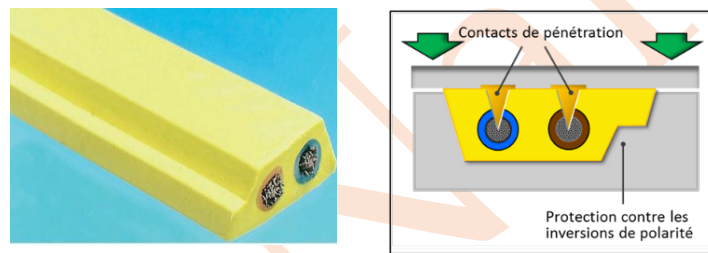
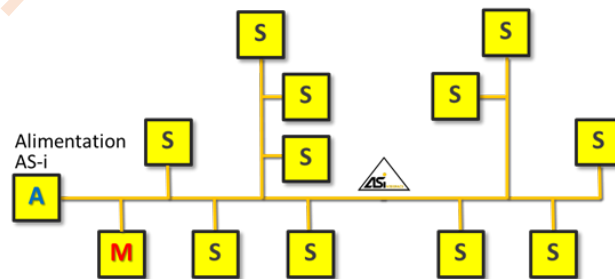


Figure 4.3 - Type de câble dans un bus AS-i

4.5.4. Topologie

Sur AS-i, la topologie est libre, les dérivations et les cascades sont autorisées. Il faut cependant veiller à rester dans la limite des **100 m** de câble posé. À noter que, le Maître ou l'alimentation peuvent être placés en un point quelconque du réseau.

Figure 4.4 - La topologie



4.5.5. Composants d'infrastructure

En raison de sa spécificité, le câblage d'un bus AS-i demande des accessoires spécifiques.

Le câble plat AS-i est disponible en plusieurs matériaux pour s'adapter aux différentes conditions environnementales. Des répartiteurs passifs permettent de réaliser le câblage rapidement.

4.5.6. Exemple d'accessoires

Pour raccorder deux câbles plats,



Version Inox en IP 69K



Module de connexion pour 2 câbles plats

Pour créer une dérivation M12



Dérivation M12 pour AS-i et 24V auxiliaire



Prise vampire M12

4.5.7. Extension du réseau

La longueur du réseau est conditionnée par la déformation du signal et par la chute de tension en ligne. La distance maximale entre deux esclaves ne doit pas dépasser 100m. Cette distance peut être augmentée par l'adjonction de répéteurs avec les limites suivantes :

- Deux répéteurs au maximum par ligne,
- La distance maximale avec le maître ne doit pas dépasser **300m**,
- l'utilisation d'une terminaison passive étend la distance de **100m à 200m**,
- une terminaison active permet d'atteindre **300m**.

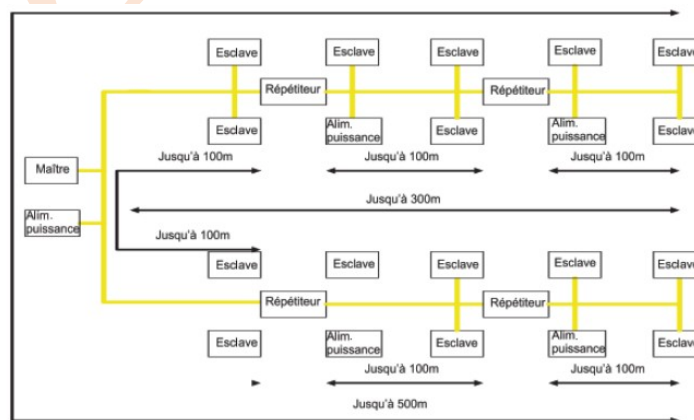


Figure 4.5 - Longueur du réseau

Il existe de différents composants permettant de repousser la limite de 100 m.

- **Terminaison de ligne et tuner**

Le tuner qui est une résistance de ligne auto ajustable lui permet d'aller jusqu'à **300 m**. La terminaison ou tuner se place à l'extrémité la plus éloignée du bus, et à l'opposé du maître.

Figure 4.6 - Exemple de terminaison AS-i



- **Répéteur**

Un répéteur assure un lien entre 2 segments AS-i de **100 m** max chacun. Il procure également une isolation galvanique. Chaque segment nécessite sa propre alimentation, le répéteur est en général alimenté par le bus.

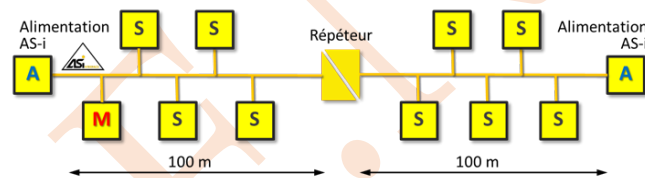


Figure 4.7 - Exemple de topologie AS-i avec répéteur

Remarque- Indépendamment des considérations de communication, il faut vérifier que le courant et la tension disponible sont suffisants pour alimenter toutes les stations: $U_{\text{esclave}} > 26,5V$

- **Alimentation**

L'alimentation AS-i remplit les 4 fonctions:

- Alimenter le réseau avec une tension nominale de **30 Vdc**.
- Réaliser une séparation sûre entre le primaire (puissance) et le réseau.
- Equilibrage des tensions.
- Découplage des signaux au codage APM.

Une alimentation AS-i spécifique est donc obligatoire, elle ne peut être remplacée par une alimentation standard.

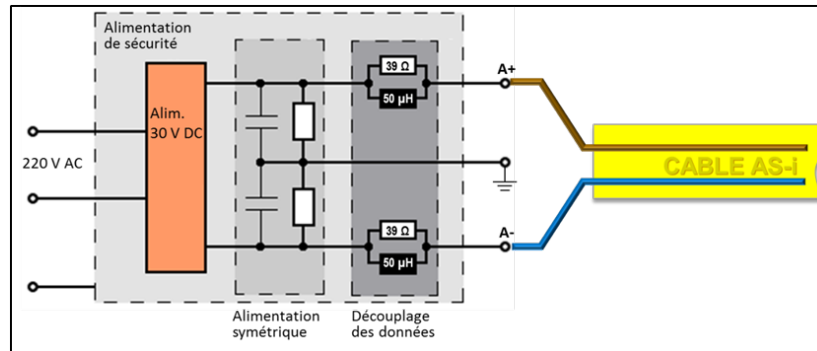


Figure 4.8 - Schéma de principe d'une alimentation AS-i

Remarque-

- i. Sous certaines conditions, on peut utiliser une alimentation 24V classique, voir AS-i Power 24.
- ii. Aucun des conducteurs de bus AS-i ne doit être relié à la terre sous peine de dysfonctionnement. Certains composants (Alimentation ou Maître) intègrent un contrôleur d'isolement.

• Alimentation auxiliaire

Le bus AS-i permet la télé-alimentation des stations, cependant le courant maximum autorisé sur le bus est de 8A. Il existe donc une solution pour distribuer une alimentation auxiliaire standard de 24V aux différents esclaves. La technique utilisée est la même que pour le bus AS-i; câble plat et connexion vampire. La différence réside dans couleur du câble qui est noir.



Figure 4.9 - Type de câble du bus AS-i

Remarque- L'utilisation d'un câble noir pour la transmission de signaux AS-i ou du câble jaune pour l'alimentation auxiliaire n'est pas autorisé.

4.5.8. Codage APM (Alternate Pulse Modulation)

La transmission de l'information se fait par courant porteur. La transmission de l'information est assurée par le maître qui superpose au signal d'alimentation une tension alternative de 2v crête (modulation) :

Le codage APM a été spécifiquement développé pour le bus AS-i. Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- La modulation de courant permet la transmission simultanée de l'information et de l'alimentation.
- Les niveaux 0 et 1 sont codés par des fronts et non par des niveaux (Manchester coding).
- L'horloge est transmise dans le signal.
- La forme du signal est en \sin^2 ce qui le rend moins sensible aux perturbations CEM.

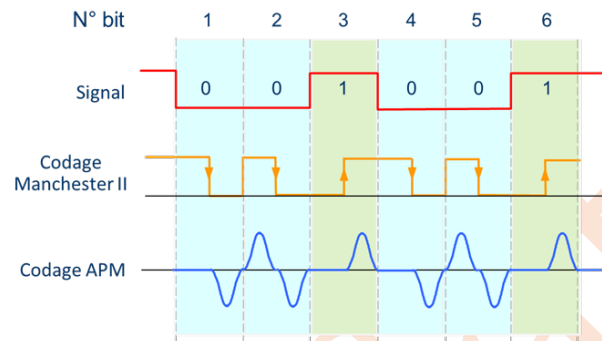


Figure 4.10 - Principe de codage APM

4.5.9. Maître AS-i

Il existe deux grandes familles de maîtres AS-i :

- Passerelles entre AS-i et un bus supérieur.
- Coupleur AS-i insérés dans l'automate.

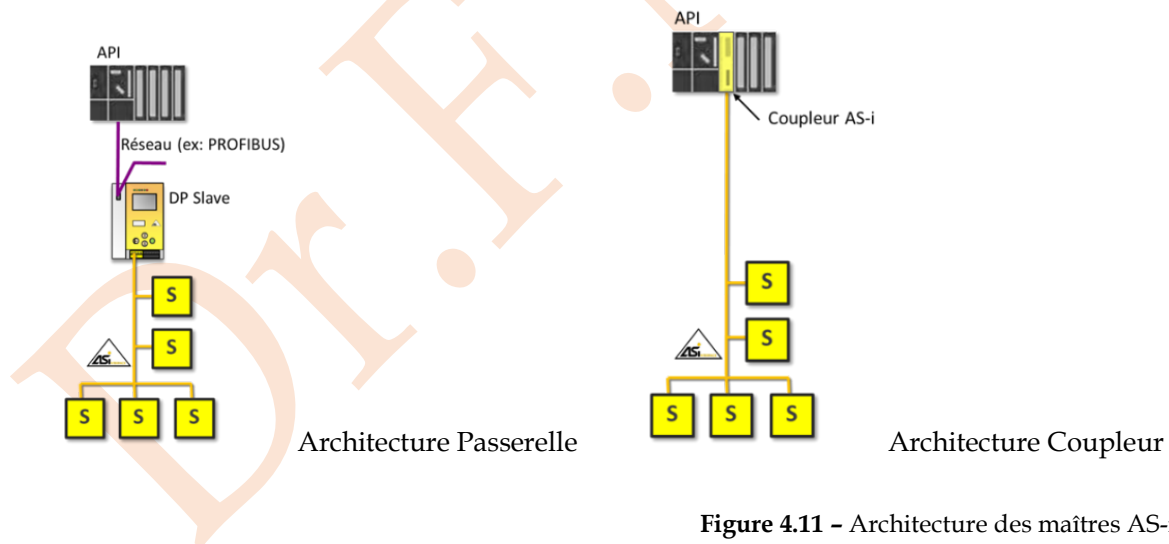


Figure 4.11 - Architecture des maîtres AS-i

Le rôle du maître est d'assurer les échanges avec les esclaves AS-i du terrain.

À l'initialisation, il configure les stations, il vérifie ensuite en permanence que les réponses arrivent à temps, en cas de réponse absente ou non exploitable, il refait une tentative. Il surveille également l'arrivée de nouvelles stations sur le réseau. Tous les maîtres supportent les 3 modes de fonctionnement suivants :

- **Off-line** - Aucune communication avec les esclaves AS-i.

Cette phase a pour but de positionner les constituants du bus dans un état initial :

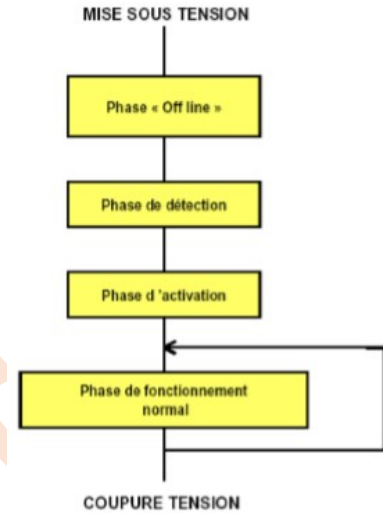
Mise à 0 des entrées images des esclaves (table entrées=0), ce qui n'est pas l'état réel des capteurs ou actionneurs sur le bus.

Mise à 0 des sorties images des esclaves (table sorties=0), ce qui n'est pas l'état réel des capteurs ou actionneurs sur le bus.

Les paramètres prédéfinis sont mémorisés dans les buffers paramètres de chaque esclave.

La liste des esclaves reconnus est remise à 0.

La liste des esclaves actifs est remise à 0.



- **Phase de détection**

Il consiste à détecter les esclaves présents sur le câble As-i et à mémoriser leur adresse et leur profil.

- **Phase d'activation**

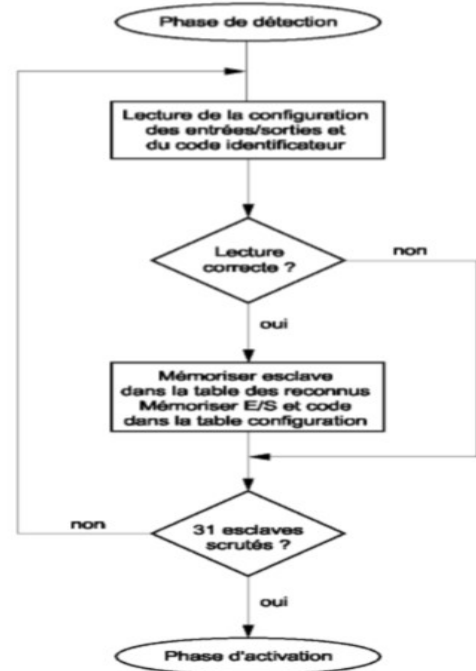
Le maître AS-i peut fonctionner dans deux modes distincts :

1- "**Mode configuration**" : dans ce mode, tous les esclaves connectés sur le câble sont activés. Le maître scrute le réseau. S'il trouve des esclaves, il entre en échange de données avec eux. Aucune configuration de référence n'est prise en considération, le dialogue s'effectue directement avec la configuration réelle. Dans ce mode, aucun adressage automatique n'est possible.

2- "**Mode protégé**" : il s'agit du mode par défaut, le plus couramment utilisé. En effet, dans ce cas, le maître ne dialogue qu'avec des esclaves prévus dans la configuration et reconnus sur le réseau. C'est le seul mode où le ré-adressage automatique est autorisé.

- **Phase de fonctionnement normal**

Cette phase correspond au fonctionnement nominal du réseau, c'est-à-dire aux échanges cycliques de données entre maître et esclaves, dont on garantit le temps de réponse à 5 ms pour 31 esclaves.



Chaque cycle est constitué de trois étapes :

La phase d'échange de données, la phase management, la phase d'introduction d'esclaves.

La phase d'échange de données - Il correspond au dialogue entre maître et esclave via la fonction "Echange des données". Lorsqu'un échange échoue, il peut être répété au cours des deux cycles suivants. Après deux essais négatifs, l'esclave est considéré comme absent ou en défaut et disparaît des tables "actifs" et "reconnus" et sa valeur dans la table image des entrées vaut alors 0. Dans cette phase d'échanges de données, il peut y avoir jusqu'à 31 transactions (si 31 esclaves), soit :

$$31 \times 156 \mu s = 4,85 \text{ ms} < 5 \text{ ms}$$

La phase management - Lorsque la phase cyclique d'échange est terminée, le maître a la possibilité d'envoyer une trame de commande : c'est la phase de "management". Cette transaction est unique et acyclique, c'est-à-dire qu'au cours d'un cycle normal de fonctionnement, le maître ne peut s'adresser qu'à un seul esclave pour lui envoyer une seule commande particulière.

De ce fait, le paramétrage de l'ensemble des 31 esclaves nécessitera 31 cycles, soit :

$$31 \times 5 \text{ ms} = 155 \text{ ms}$$

Ces trames de commande sont par exemple :

- Ecriture de paramètres. - Attribution d'adresse. - Suppression d'adresse. - Lecture de l'état de l'esclave. - Lecture de la configuration des entrées/Sorties. - Lecture de l'identificateur de l'esclave. - reset,...

Si la transaction échoue, elle est à nouveau exécutée jusqu'à concurrence de trois cycles (donc trois essais), au-delà, l'action est considérée comme négative.

La phase d'introduction d'esclaves - suite à la phase de management, le maître engage une phase de reconnaissance de nouveaux esclaves sur le réseau (phase d'"inclusion"). Dans cette phase, le maître émet une commande de lecture de configuration d'E/S auprès d'un seul esclave (d'adresse 1 à 31). Au pire, un nouvel esclave peut être détecté au bout de 31 cycles.

Il faut ensuite trois cycles pour l'activer, car trois transactions sont nécessaires :

- lecture configuration E/S. - lecture identificateur. - envoi de paramètres. La prise en compte d'un nouvel esclave sera donc effective dans un délai maximum de 170ms

$$(31 \text{ cycles} * 5 \text{ ms}) + (3 * 5 \text{ ms}) = 170 \text{ ms}$$

Remarque- Le principe de la comparaison des tables de configuration et l'intersection des projetés et reconnus restent valables pour activer l'esclave

4.5.10. Esclaves AS-i

On fait une distinction entre deux grandes familles :

- Les entrées/sorties sur le bus AS-i. Ces modules réalisent l'interface entre des signaux conventionnels (PNP, contacts, 4-20mA...) et le bus AS-i.
- Les esclaves dits "Asifiés" qui proposent une connexion directe au bus AS-i. Exemple d'esclaves : détecteur proximité, lecteurs RFID, pressostat et thermostat, tête de vanne, variateur et démarreur...

Remarque- Le niveau de fonctionnalité apporté par l'intelligence embarquée reste assez basique, si l'on compare aux mêmes équipements connectés sur PROFIBUS ou Ethernet par exemple.

4.5.11. Adressage des stations

La plage d'adresses définie par AS-I va de **0 à 31**.

L'adresse 0 correspond à la configuration par défaut à la livraison, elle n'est pas exploitable pour l'échange de données. Seuls les esclaves sont adressés, le maître n'a pas d'adresse. L'adressage est réalisé à l'aide d'une console portable ou du maître, et il n'y a pas d'adressage physique par switch sur les esclaves.

4.5.12. Adressage étendu

La version 2.11 (1998) d'AS-i a introduit la notion d'adressage étendu, qui permet de doubler le nombre de stations d'esclaves. Pour des questions de compatibilité on a conservé la plage d'adressage de 1 à 31 mais chaque adresse peut accueillir 2 esclaves: 1 esclave A et 1 esclave B.

Exemple - 1 esclave à l'adresse 7A et un autre à l'adresse 7B.

Il est possible de mixer sur un même réseau des esclaves avec adressage simple et d'autres avec adressage étendu.

Les esclaves A et B sont scrutés par le maître à tour de rôle. Il y a donc un impact sur le temps de rafraîchissement. Si le réseau est chargé au maximum, soit 31 esclaves A et 31 esclaves B, les stations seront rafraîchies par le maître toutes les 10 ms.

Remarque- Si une adresse est utilisée pour un esclave simple elle ne peut être utilisée pour un esclave A/B.

4.6. Les profils des composants AS-i

Le profil d'un équipement AS-i détermine ses capacités. Deux produits AS-i ayant les mêmes fonctions et le même profil fonctionnent exactement de la même manière, quels que soient les fabricants. Ils sont interchangeables à l'intérieur d'un

même système. Le profil est fixé en usine au moyen de deux ou trois caractères figés dans l'électronique interne de l'équipement. Il ne peut pas être modifié.

Jusqu'à présent, plus de 20 profils ont été définis par l'association AS-i.

4.6.1. Les profils du maître

Il existe 5 profils de Maîtres M0, M1, M2, M3 et M4.

M0 correspond au minimum de fonctionnalités qu'un maître doit assurer, le profil de maître M4 supporte toutes les fonctionnalités disponibles dans le standard actuel. La plupart des maîtres récents sont conformes M4 ou M3.

Tableau 4.2 - Les profils du maître AS-i

Profil	Niveau de profil	Fonctionnalités
M0	Profil Minimal	• Lecture et écriture de données d'E/S
M1	Profil complet	• Lecture et écriture de données d'E/S • Modification des paramètres d'esclave • Réalisation des tests système et élaboration de diagnostics • Vérification de la configuration attendue par rapport à la configuration réelle. • Adressage d'esclave étendu

4.6.2. - Profils des esclaves

Chaque esclave intègre une mémoire EEPROM qui contient deux codes :

Un pour son adresse (modifiable par l'utilisateur de 0 à 31),

Afin de connaître la nature des informations traitées par un équipement AS-i (entrée et / ou sortie), chaque équipement AS-i est identifié par un **profil** (figé par construction) défini sur 2 chiffres (S X.Y)

Le profil, défini par l'association AS-i, spécifie la fonction des:

4 bits de données (entrée, sortie, bidirectionnel) sur le premier chiffre,

4 bits de paramètres (fonctions évoluées) sur le deuxième chiffre.

Ainsi :

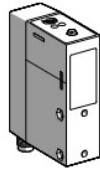
- X représente l'**I/O code** ou **code de définition** des E/S ;

- Y représente l'**ID Code** ou **code d'identification** des familles d'équipements esclaves.

X	I/O Configuration			
	D0	D1	D2	D3
0	E	E	E	E
1	E	E	E	E
2	E	E	E	E/S
3	E	E	S	S
4	E	E	E/S	E/S
5	E	S	S	S
6	E	E/S	E/S	E/S
7	E/S	E/S	E/S	E/S
8	S	S	S	S
9	S	S	S	E
A	S	S	S	E/S
B	S	S	E	E
C	S	S	E/S	E/S
D	S	E	E	E
E	S	E/S	E/S	E/S
F	TRI	TRI	TRI	TRI

S-	Code E/S -- X	Code ID--Y	Code ID 1	Code ID 2
Slave	Définit le nombre d'entrées et de sorties de la station	Identifiant fonctionnel	Identifiant fonctionnel (réglé par l'utilisateur)	Identifiant fonctionnel étendu

Exemple - Cellule photo électrique de type Schneider XUJ-K : profil S 1.1
 Le profil est la "carte d'identité" de l'esclave sur le bus. Il permet l'interchangeabilité fonctionnelle des produits.



Cellule XUJ-K profil S1.1		Départ moteur LF 1&2 K profil S7.F	
Bits de données	Bits de Paramètres	Bits de données	Bits de paramètres
D ₀ (E) Signal	P ₀ Non utilisé	D ₀ (S) Arrêt/marche	P ₀ Watchdog validé
D ₁ (E) Alarme	P ₁ Dark-on/off	D ₁ (S) Direct/inverse	P ₁ Réservé
D ₂ (E) Non utilisé	P ₂ Non utilisé	D ₂ (S) Non utilisé	P ₂ Etat reset
D ₃ (S) Non utilisé	P ₃ Non utilisé	D ₃ (S) Non utilisé	P ₃ Pos. repli.
		D ₀ (E) Signal capteur	
		D ₁ (E) A l'arrêt	
		D ₂ (E) En défaut	
		D ₃ (E) Indisponible	

Figure 4.12 - Exemple de profile esclave

4.7. La couche 2 : Liaison de données

4.7.1. Méthode d'accès

AS-i est exclusivement un bus de terrain de type maître/esclave à l'échange (bi-directionnel) de bits entre le maître et l'esclave. Le maître interroge les abonnés esclaves par scrutation cyclique (polling). La durée de scrutation est quasiment proportionnelle au nombre d'esclaves interrogés.

En entrées (Capteur, fin de course, cellule, bouton, etc..)

En sorties (Electro-vannes, relais, voyants, etc ...)

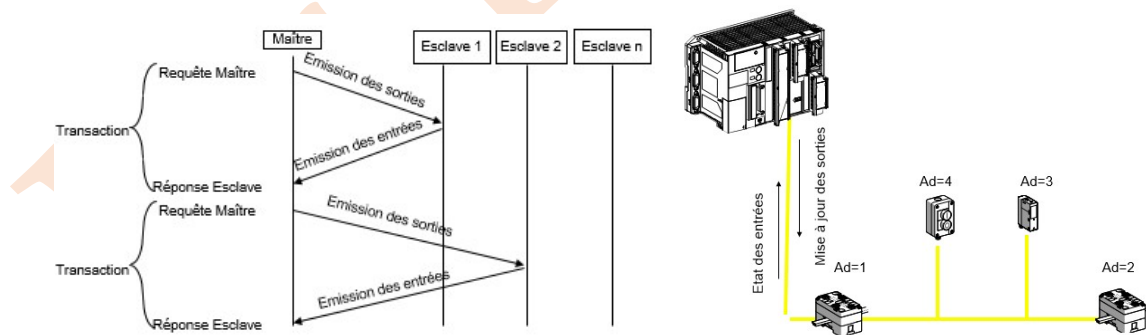


Figure 4.13 - Méthode d'accès du bus AS-i

Initialement tous les esclaves ont l'adresse 0. Lors de leur connexion successive, une adresse doit leur être affectée.

4.7.2. Trames AS-i

Les télégrammes AS-i ont toujours une longueur fixe.

- 14 bits pour les messages de requête du maître

- 7 bits pour les messages de réponse des esclaves

La durée de pause entre 2 télégrammes étant définie, il est possible de calculer aisément le temps de cycle du maître AS-i en situation normale.

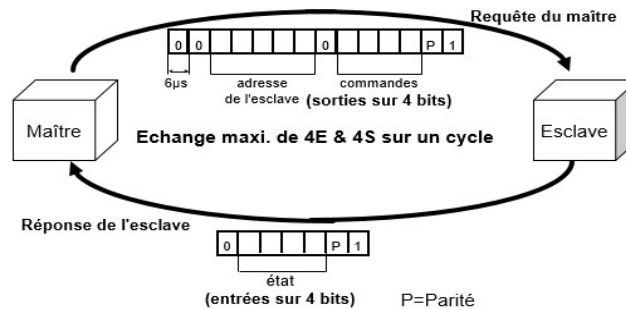


Figure 4.14 - La trame AS-i

Différents types de trames générées par le maître:

Tableau 4.3 - Les profils du maître AS-i

	maître				esclave
	SB	A4-A0	I4	I3-O0	I3-I0
Ecriture sorties et lecture entrées	0	adresse	0	sorties	entrées
Ecriture et lecture de la configuration	0	adresse	1	nouvelle configuration	nouvelle configuration
Ecriture d'adresse	0	0	nouvelle adresse		nouvelle adresse
Reset	1	adresse	1	1100	
Forcer l'adresse à 0	1	adresse	0	0000	
Lecture configuration	1	adresse	1	0000	configuration
Lecture code ID	1	adresse	1	0001	code ID
Lecture status	1	adresse	1	1110	status
Lecture status et quittance erreur	1	adresse	1	1111	status

En plus des bits de sorties, le maître envoie (acyclique) des bits de **paramètres** qui sont exploités par l'esclave.

Exemple de la cellule

- Signal de détection de pièce par le bit D0 (Entrée).
- Alarme encrassement lentille barrage & reflex par le bit D1(Entrée).
- Configuration Dark-on / Dark-off par le **bit P1 (Paramètre)**.

Exemple du départ moteur

- Commande de marche moteur par le bit D0 (Sortie).
- Information de défaut coffret interne, thermique ou magnétique par le bit D2 (Entrée).

Définition de l'état de repli en cas de coupure de la communication par le **bit P3** (paramètre).

4.8. AS-i Safety at work

Une évolution du standard en 2000 permet d'utiliser le bus AS-i pour interconnecter des équipements de sécurité tels que :

- Arrêt d'urgence.
- Barrière immatérielle.
- Interrupteur de sécurité...



AS-i Safety at Work est conforme aux normes EN 954-1 catégorie 4 / IEC 61508.

4.8.1. Principes de base

- Le système de sécurité AS-i est basé sur les mêmes mécanismes qu'AS-i traditionnel.
- Les esclaves AS-i utilisés en application de sécurité ont un profil défini et disposent d'un agrément spécifique.
- Un maître AS-i standard peut être utilisé pour gérer des esclaves de sécurité.
- Les appareils de sécurité peuvent partager le même réseau que des équipements de contrôle industriels classiques.
- La fonction de sécurité est assurée par un "moniteur de sécurité".

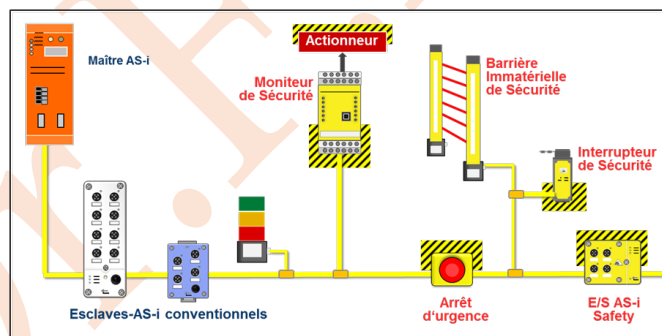


Figure 4.15 – Exemple d'architecture mixant équipements conventionnels et safety

4.8.2. Esclaves de sécurité

Seuls les esclaves conformes "AS-i Safety at Work" peuvent être utilisés pour des fonctions de sécurité. Les esclaves de sécurité ne supportent pas l'adressage étendu. Les profils correspondants sont **S-0.B.*.*** et **S-7.B.*.***

4.8.3. Moniteur de sécurité

La gestion de la sécurité est assurée par un équipement spécifique le "moniteur de sécurité".

Il actionne la sécurité lorsqu'un déclencheur a été activé mais aussi lorsqu'un

problème de communication survient. Plusieurs moniteurs de sécurité peuvent être branchés sur le même bus AS-i et ils peuvent être disposés en un point quelconque du réseau. Certains maîtres AS-i intègrent également la fonctionnalité de moniteur de sécurité, ils disposent alors d'une certification Safety at Work.

4.8.4. Temps de réponse

Le délai maximum entre le déclenchement d'un esclave de sécurité, et l'ouverture du contact de sécurité correspondant sur le moniteur est de 40 ms.

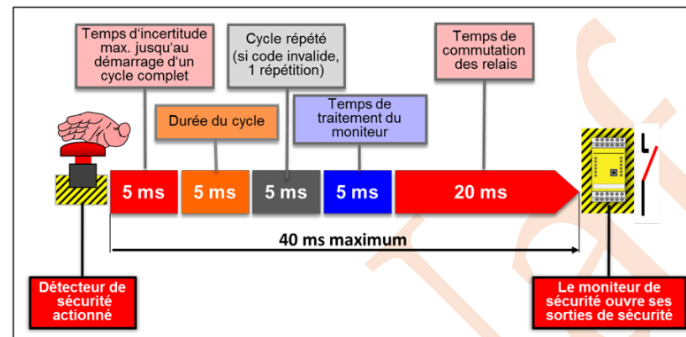


Figure 4.16 - Diagramme des temps AS-i Safety at work

Remarque- Si le réseau est mal installé, des problèmes de communication risquent de rendre l'installation difficilement exploitable car le moniteur se mettra en sécurité s'il ne reçoit pas de données correctes à chaque cycle.

4.9. Fiche technique du protocole AS-i

- Norme EN 50 295.
- 31 participants AS-I max. à 4 bits de données E/S utiles (62 pour l'interface AS V2.1)
- 124 capteurs et actionneurs E/A max. (248 entrées et 186 sorties pour l'interface AS V2.1 et 496/ E et 496 /S en version V3.0)
- Procédé d'accès à appel (**polling**) cyclique en procédé maître esclave.
- Durée de cycle max. 5ms (**10ms pour l'interface AS V2.1 et 20ms V3.0**)
- Le média de transmission est un câble blindé à deux fils (2 x 1,5 mm²) pour les données et 2A max. d'énergie auxiliaire par gaine AS-I.
- La tension d'alimentation vaut 30 V DC. Le signal de transmission de données est modulé. Il est possible d'ajouter une alimentation 24V DC d'énergie auxiliaire.
- Capteurs AS-I spéciaux et actionneurs avec puces AS-I également directement intégrés.
- Topologie libre.
- Longueur max. de câble : 100m ou 300m (avec répéteur) et 500m avec maître au milieu.

Dr.F.Natafa

5

Réseaux de terrain
Profibus

5. PROFIBUS

5.1. Introduction

PROFIBUS est un réseau de terrain ouvert, non propriétaire, répondant aux besoins d'un large éventail d'applications dans les domaines du manufacturier et du processus. Son universalité (indépendance vis-à-vis du constructeur) et son ouverture sont garanties par les normes européennes EN 50170 , EN 50254. et international IEC61158

En perpétuelle évolution, PROFIBUS reste le réseau de communication industriel du futur. PROFIBUS se décline en deux protocoles de transmission, appelés profils de communication, aux fonctions bien ciblées: DP et FMS. De même, selon l'application, il peut emprunter trois supports de transmission ou supports physiques (RS 485, CEI 1158-2 ou fibre optique).

5.1.1. Profils de communication

Ces profils ont pour objet de définir la façon dont les données sont transmises en série par l'utilisateur, sur un même support physique :

Profibus-DP Profil (*Decentralized Peripherals*) : c'est un profil de communication le plus répandu dans l'industrie et le plus prisé pour sa rapidité, ses performances et sa connectique à faible coût, DP est réservé au dialogue entre automatismes et périphérie décentralisée. Il remplace à merveille la transmission classique de signaux parallèles en 24 V dans le manufacturier et de signaux analogiques sur boucle 4-20 mA ou interface Hart dans le process.

Profibus-PA Profil (*Process Automation*) La variante PROFIBUS-PA est destinée aux applications liées à l'automatisation des processus. PROFIBUS-PA utilise la technique de transmission à sécurité intrinsèque spécifiée dans la norme CEI 1158-2. Il permet également l'alimentation à distance des stations par le bus. Les fonctions des protocoles PROFIBUS-FMS, DP et PA sont complétées par des profils décrivant l'utilisation de PROFIBUS dans des domaines d'application spécifiques comme l'automatisation des processus, la GTB ou l'automatisation manufacturière.

FMS Profil (*Fieldbus Message Specification*) universel, il excelle dans les tâches de communication exigeantes et s'accompagne de multiples fonctions applicatives évoluées gérant la communication entre équipements intelligents. Soumis toutefois à l'évolution du PROFIBUS et à la percée du monde TCP/IP au niveau cellule, force est de constater que le profil FMS est appelé à jouer un rôle de moins en moins important dans la communication industrielle de demain

5.1.2. Supports physiques

Le Profibus dispose de trois profils physiques:

- La liaison RS 485 répondant aux applications universelles de l'industrie manufacturière.

- La transmission CEI 1158-2 adaptée au processus,
- La fibre optique, synonyme d'excellente immunité aux parasites et de longues distances.

L'extension actuelle du Profibus est bâtie sur des composants Ethernet, capables de transmettre à **10 Mbit/s** et **100 Mbit/s**.

Dans cette optique, l'offre PROFIBUS comporte déjà des coupleurs et des liaisons assurant la migration d'une technique à l'autre. Si les coupleurs mettent en œuvre le protocole de façon transparente, en tenant compte des contraintes du milieu, les liaisons, par essence « intelligentes », dotent la configuration des réseaux PROFIBUS de fonctionnalités étendues.

5.2. Les fondements de Profibus

Profibus spécifie les caractéristiques techniques d'un bus de terrain série destiné à interconnecter des automatismes numériques répartis aux niveaux terrain et cellule. Ce réseau multi-maître autorise l'exploitation conjointe de plusieurs systèmes d'automatisation, de développement et de visualisation avec leur périphérie décentralisée, sur un même câble. A cette fin, PROFIBUS distingue des équipements maîtres et des équipements esclaves :

- Les maîtres ou stations actives pilotent la transmission de données sur le bus. Un maître peut librement émettre des messages sous réserve d'obtenir le droit d'accès au réseau (jeton).
- Les esclaves ou stations passives sont des équipements périphériques (blocs d'E/S, vannes, entraînements et transmetteurs de mesure) qui n'ont pas le droit d'accéder au bus.

Leur action se limite à l'acquittement des messages reçus ou à la transmission de messages sur demande du maître. N'exploitant qu'une partie minime du protocole, leur mise en œuvre s'avère des plus économiques.

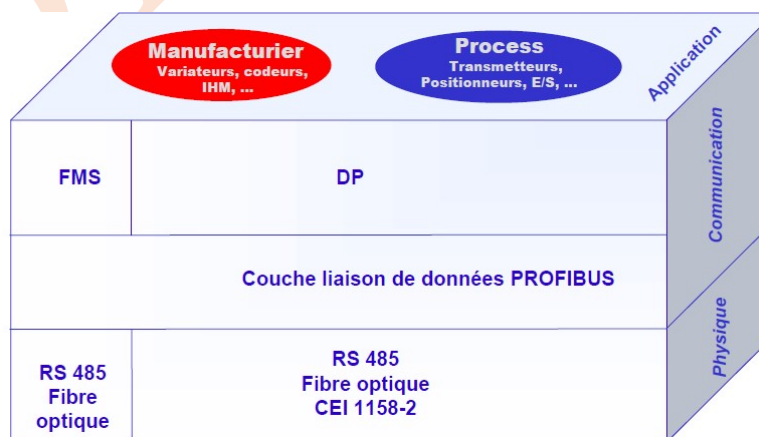


Figure 5.1 – Vue d'ensemble de la technologie PROFIBUS

5.2.1. Architecture de communication

Profibus répond à des normes internationales unanimement reconnues. Son architecture repose sur 3 couches inspirées du modèle en 7 couches de l'OSI, suivant la norme **ISO 7498**.

La couche 1, *physique*, décrit les caractéristiques physiques de la transmission ; la couche 2, *liaison de données*, spécifie les règles d'accès au bus ; enfin, la couche 7, *application*, définit les mécanismes communs utiles aux applications réparties et la signification des informations échangées.

Le profil profibus **DP** n'exploite que les deux couches basses 1 et 2, ainsi que l'interface utilisateur.

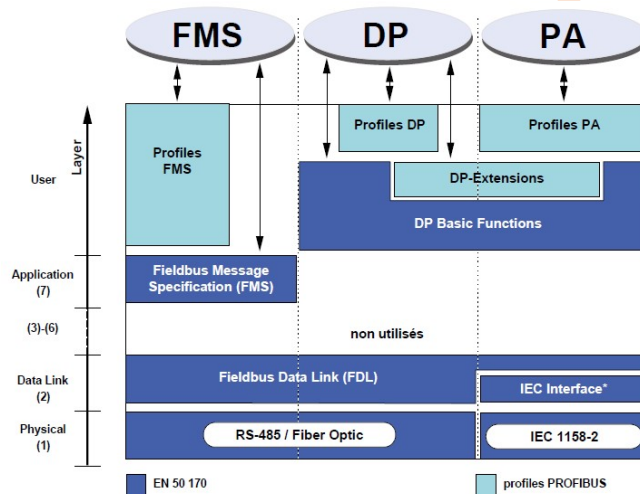


Figure 5.2 - L'architecture de communication de PROFIBUS

Cette rationalisation de l'architecture garantit la rapidité et l'efficacité de la transmission. L'adaptateur DDLM (*Direct Data Link Mapper*) facilite l'accès de l'interface utilisateur à la couche 2.

Les fonctions applicatives de l'utilisateur et le comportement des divers types d'équipement DP (systèmes et appareils) sont précisés dans l'interface utilisateur.

Le profil universel **FMS** met en œuvre les couches 1, 2 et 7. Cette dernière se compose de la messagerie **FMS** (*Fieldbus Message Specification*) et de l'interface **LLI** (*Lower Layer Interface*).

FMS spécifie une pléiade de services de communication évolués entre maîtres et entre maîtres et esclaves. La LLI définit la représentation de ces services FMS dans le protocole de transmission de la couche 2.

5.2.2. Transmission RS 485

RS 485 est la technique de transmission privilégiée de PROFIBUS. Elle convient à tous les domaines exigeant des débits élevés associés à une simplicité d'installation à moindre coût. Son support physique est la paire torsadée blindée.

La mise en œuvre de la liaison RS 485 est d’une grande facilité ; l’installation de la paire torsadée ne requiert pas de connaissance particulière et la structure du bus permet l’ajout ou le retrait de stations ou la mise en service par étapes du système sans répercussion sur les autres stations.

Le débit varie entre **9,6 kbit/s** à **12 Mbit/s** selon la distance du bus. La longueur maximale du câble est inversement proportionnelle au débit ; les valeurs de la table ci-dessous sont données pour un câble de type A comme suit :

- Impédance **135 à 165 Ω**
- Capacité < **30 pF/m**
- Résistance de boucle **110 Ω/km**
- Diamètre du conducteur **0,64 mm**
- Section du conducteur > **0,34 mm²**

Tableau 5.1 - Correspondances débit/distance pour un câble de type A

Débit (kbit/s)	9,6	19,2	93,75	187,5	500	1 500	12 000
Distance/segment (m)	1 200	1 200	1 200	1 000	400	200	100

Le bus s’achève par une terminaison active, à chaque extrémité de segment. Pour écarter tout risque d’erreur, les deux terminaisons de bus doivent toujours être alimentées. La terminaison peut d’ordinaire être activée au niveau des équipements ou des connecteurs de terminaison de bus.

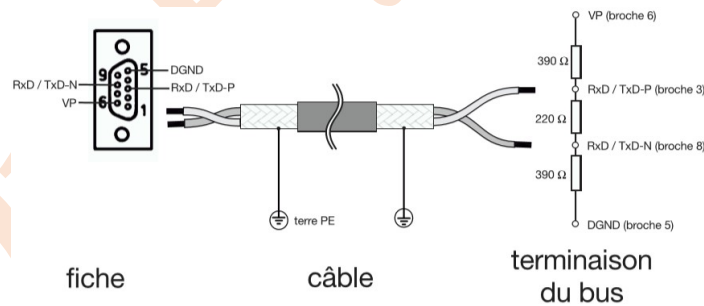


Figure 5.3 - Câblage et terminaison de bus de la liaison RS 485 sur PROFIBUS

Si le réseau comporte plus de 32 abonnés ou si l’on souhaite étendre sa portée, il faut utiliser des répéteurs (amplificateurs de ligne) pour relier les divers segments de bus.

Tableau 5.2 - Principales caractéristiques de la liaison RS 485

Support	Paire torsadée blindée
Nombre de stations	32 par segment sans répéteur 126 maxi avec répéteurs
Connectique	Connecteur Sub-D 9 points en protection IP 20 (préconisé) Connecteur M12, HAN®BRID ou connecteur hybride Siemens en protection IP 65/67

Remarque - Conseils pratiques d'installation

Tous les équipements sont raccordés sur un réseau en bus (topologie linéaire). Un segment peut interconnecter **32 stations**, maîtres ou esclaves.

En protection IP 20, les réseaux PROFIBUS sur liaison RS 485 privilégient le connecteur Sub-D 9 points.

5.2.3. Transmission CEI 1158-2

La technique de transmission synchrone conforme à la norme CEI 1158-2 (débit fixe de 31,25 kbit/s) est utilisée dans le domaine du process et répond aux deux grandes exigences de la chimie et de la pétrochimie : sécurité intrinsèque et télé-alimentation des instruments de terrain sur le bus par un câblage bifilaire. Ceci correspond uniquement la transmission sur le profil **Profibus PA**.

Les possibilités et les limites de Profibus sur liaison CEI 1158-2, en atmosphère explosible, sont définies par le modèle FISCO (*Fieldbus Intrinsically Safe Concept*).

Six grands principes régissent la transmission CEI 1158-2/FISCO :

- ✓ Chaque segment possède une seule source d'énergie, l'unité d'alimentation.
- ✓ Aucune énergie ne transite sur le bus lorsqu'une station émet.
- ✓ Chaque nœud de terrain consomme un courant de base constant, en régime établi.
- ✓ Les éléments de terrain se comportent comme des collecteurs de courant passifs.
- ✓ La terminaison de ligne passive est réalisée à chaque extrémité du câble principal du bus.
- ✓ Trois topologies sont admises : **linéaire**, **arborescente** et en **étoile**.

En régime établi, chaque station nécessite un courant minimal de **10 mA**. Grâce à la télé-alimentation, ce courant alimente les appareils de terrain.

Les signaux de transmission sont générés par l'équipement émetteur par modulation de **±9 mA** du courant de base.

Conseils pratiques d'installation

Sur le terrain, un **coupleur de segment** ou un **link** assure l'adaptation RS 485/CEI 1158-2 et, parallèlement, la télé-alimentation des instruments de terrain.

Les **coupleurs de segment** sont des convertisseurs de signaux RS 485/CEI 1158-2, totalement transparents au protocole de bus. Leur utilisation limite néanmoins le débit maximal du segment RS 485 à 93,75 kbit/s.

5.2.3.1. Topologie

Le réseau Profibus sur CEI 1158-2 accepte des topologies **arborescente**, **linéaire** et **étoile**, les deux étant combinables.

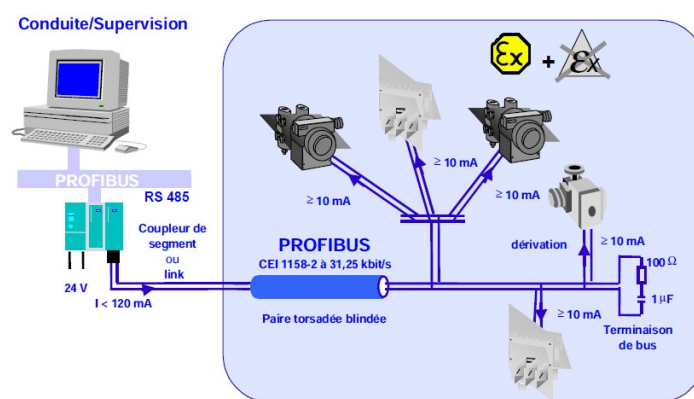


Figure 5.4 - Topologies et Télé-alimentation des instruments de terrain sur PROFIBUS - CEI 1158

Dans une topologie linéaire, les stations sont raccordées au câble principal à l'aide de connexions en T. La topologie arborescente, pour sa part, s'apparente à la technique classique d'installation des équipements de terrain. Le câble principal multibrin est remplacé par le câble de bus bifilaire.

Le répartiteur de terrain sert toujours à raccorder les appareils et à abriter la résistance de terminaison de bus.

Dans un réseau arborescent, tous les appareils reliés au segment de bus sont câblés en parallèle dans le répartiteur.

Dans tous les cas de figure, il faut tenir compte des longueurs maximales admissibles des lignes de jonction pour calculer la longueur totale de la ligne. Pour des applications à sécurité intrinsèque, une dérivation ne doit pas dépasser **30m**.

5.2.4. Transmission optique

La fibre optique s'impose principalement dans trois cas d'utilisation de PROFIBUS : pour pallier environnements électromagnétiques perturbateurs, assurer un parfait isolement électrique et augmenter la portée maximale du réseau, à de hauts débits. On distingue plusieurs types de fibre, dont les propriétés varient avec la distance, le coût et l'application envisagée.

Tableau 5.2 - Propriétés de la fibre optique

Type de fibre	Portée
Verre, multimode	Moyenne (2 à 3 km)
Verre, monomode	Longue (> 15 km)
Plastique	Courte (< 80m)
PCS/HCS	Courte (400 m)

5.2.4.1. Topologie

Les segments PROFIBUS à fibre optique sont conçus **en étoile ou en anneau**. Certains fabricants proposent des composants PROFIBUS/FO permettant la

redondance des liaisons optiques : la défaillance d'une première liaison provoque un basculement automatique sur la seconde.

5.2.5. Méthode d'accès sur PROFIBUS

Les deux profils de communication de PROFIBUS – DP et FMS – mettent en œuvre un protocole d'accès uniformisé, géré par la **couche 2** du modèle OSI.

Appelé *Fieldbus Data Link* dans la terminologie PROFIBUS celui-ci se charge également de la sécurisation des données et de la gestion des protocoles et des télégrammes de transmission. La méthode d'accès est assurée par la sous-couche MAC (*Medium Access Control*) qui veille au partage du canal de communication en garantissant qu'une seule station a le droit d'émettre à un instant donné.

PROFIBUS répond à deux exigences fondamentales de la méthode d'accès MAC :

- Assurer que tout automatisme complexe (maître) connecté au réseau dispose d'assez de temps pour effectuer ses tâches de communication dans le délai imparti.
- Assurer une transmission cyclique, temps réel, extrêmement simple et rapide, entre un automatisme complexe (maître) et les équipements périphériques qui lui sont rattachés (esclaves).

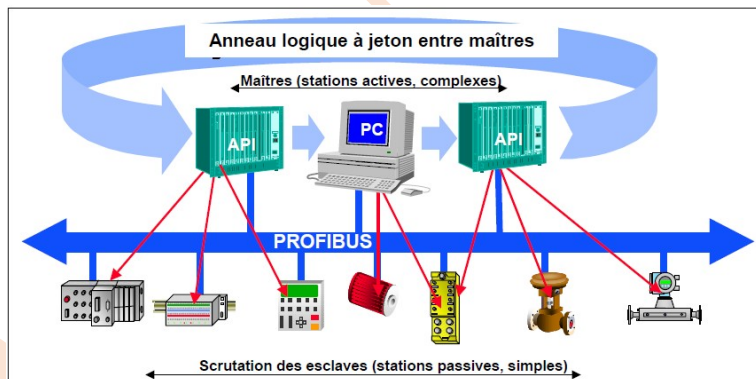


Figure 5.5 - La nature hybride de la gestion d'accès à PROFIBUS : configuration maître-esclaves et passage de jeton entre trois maîtres formant un anneau logique

Pour y parvenir, la méthode d'accès à PROFIBUS est de nature hybride:

La communication inter-maître repose sur la **méthode du jeton**, tandis que les échanges entre maîtres et esclaves s'effectuent sur le **mode maître-esclave**.

La **méthode du jeton**, réservée aux échanges entre stations complexes, garantit l'accès de chaque maître au bus, au moins une fois dans un temps donné.

La **méthode maître-esclave** permet au maître détenant le jeton d'accéder à ses esclaves pour leur envoyer des messages ou, à l'inverse, lire leurs messages.

Cette méthode d'accès permet de réaliser :

- Une configuration maître-esclave pure,
- Une configuration maître-maître pure (jeton),

- Une configuration hybride.

On entend par *anneau à jeton* le chaînage des stations actives formant, par leur adresse sur le bus, un anneau logique, au sein duquel chaque participant passe à son voisin, dans un ordre défini (adresses croissantes), le *jeton* lui donnant le droit d'émettre ou de passer son tour.

La couche 2 de PROFIBUS assure enfin la **sécurisation des données**. Grâce au format de ses télégrammes, elle offre un haut niveau d'intégrité (**distance de Hamming de 4**), conforme à la norme internationale **CEI 870-5-1** (caractères de début et de fin, synchronisation sans glissement, bit de parité, octet de contrôle).

La couche 2 de PROFIBUS fonctionne en **mode non connecté**. La transmission s'effectue d'**égal à égal** (procédure équilibrée), en mode *diffusion générale* et *diffusion sélective* :

- Dans le mode **diffusion générale (broadcast)**, une station active envoie un message non acquitté à toutes les autres stations, actives ou passives.
- Dans le mode **diffusion sélective (multicast)**, une station active envoie un message non acquitté à un groupe prédéfini de stations, actives ou passives.

5.3. Le profil de communication DP

Le profil DP est destiné aux échanges série rapides, principalement **cycliques**, entre contrôleurs de cellule (API ou PC) ou systèmes de conduite/supervision et périphérie décentralisée (E/S, variateurs, vannes, transmetteurs de mesure...). Les fonctions de communication correspondantes sont définies par les fonctionnalités de base de DP, normalisées **EN 50 170**.

5.3.1. Fonctions Profibus DP de base

Le contrôleur de cellule (maître) lit les entrées de ses esclaves et écrit leurs sorties, de façon cyclique. Le temps de cycle du bus doit être inférieur à celui du programme de l'automatisme qui avoisine **10 ms** pour de nombreuses applications.

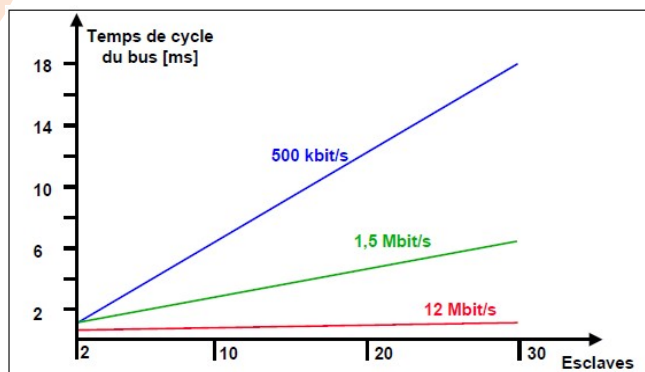


Figure 5.6 - Temps de cycle du bus dans une configuration DP mono-maître

Outre ce transfert cyclique de données utilisateur, DP intègre de puissants outils de diagnostic et de mise en service, assortis de fonctions de surveillance, côtés maître et esclave.

5.3.1.1. Caractéristiques fondamentales

La course au débit n'est pas le seul critère de succès d'un bus de terrain. Simplicité d'installation et d'exploitation, diagnostic de qualité et immunité aux parasites sont parmi les priorités de l'utilisateur. Le profil DP possède tous ces attributs.

5.3.1.2. Vitesse

DP ne met qu'environ 1 ms (à 12 Mbit/s) pour transmettre 512 bits d'entrée et 512 bits de sortie.

5.3.1.3. Diagnostic

Les puissantes fonctions de diagnostic de DP permettent de localiser rapidement les défauts, à l'aide de messages dédiés, émis sur le bus et rapatriés au maître.

On distingue trois niveaux de message :

- **Diagnostic de station** : Renseigne sur l'état global d'une station (surchauffe ou baisse de tension, par ex.).
- **Diagnostic de module** : Signale l'attente d'un diagnostic sur une gamme donnée d'E/S d'une station.
- **Diagnostic de voie** : Précise la cause du défaut sur un bit (ou voie) d'E/S.

5.3.1.4. Configuration du système et types d'équipement

DP peut fonctionner en mode **mono-maître** ou **multi-maître**, d'où sa grande souplesse de configuration. Un bus dessert un maximum de **127** (adressage de 0 à 126) équipements, maîtres ou esclaves.

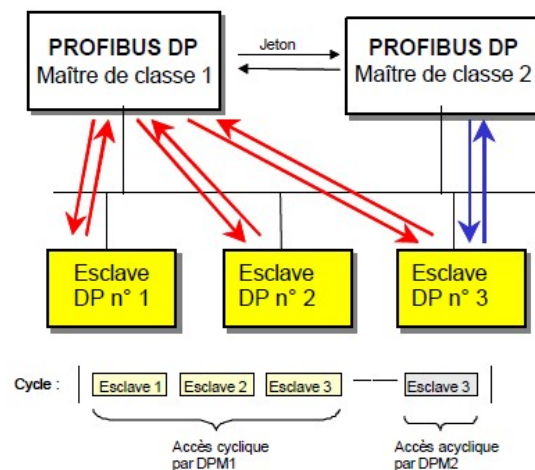


Figure 5.7 - Type de maîtres DP

Les spécifications de configuration du réseau définissent le nombre de stations, l'affectation des adresses de station par rapport aux adresses d'E/S, la cohérence des données d'E/S et le format des messages de diagnostic ainsi que les paramètres du bus. Chaque réseau DP peut héberger **trois types d'équipement** :

□ **Maître DP de classe 1 (DPM1)**

Commande centralisée échangeant les données avec les E/S décentralisées (esclaves DP) Plusieurs DPM1 peuvent cohabiter sur le même réseau. Les équipements typiques sont les API, les PC et les calculateurs VME.

□ **Maître DP de classe 2 (DPM2)**

Outil de planification, de contrôle ou de développement assurant la mise en service, le paramétrage ou la surveillance des esclaves DP

□ **Esclave DP**

Équipement décentralisé avec interface directe aux signaux d'E/S. Les appareils type incluent les blocs d'E/S, les entraînements, les vannes, les dispositifs de commande...

□ **Configuration mono-maître**

PROFIBUS-DP fonctionne principalement en configuration mono-maître. Cela signifie qu'un équipement maître (API par ex.) est raccordé via PROFIBUS-DP aux périphériques décentralisés (E/S, par ex.). PROFIBUS-DP remplace le câblage parallèle entre l'API et la périphérie décentralisée.

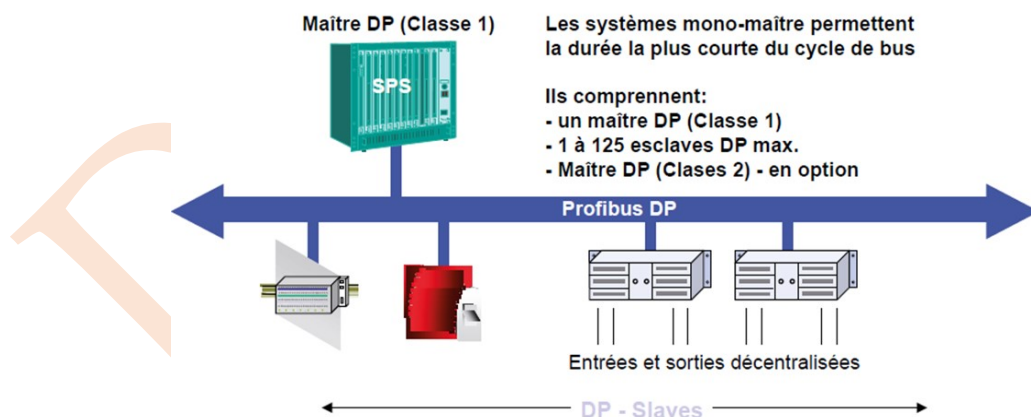


Figure 5.8 - Configuration Monomaitre DP

Un réseau PROFIBUS-DP mono-maître est constitué de 1 à 125 esclaves, d'un maître de classe 1 (API) et, facultativement, d'un maître de classe 2, celui-ci étant un configurateur.

La configuration mono-maître permet d'atteindre les temps de cycle les plus courts. Il est possible de transmettre 1 Ko d'E/S en moins de 2 ms.

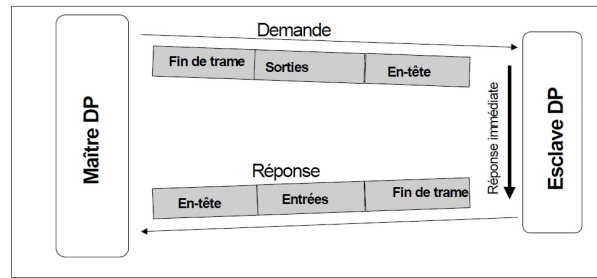


Figure 5.9 – Cycle de communication DP Maître-esclave.

□ Configuration multi-mâtres

PROFIBUS-DP peut aussi être utilisé en configuration multi-mâtres.

Des dispositifs d'E/S sont assignés à chaque station. Grâce à cette configuration PROFIBUS-DP, les stations actives peuvent toutes accéder aux données des appareils qui leur sont assignés en commun.

Le maître DP de classe 2 peut lire les données de diagnostic de tous les équipements raccordés au bus.

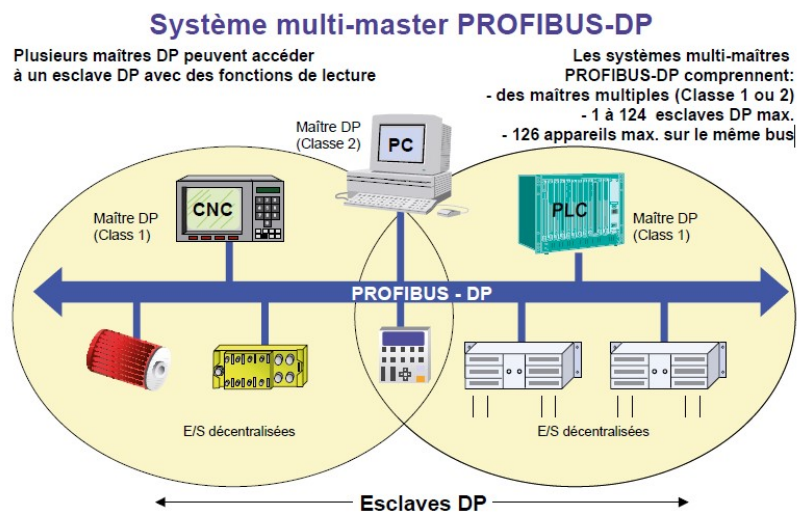


Figure 5.9 – Configuration multi-maître DP

□ Fonctions de communication PROFIBUS-DP

Les fonctions de communications utilisées sous PROFIBUS-DP sont distinguées selon les relations de communication suivantes :

- Maître de classe 1 et esclaves DP
- Maître de classe 2 et esclaves DP
- Maître de classe 2 et maître de classe 1

Remarque- PROFIBUS-DP ne prend pas en charge la communication entre plusieurs maîtres de classe 1 (DPM1). Si cette fonctionnalité est requise, il faut utiliser PROFIBUS-FMS.

□ **Les fonctions Profibus-DP étendues**

Les fonctions DP étendues sont principalement utilisées pour les esclaves intelligents ayant un grand nombre de paramètres qui doivent être modifiés lors de l'exploitation. Les nouvelles fonctions de lecture/écriture ont été définies à cet effet.

La compatibilité descendante du protocole DP avec les fonctions DP de base est d'une importance fondamentale. Cela signifie que les équipements intégrant les nouvelles fonctions sont totalement interopérables avec les équipements dépourvus de ces fonctionnalités. Seule restriction : ces derniers ne peuvent pas exécuter les nouvelles fonctions.

□ **Transmission de données sous PROFIBUS-DP**

Sous PROFIBUS-DP, la transmission repose sur une structure de télégrammes hautement efficace.

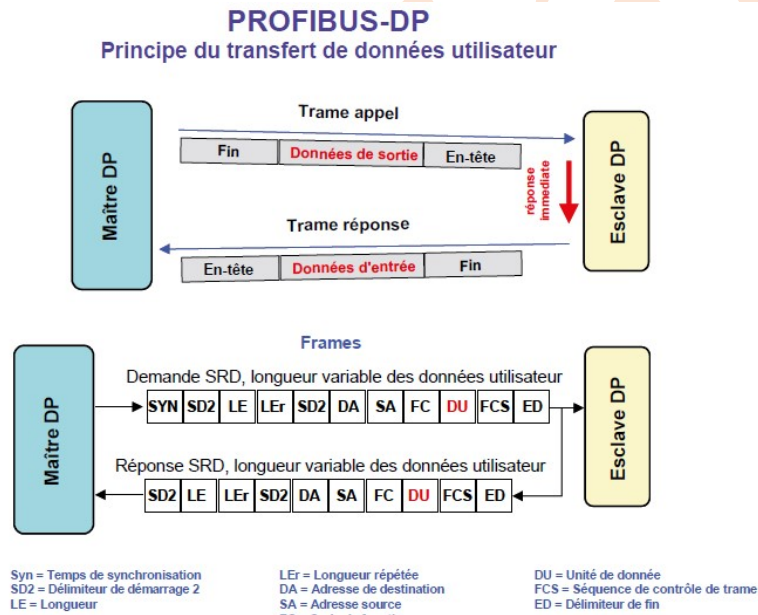


Figure 5.10 – Principe de transfert de données DP

Les données d'E/S d'un équipement sont transférées en un seul cycle de bus. Le maître envoie un télégramme de demande comportant les données de sortie destinées à l'esclave DP. Dans le télégramme de réponse, l'esclave DP transmet les données d'entrée au maître. L'esclave DP répond immédiatement après la réception du télégramme de demande. Chaque télégramme peut transmettre jusqu'à 244 octets de données d'entrée ou de sortie.

Si le télégramme de demande ou de réponse est détruit en raison de perturbations électromagnétiques, le maître relance immédiatement le cycle de transfert. Le nombre de retransmissions est configurable.

□ Temps de cycle du bus PROFIBUS-DP

Dans un réseau PROFIBUS-DP, le temps de cycle du bus dépend essentiellement du débit en bauds (vitesse de transmission), qui peut être paramétré sur une plage comprise entre 9,6 kbit/s et 12 Mbit/s.

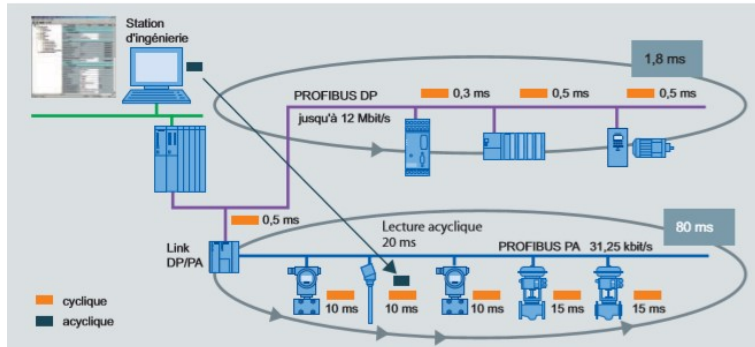


Figure 5.11 - Exemple pratique des temps de cycle du PROFIBUS PA

Exemple- Dans une configuration système constituée de 30 esclaves DP et PA fonctionnant à 12 Mbit/s et disposant chacun de 244 octets de données d'entrée et de sortie, on obtient un temps de cycle d'environ 14.2 ms pour DP et 11.4 ms pour PA.

Tableau 5.3 - Temps de cycle du Profibus DP et PA

	Profibus DP	Profibus PA
Nombre d'esclaves	NbDP	NDPA
En-tête télégramme profibus	OVPB=317 bits	OVPB=317 bits
Format de données	BitDP=11 Bits/Octets	BitPA=8 Bits/Octets
Nb octets		
Typique	-	Nb octets= 5 octets
Entrée	NbE=max.244 octets	-
Sortie	NbA=max.244 octets	-
Vitesse de transmission	BdsDP=12 Mbp/s	BDsPA=31,25kb/s

5.3.1.5. Adressage des données par numéro d'emplacement et index

Pour adresser les données, PROFIBUS perçoit les esclaves comme des briques de base physiques ou les découpe en modules fonctionnels logiques.

L'adressage s'appuie sur des identificateurs qui caractérisent le type de module (entrée, sortie ou entrée/sortie), l'ensemble de ces identificateurs constituant la configuration d'un esclave, elle aussi contrôlée par DPM1 au démarrage du réseau.

Précisons que la longueur maximale d'un bloc de données est de **244 octets**.

Sur des appareils modulaires, chaque module reçoit un numéro d'emplacement, partant de 1 et suivant l'ordre croissant d'implantation des modules dans l'équipement. Le numéro 0 est, quant à lui, réservé à l'équipement lui-même.

Les appareils compacts sont traités comme un seul ensemble de modules virtuels, soumis au même principe d'adressage (**n° d'emplacement + index**).

Le champ *Longueur* de la demande de lecture/écriture permet de lire ou d'écrire des portions de bloc de données. Si l'accès au bloc réussit, l'esclave renvoie une réponse de lecture ou d'écriture positive ; s'il échoue, l'esclave émet une réponse négative, précisant la classe de problème rencontrée.

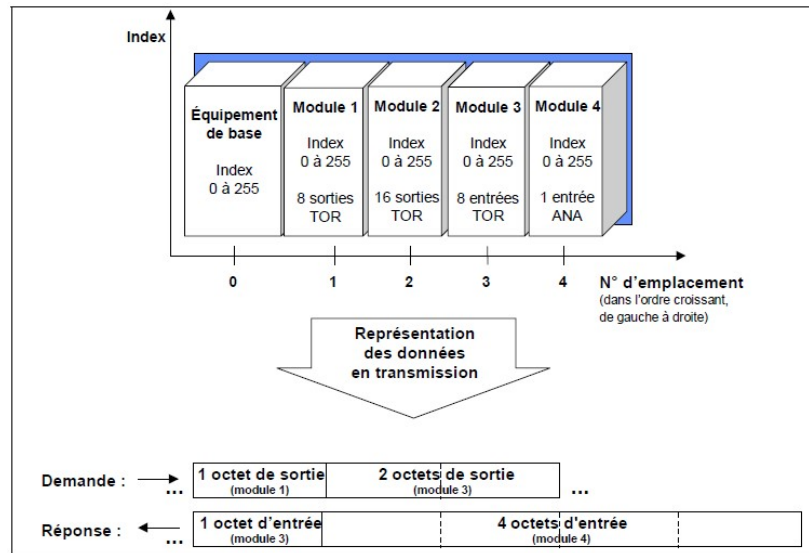


Figure 5.12 – Adressage de données du Profibus

5. Le profil de communication FMS

5.4. Profil FMS

FMS est réservé à la communication évoluée au niveau cellule, c'est-à-dire au dialogue entre automatismes (API et PC) ; il privilégie la richesse fonctionnelle et non les temps de réponse.

Sa couche application (couche 7 du modèle OSI) est constituée de :

- La messagerie FMS (*Fieldbus Message Specification*),
- L'interface LLI (*Lower Layer Interface*).

Le profil de communication FMS permet d'unifier des processus d'application répartis en un processus commun.

La partie d'une application, au sein d'un appareil de terrain, accessible à la communication constitue un *équipement de terrain virtuel* ou *VFD (Virtual Field Device)*. Tous les **objets de communication** d'un appareil FMS figurent dans le dictionnaire d'objets (*Object Dictionary*) qui renferme la description, la structure et le type de données, ainsi que la relation entre les adresses internes des objets de communication et leur désignation sur le bus (index/nom).

Les **objets de communication statiques** apparaissent dans le dictionnaire des objets statiques.

Configurés une fois pour toutes, ils ne sont pas modifiables en cours d'exploitation.

FMS distingue cinq types d'objet de communication :

- **Variable simple**

- **Tableau** (suite de variables simples de même type)
- **Structure** (suite de variables simples de divers types)
- **Domaine**
- **Événement** (message d'événement)

5.4.1. Services FMS

Les services FMS (figure 14) sont un sous-ensemble de la messagerie industrielle MMS (*Manufacturing Message Specification, ISO 9506*), optimisée pour les applications réseau de terrain et enrichie de fonctions d'administration des objets de communication et de gestion du réseau.

On distingue deux types de service :

- Les **services confirmés**, réservés à la communication en mode connecté,
- Les **services non confirmés** également utilisables en mode non connecté (diffusion générale et sélective), avec deux niveaux de priorité (prioritaires ou non).

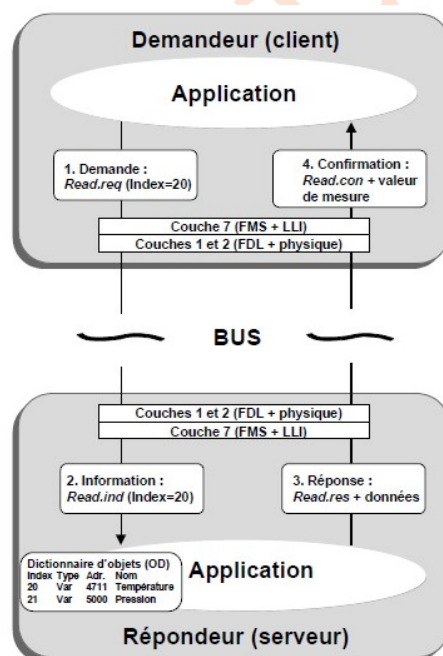


Figure 5.13 - Le profil Profibus FMS

Les services FMS se répartissent en sept groupes :

- **Gestion du contexte** : établissement et libération de liaisons logiques.
- **Accès aux variables** : accès aux variables, structures, tableaux ou listes de variables.
- **Gestion du domaine** : transmission de vastes zones mémoire. Les données sont divisées en segments par l'utilisateur.
- **Gestion des appels de programme** : contrôle du programme.

- **Gestion des événements** : transmission des messages d'alarme, en diffusion générale ou sélective.
- **Support VFD** : identification de l'équipement et demande d'état..
- **Gestion du dictionnaire OD** : accès en lecture/écriture au dictionnaire d'objets.

5.5. Les profils applicatifs

Les profils applicatifs de PROFIBUS ont pour objet de décrire l'emploi des profils de communication et des profils physiques dans certaines applications (automatisation des procédés et GTB) ou pour des types précis d'équipements (codeurs, variateurs...).

5.5.1. Automatisation des procédés (PA)

L'emploi de PROFIBUS dans le domaine du processus est défini par le profil PA Hérité du profil de communication DP. Le PA exploite le support de transmission normalisé CEI 1158-2.

Il définit le paramétrage et le comportement d'instruments de terrain tels que transducteurs et positionneurs, indépendamment du constructeur, ce qui facilite l'interchangeabilité et la totale indépendance de ces équipements vis-à-vis de leur fournisseur.

PROFIBUS-PA permet la mesure et la régulation en boucle fermée d'applications de processus sur une simple ligne bifilaire, sans oublier la maintenance et la connexion/déconnexion des équipements en service, même en zone dangereuse.

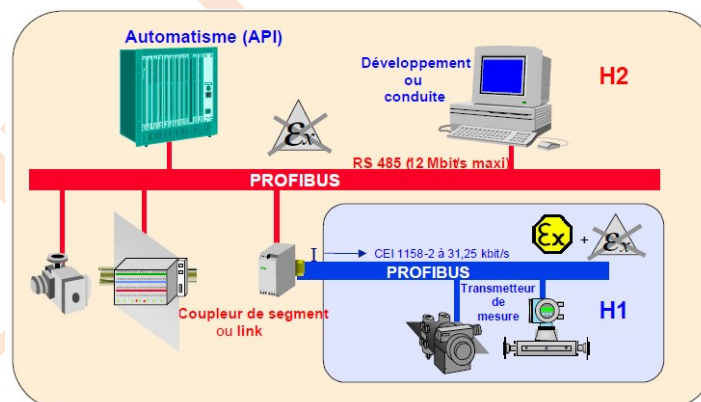


Figure 5.14 - Exemple de réseau PROFIBUS adapté à l'industrie des procédés

Le profil PA répond aux quatre grandes exigences du secteur :

- Mise en œuvre de profils applicatifs normalisés, dédiés automatismes de processus, et interchangeabilité d'équipements industriels hétérogènes.
- Ajout et retrait de stations du bus, même dans des zones à sécurité intrinsèque, sans perturber les autres stations.

- Télé-alimentation par le bus des transmetteurs de mesure, sur une même paire de fils selon CEI 1158-2.
- Utilisation en zone explosible avec deux modes de protection : à *sécurité intrinsèque* (EEx ia/ib) ou *antidéflagrant* (EEx d).

5.5.2. La communication sur PA

Les instruments de terrain installés en zone dangereuse sont connectés sur PROFIBUS par une liaison CEI 1158-2 qui assure à la fois la transmission des données et la télé-alimentation, sur deux fils. Le passage en zone saine (PROFIBUS DP sur RS 485) est réalisée au travers d'un coupleur de segment ou à un link.

Contrairement au câblage traditionnel qui impose de tirer une ligne pour chaque signal entre l'instrumentation et la carte d'E/S du système de contrôle-commande (API,SNCC), les données de plusieurs équipements sur PROFIBUS sont acheminées sur un seul câble.

Selon les risques d'explosion et la consommation électrique des instruments de terrain, il est possible de raccorder de 9 (Eex ia/ib) à 32 (non ex) instruments de mesure sur un seul coupleur de segment ou liaison ; l'économie porte donc non seulement sur le câblage, mais aussi sur les modules d'E/S du système qui sont remplacés par l'interface PROFIBUS.

5.5.3. Les aspects applicatifs de PA

Le profil PA se compose d'une *spécification générale* contenant les définitions applicables à l'ensemble des instruments de terrain et de *fiches techniques équipements* renfermant des informations propres à chaque type d'instrument. Ce profil convient à la description d'appareils se résumant à une seule variable mesurée (*monovariante*) comme aux appareils multifonctions dotés de plusieurs variables (*multivariables*).

Les fiches équipements du profil PA actuel (version 3.0) couvrent la totalité des transmetteurs de mesure les plus courants :

- Capteurs de pression et de pression différentielle
- Capteurs de niveau, de température, de débit
- Entrées et sorties analogiques et TOR
- Vannes, positionneurs, analyseurs

5.5.4. Les blocs de fonctions de PA

Pour décrire les fonctions et les paramètres de l'équipement, PROFIBUS-PA s'appuie sur un modèle de blocs de fonctions universellement reconnu par le marché. Ces blocs représentent diverses fonctions utilisateur : Entrée analogique, Sortie analogique... Orientés application, ils sont complétés de deux blocs davantage axés sur l'équipement : le *Bloc physique* et le *Bloc transmetteur*.

Les paramètres d'entrée et de sortie des blocs de fonctions peuvent être reliés par le bus et raccordés à une application d'ingénierie du procédé.

Bloc physique - C'est la fiche d'identité de l'équipement : désignation, fabricant, version et numéro de série.

Bloc transmetteur - Contient des données propres à l'application, comme les paramètres de réglage.

Entrée analogique - Lit la valeur mesurée par le capteur, ainsi que son état et la mise à l'échelle.

Sortie analogique - Fournit à la sortie analogique la valeur donnée par le système.

Entrée TOR - Fournit au système la valeur de l'entrée TOR.

Sortie TOR - Fournit à la sortie TOR la valeur donnée par le système.

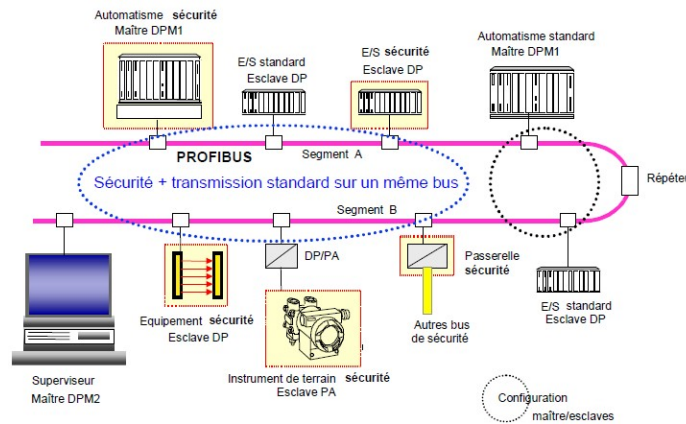


Figure 5.15 - Architecture globale DP/PA

5.5.5. Profil Sécurité (PROFISafe)

Le profil sécurité PROFISafe définit le raccordement d'équipements à sécurité intrinsèque (arrêts d'urgence, barrières immatérielles, verrouillages) à des automatismes programmables sur PROFIBUS.

Le domaine particulier de la sécurité, dont la plupart des constituants étaient jusqu'ici raccordés en fil à fil, peut ainsi bénéficier des multiples atouts d'une communication ouverte sur PROFIBUS.

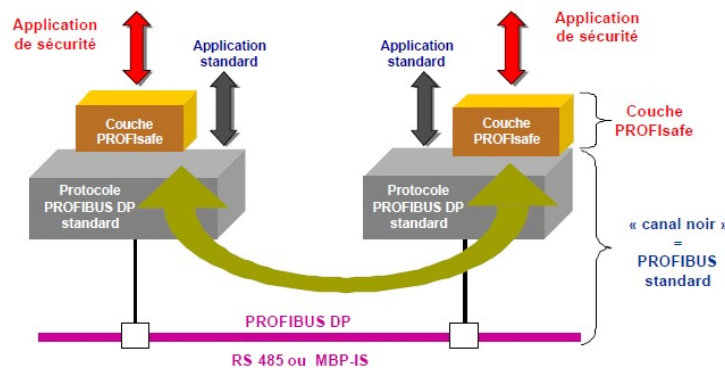


Figure 5.16 - Le profil Profisafe

5.6. Profinet

PROFINET est le standard de communication créé par PROFIBUS International pour une mise en œuvre des solutions d'automatisation intégrées et cohérentes, sur Ethernet industriel. En effet, PROFINET sait fédérer sur Ethernet aussi bien des appareils de terrain simples et des applications à temps critique, que des automatismes répartis à base de composants multifournisseurs.

PROFINET est un standard international regroupant:

- ❖ IEC 61158/61784-1 et -2 pour les protocoles de communication
- ❖ IEC 61784-5 et IEC 61918 pour les connecteurs
- ❖ IEC 62439 pour la redondance du média (MRP)

5.6.1. Appareils de terrain sur PROFINET IO

PROFINET IO décrit la vue des données d'E/S des équipements. Les fonctionnalités PROFINET IO incluent l'échange de données temps réel (RT) et temps réel isochrone (IRT) des équipements d'E/S. Les désignations RT et IRT sont utilisées seulement pour décrire les propriétés temps réel de la communication.

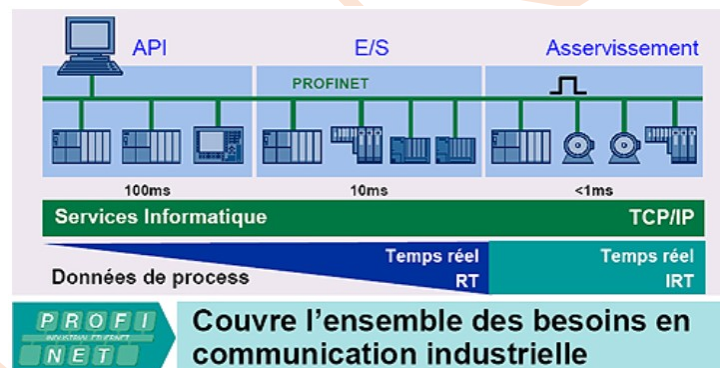


Figure 5.16 – Le Profinet

5.6.2. PROFINET et le modèle OSI

PROFINET est basé sur Ethernet et mise systématiquement sur l'IEEE 802.3u : Fast Ethernet 100Mbit/s. PROFINET utilise TCP/IP ainsi que les standards de technologie de l'information (serveur Web : HTTP, protocole de communication : SMTP, transfert de fichiers : FTP). PROFINET permet l'utilisation de la technologie XML. PROFINET supporte le protocole SNMP, très utile pour la maintenance à distance et le diagnostic réseau.

Modèle OSI	Modèle TCP/IP	Protocoles
7 - APPLICATION	APPLICATION	HTTP, SMTP, SNMP, FTP, (XML)
6 - PRESENTATION	APPLICATION	HTTP, SMTP, SNMP, FTP, (XML)
5 - SESSION	APPLICATION	HTTP, SMTP, SNMP, FTP, (XML)
4 - TRANSPORT	TRANSPORT (TCP/UDP)	TCP
3 - RESEAU	INTERNET (IP)	IP
2 - LIAISON DE DONNEES	ACCES RESEAU	Ethernet (802.3U: Fast Ethernet)
1 - PHYSIQUE	ACCES RESEAU	codage dépendant du médium

5.6.3. PROFINET et la pyramide CIM

PROFINET permet une intégration facile de tout bus de terrain (pas seulement PROFIBUS), grâce aux passerelles spécialement conçues à cet effet. PROFINET est un standard complet, qui répond à toutes les exigences relatives à la mise en œuvre d'Ethernet dans l'automatisation. PROFINET couvre des besoins qui vont du niveau terrain au niveau conduite.

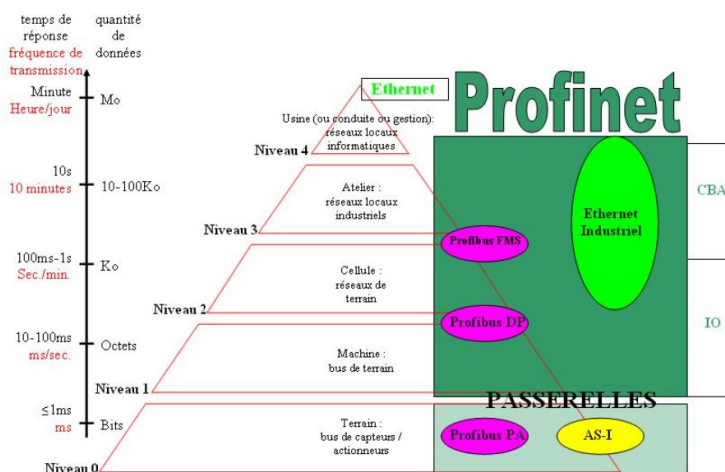


Figure 5.17 – Le Profinet et la pyramide CIM

5.7. Résumé de la fiche technique DP/PA

Tableau 5.4- Résumé de la fiche technique

	PROFIBUS DP			PROFIBUS PA
Transmission des données	RS 485	RS 485-IS	fibres optiques	MBP
Vitesse de transmission	9,6 kbits/s... 12 Mbits/s	9,6 kbits/s... 1,5 Mbits/s	9,6 kbits/s... 12 Mbits/s	31,25 kbits/s
Câble	câble bifilaire blindé	câble bifilaire blindé	FO plastique et FO verre monomode et multimode	câble bifilaire blindé
Mode de protection		EEx(ib)		EEx(ia/ib)
Topologie	linéaire, arborescente	linéaire	anneau, étoile, linéaire	linéaire, arborescente, anneau
Participants par segment	32	32 ¹⁾	–	32
Participants par réseau (avec répéteur)	126	126	126	–
Longueur de câble par segment en fonction de la vitesse de transmission	1 200 m pour max. 93,75 kbits/s 1 000 m pour 187,5 kbits/s 400 m pour 500 kbits/s 200 m pour 1,5 Mbits/s 100 m pour 12 Mbits/s	1 000 m pour 187,5 kbits/s ¹⁾ 400 m pour 500 kbits/s ¹⁾ 200 m pour 1,5 Mbits/s ¹⁾	max. 80 m (plastique) 2-3 km (FO verre multimode) >15 km pour 12 Mbits/s (FO verre monomode)	1 900 m : Standard 1 900 m : EEx(ib) 1 000 m : EEx(ia)
Répéteurs pour le rafraîchissement des signaux des réseaux RS 485	max. 9	max. 9 ¹⁾	non pertinent	non pertinent

6. Bibliographie

1. Fred Halsal, "Multimedia Communications: Applications, Networks, Protocols and Standards", AddisonWesley, 2001.
2. Tanenbaum, Andrew, « Réseaux », Dunod 4e édition 2003.
3. Jean-François Hérold, Olivier Guillotin, Patrick Anaya, « Informatique industrielle et réseaux », Dunod 2010.
4. James Powell, Henry Vandelinde, Catching the Process Fieldbus: An Introduction to Profibus for Process Automation, Momentum Press, LLC, 2012, ISBN : 978-1606503966.
5. IDC Technologies, "Communications, industrial networking and TCP/IP", 2013.
6. Eric D. Knapp, Joel Thomas Langill, "Industrial Network Security, 2nd Edition", 2014, ISBN: 9780124201842.
7. Xiu Ji, "PROFIBUS in Practice: System Architecture and Design Paperback", CreateSpace, 2015, ISBN : 978-1507633045
8. Lawrence (Larry) M. Thompson and Tim Shaw, "Industrial Data Communications, Fifth Edition", International Society of Automation, 2016, ISBN: 978-0-87664-095-1.

Exercices

Dr.F.N.Vaidya

Exercice # 1 -

Cocher la ou les bonne(s) réponse(s).

Dans un réseau informatique, un routeur opère dans la:

- a. Couche 1 b. Couche 2 c. Couche 3 d. Couche 4 e. Couche 5 f. Couche 6 g. Couche 7

1. Le nombre maximal d'entrées sorties (E/S) sur un bus AS-i version 2.0 est :

- a. 4E+4S; b. 124E+124S; c. 31E+31S; d. 248E+248S;

2. Sur un segment de réseau Profibus on peut avoir au maximum:

- a. 126 équipements ; b. 32 équipements ; c. 62 équipements ; d. 128 équipements ;

3. Parmi les termes suivants, lequel n'est pas un mode d'accès Profibus :

- a. Maître/Esclave b. Token Ring (à jeton) c. Client/serveur

4. Dans un réseau AS-i, le télégramme correspondant aux requêtes du maître contient :

- a. 4 bits d'adresse+4 bit d'information b. 14 bits c. 4 bits d'adresses + 10 bits d'information

5. Quels termes ne correspondent pas au nom d'une couche OSI?

- a. Application b. Liaison c. Transmission d. Présentation e. Internet f. Session g. routage

6. Quels profils n'appartiennent pas au réseau Profibus:

- a. LMS b. FMS c. PA d. DP e. CP

7. Un réseau Profibus peut supporter:

- a. 64 stations ; b. 128 stations; c. 126 stations; d. 32 stations ;

8. À quel type d'adresse correspond 192.168.17.128/29 ?

- a. Une adresse hôte b. Une adresse réseau

- b. Elle utilise un concentrateur ou un commutateur comme point central pour connecter tous les fils.
- c. Elle propose une connectivité maximale entre les systèmes du réseau.
- d. Elle relie tous les ordinateurs à un ordinateur principal qui contrôle l'ensemble du trafic du réseau.

16. Quel est le rôle du masque de réseau ?

- a. Il permet de cacher l'adresse IP
- b. Il détermine l'adresse d'un réseau IP à partir de l'adresse IP d'un poste
- c. Il détermine l'adresse du poste dans le réseau IP
- d. Il permet de crypter les communications sur le réseau IP.

17. La plage d'adressage du profibus se fait sur :

- 6 bit 8 bit 7 bits 5 bits

18. Le profibus supporte des architectures :

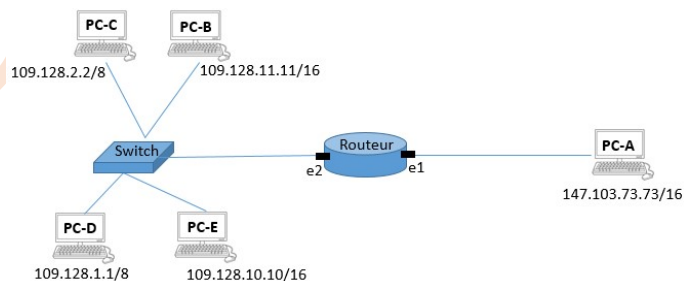
- Mono-maitre Multi-maitres mono-maitre et multi-maitres
 quelconque

19. A quel type appartient l'adresse suivante : 200.100.50.15/28

Exercice # 3

- Soit le réseau ci-après. (e1 et e2 représentent les interfaces de connexion du routeur)

- a. Quels PC comportent un masque de réseau incorrect. Pourquoi ?
- b. En quoi un masque de sous-réseau incorrect affecte-t-il ces PC?
- c. Quel est le masque de réseau correct ?
- d. Donner l'adresse du réseau du **PC-A**. (Détaillez les calculs)
- e. Combien de PC peut-on connecter à ce réseau (réseau du **PC-A**). (Détaillez les calculs)

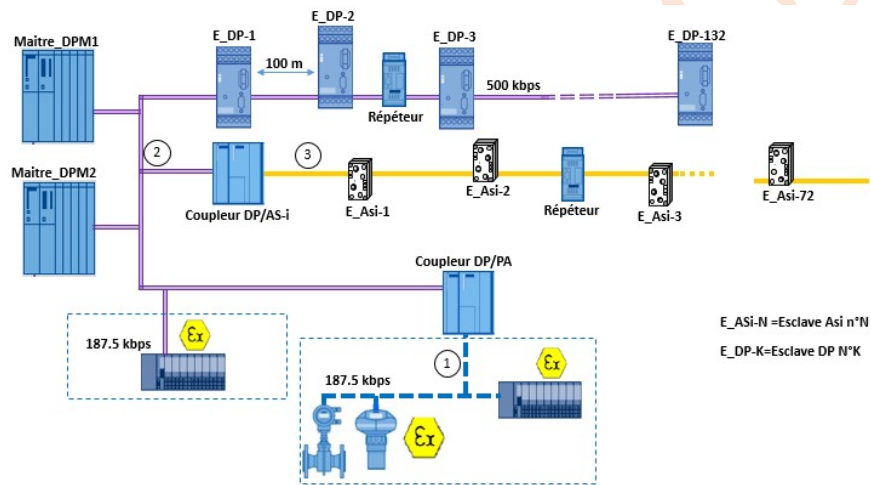


- f. On veut diviser ce réseau en 3 sous-réseaux de même taille. Quelle est le masque de ces sous-réseaux ? (Détaillez les calculs)
- g. Donner l'adresse du réseau et de broadcast du troisième sous-réseau. (Détaillez les calculs)

Exercice # 4

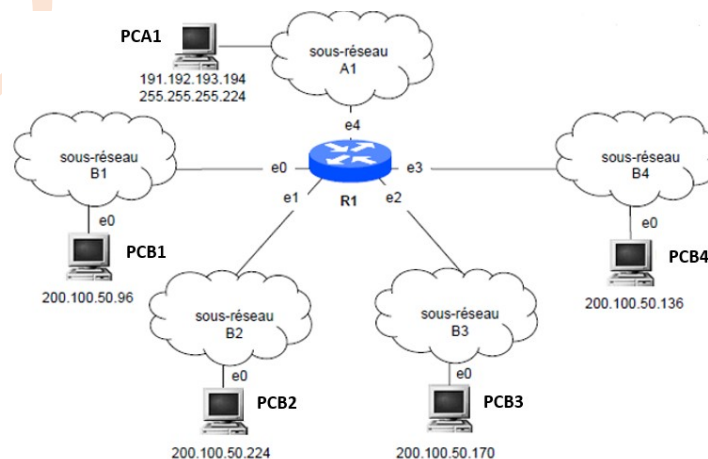
Soit le réseau industriel de la figure ci-après.

1. Quelle est la couleur des câbles 1, 2 et 3
2. Quel est le type d'interface physique entre le maître **DPM1** et le **E_DP-1**.
3. Quelle est la méthode d'accès entre **DPM1** et **DPM2**.
4. Identifier trois (03) erreurs illustrées dans la figure précédente.
5. Sachant qu'on a besoin de **128 entrées/128 sorties** TOR; combien d'esclaves compatibles AS-i V2.0 doit-on avoir dans ce réseau? Quant est-il des serveurs AS-i?



Exercice # 5

On considère le réseau suivant formé de cinq sous-réseaux respectivement dénommé A1 ; B1 ; B2 ; B3 et B4 interconnectés entre eux par le routeur R1. Le routeur R1 dispose de 5 interfaces réseaux nommées **e0, e1, e2, e3, e4**



1. Sachant que les sous-réseaux B_i ($i=1,..,4$) aient le même nombre de host, à quel réseau initial les sous-réseaux B_i ($i=1,..,4$) appartiennent elles? (prendre 2^n pour le calcul du nombre de sous-réseaux)
2. Donner le masque du sous-réseau pour les sous-réseaux B_i ,
3. Indiquer pour $A1$ et B_i ($i=1,..,4$):
 - a. L'adresse de sous-réseau, (*détailler les calculs*)
 - b. L'adresse de broadcast
 - c. Donner la dernière adresse utilisable du sous-réseau $B3$ (*détailler les calculs*)
2. Sachant qu'on attribue aux interfaces du routeur les premières adresses disponibles dans chaque plages d'adresse, indiquez les adresses qui doivent être affectées à **e0**, **e1**, **e2**, **e3**, **e4**, **e5**.

Exercice #6

On veut construire un réseau industriel disposant d'automates programmable industriel qui supportent le Protocol Profibus DP. Ce réseau contient :

- Des esclaves pour capteurs/actionneurs à base du Protocol AS-i version V2.1
 - Des esclaves profibus DP.
 - Une zone explosible.
1. Quel type de méthode d'accès supporte le profibus DP?
 2. Si ce réseau a besoin de 430 entrées/sorties TOR; de combien d'esclaves compatibles AS-i V2.1 auront-nous besoin?
 3. Sachant qu'on doit inclure 20 capteurs à base AS-i. Qu'Aurons-nous besoin de plus comme éléments pour que le réseau soit compatible AS-i? Justifier ?
 4. Donner un schéma global descriptif du réseau.

Exercice # 7

- a. Qu'aurons-nous besoin pour réaliser un réseau AS-i V2.1 qui dispose de 594 E/S et de 20 capteurs AS-i sur un rayon étendu de 220m.

Donner l'architecture du réseau en calculant le nombre d'équipements nécessaires.

- b. Dans la pyramide CIM, quel niveau contient moins d'équipements.