

Chapitre 1. Architecture des réseaux

1. Généralité sur les réseaux

Les réseaux industriels sont désormais incontournables dans le monde de l'automatisme pour bien exploiter une installation.

Les réseaux industriels apportent une grande souplesse aux systèmes de contrôle / commande, ils diminuent les coûts de câblage, ils offrent des possibilités nouvelles pour le contrôle et la supervision des installations, tant pour les équipes d'exploitation que de maintenance, de production ou de gestion.

Un réseau industriel fait communiquer entre eux non seulement des PC, mais aussi des automates, des interfaces d'entrée / sortie (capteurs, actionneurs, variateurs, affichage, supervision) et des systèmes complets (ascenseurs, process...).

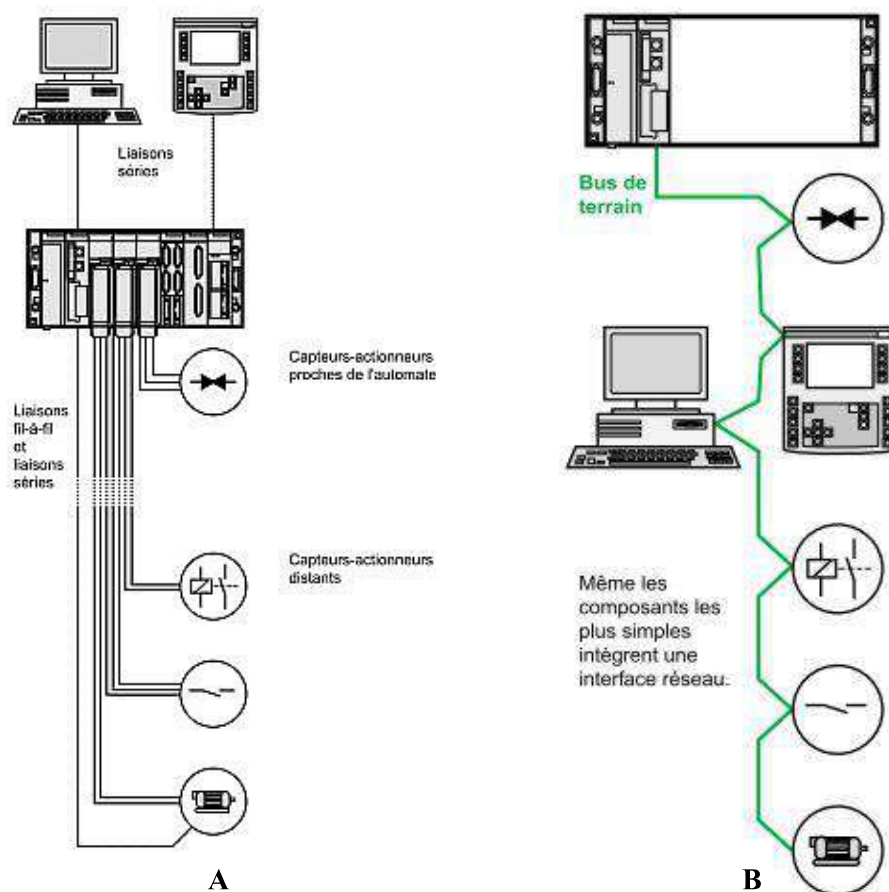


Fig.1.1 Communication industrielle

A: Câblage traditionnel Filair, **B:** câblage par bus.

1.1 L'internet et l'automatisation

Les technologies issues d'internet offre aujourd'hui une solution aux problèmes d'accès à distance aux systèmes d'automatisation.

Certaines installations comme les plateformes pétrolières, les centrales électriques, les cimenteries, raffineries nécessitent l'intervention de spécialiste lors de leurs mises en service.

Du fait que ces installations se situent généralement dans des endroits éloignés, ce genre d'intervention occasionne des retards de mise en service et des couts importants (déplacement de matériels).

Pour parier aux difficultés de gestion et d'exploitation des installations industrielles, parmi les solutions les plus utilisées dans la plupart des pays développés est l'intervention à distance et ce en assurant les fonctions suivantes :

- La télésurveillance.
- La télé contrôle et télé supervision.
- Le paramétrage des équipements à distance.
- Télé diagnostique et télé maintenance et télé configuration
- Supervision de l'ensemble des installations appartenant à l'entreprise.
- Sécurité d'information.

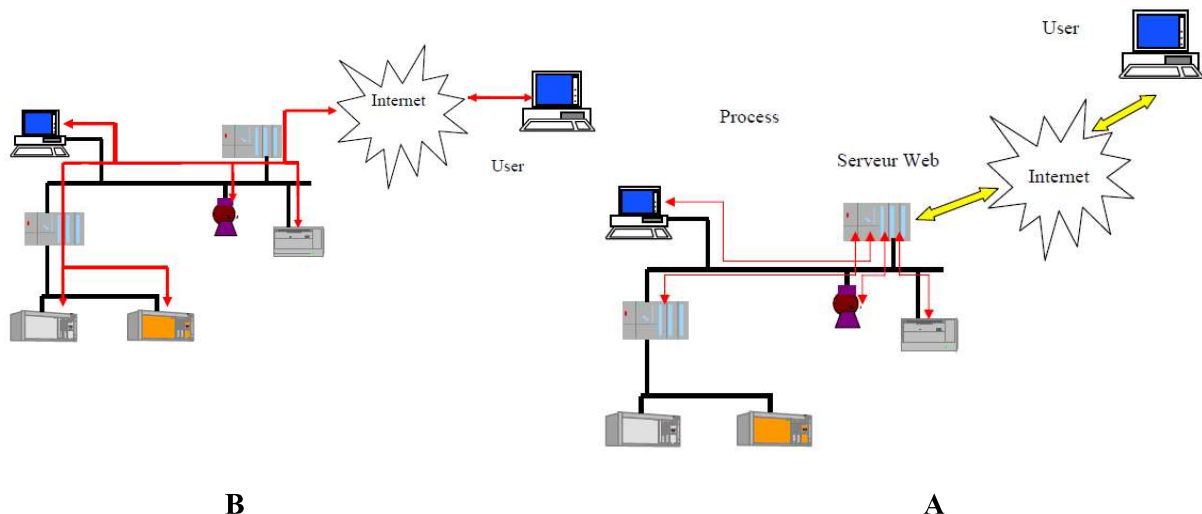


Fig.1.2 Utilisation de l'internet dans le domaine industriel

A : serveur web qui collecte des informations sur le processus.

B : serveur web enfouille dans les équipements de terrain.

2 Présentation de 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),
- Capteurs et actionneurs,
- stations de supervision, ...etc.

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

Dans les environnements industriels d'aujourd'hui, la plus part des tâches se font d'une façon automatique ce qui maximise les taux de production, garantit une meilleure sécurité du personnel, et augmente la rentabilité de l'industrie en générale.

L'automatisation de l'industrie permet d'atteindre des objectifs très intéressants :

- Commercialiser rapidement les nouveaux produits,
- Réagir à court terme et avec souplesse aux exigences du marché,
- Réduire le temps de mise sur marché,
- Produire de manière efficace et économique,
- Exploiter de façon optimale les capacités des machines,
- Minimiser les temps improductifs, ...etc.

De telles objectifs ne sont parfaitement atteints que si toutes les machines d'une installation sont complètement automatisées et fonctionnent en parfaite interaction, ce qui peut-être atteint par :

- l'utilisation de machines automatisées,
- L'utilisation des PLC (contrôleurs à logique programmée) qui permettent
- d'automatiser l'utilisation de certains équipement non automatisés.
- L'utilisation des robots pour automatiser les tâches « intelligentes » telles que la soudure, le montage, assemblage, ... etc.

L'utilisation des réseaux informatiques industriels pour garantir l'interopérabilité des équipements automatisés.

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

2.1 Le niveau Entreprise (niveau 3)

On trouve à ce niveau des services de gestion tel que :

La gestion commerciale, La gestion du personnel, La gestion financière, ...

2.2 Le niveau usine (niveau 2)

Ce niveau englobe des tâches de gestion de la production tel que :

La GPAO : gestion de production assistée par ordinateur, La CFAO : Contrôle de fabrication assisté par ordinateur, La CAO : Conception assistée par ordinateur, Des services de transport, Le contrôle de qualité,....

2.3 Le niveau atelier ou cellule (niveau 1)

Contient plusieurs îlots de fabrication, de vision, de supervision, des robots, des automates, ...etc.

2.4 Le niveau terrain (niveau 0)

C'est le niveau le plus bas, qui contient les équipements de fabrication proprement dite tel que :

- Les machines automatisées de production qui sont des machines programmables qui peuvent selon le programme chargé exécuter des tâches complexes sans intervention humaine,
- Les capteurs qui sont des instruments de mesure qui peuvent fournir à des machines intelligentes (tel que les ordinateurs ou les contrôleurs) des informations telle que la température, la pression, la tension, la couleur, les variations, ...etc
- Les actionneurs qui sont des instruments qui peuvent être activés par des machines intelligentes tel que les vannes, les interrupteurs, les alarmes,...etc

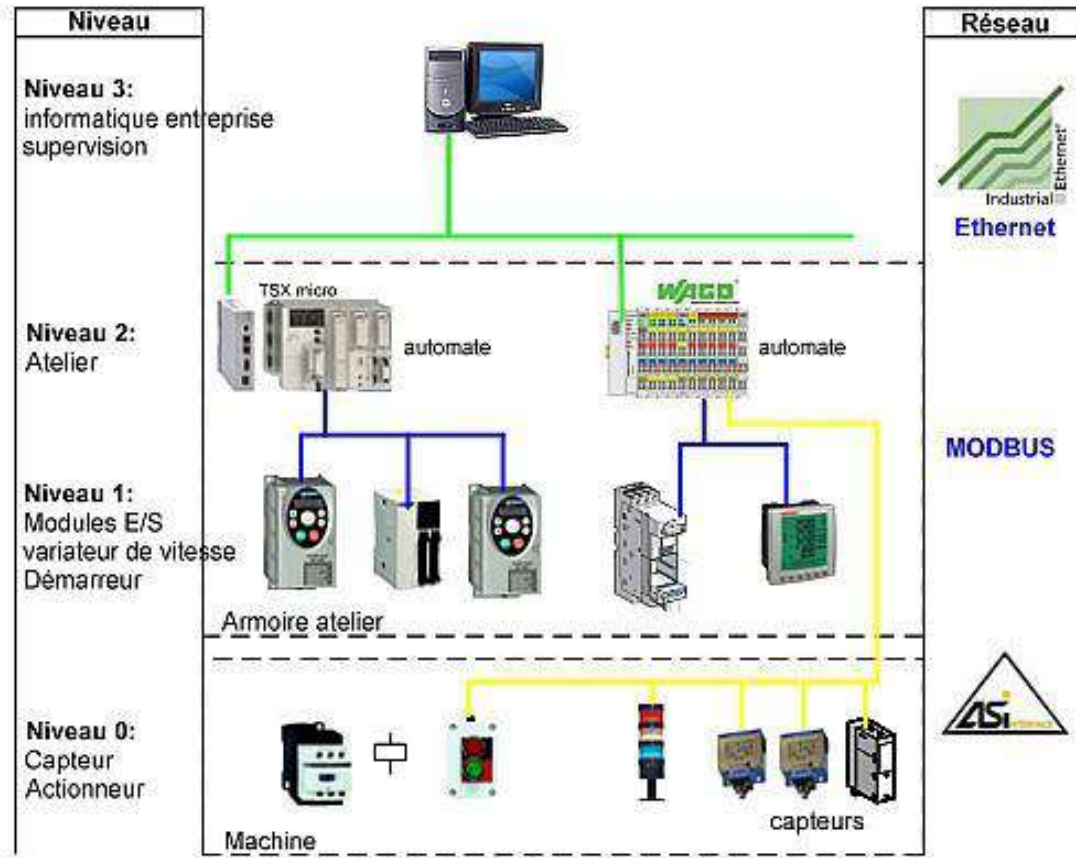


Fig.1.3 Le lien entre le monde informatique et l'automatisme.

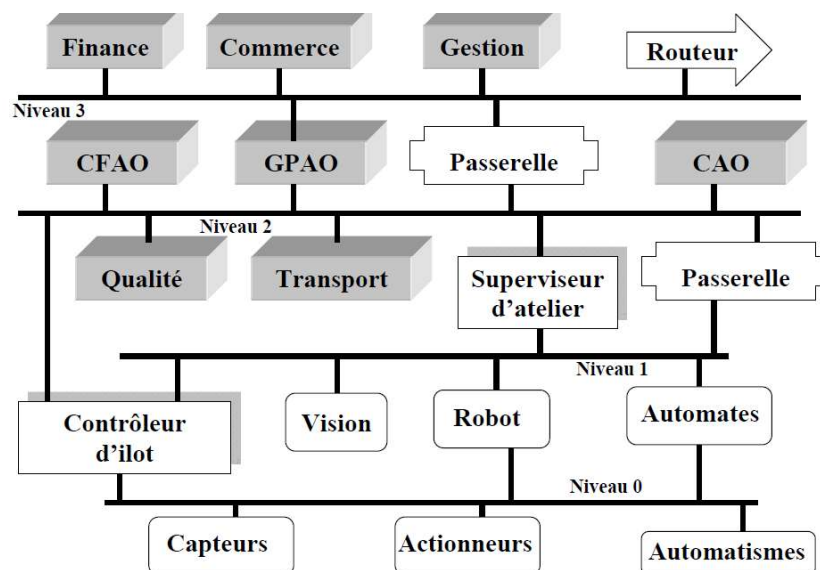


Fig.1.4 Les différents niveaux d'abstraction dans un environnement industriel intégré

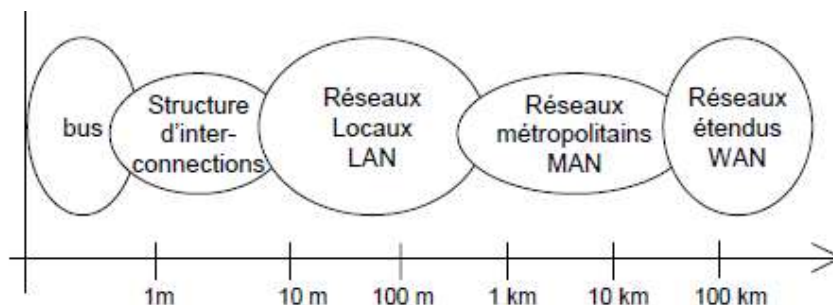
Parmi toutes les composantes d'une installation industrielle, les réseaux de communication jouent un rôle central dans les solutions automatisées, ils permettent essentiellement :

- 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
- échange rapide des informations entre les différentes parties de l'installation
- un diagnostic, et une maintenance efficaces des fonction de sécurités intégrées empêchant les accès non autorisés ... etc.

2. Classification des réseaux

Classification des réseaux selon leur taille, c'est à dire au nombre de d'utilisateurs qui sont connectés au réseau. Le plus petit réseau est le réseau LAN ou Local Area Network, c'est un réseau local qui ne dépasse pas 100 ordinateurs situés le plus souvent dans un même bâtiment. Le réseau moyen est un réseau de type MAN ou Metropolitan Area Network dit métropolitain. Ce réseau MAN est constitué d'une série de réseaux locaux LAN où les ordinateurs sont situés dans une même région, ville. Enfin, le réseau WAN ou Wide Area Network ou encore réseau étendu. Ce réseau WAN est le plus important des réseaux, il est constitué de réseaux LAN et WAN. Internet est le plus grand réseau WAN.

sigle	distance	débit
BUS	Quelque mètre	Quelque Kb/s
LAN	Jusqu'à 2km	De 1Mb/s à 10 Mb/s
MAN	100 km	Environ 100M à 10Gb/s
WAN	1000km	Quelque Mb/s



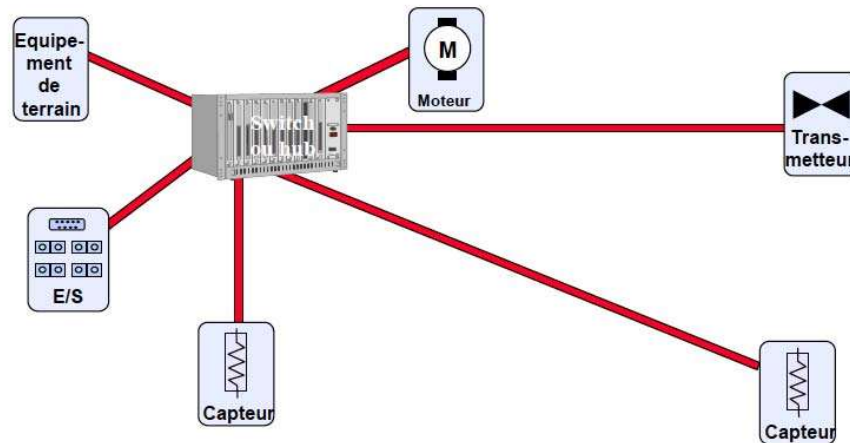
3. Topologies des réseaux

Nous pouvons dire pour résumer la structure des réseaux de communication qu'il existe deux types de conception :

- **Les canaux en mode point à point** : topologie en étoile ou maillée, Liaisons de deux postes reliés physiquement par un support de communication. Il s'agit d'un réseau commuté (switch), l'entête d'adresse permettant de définir un chemin unique de point à point...

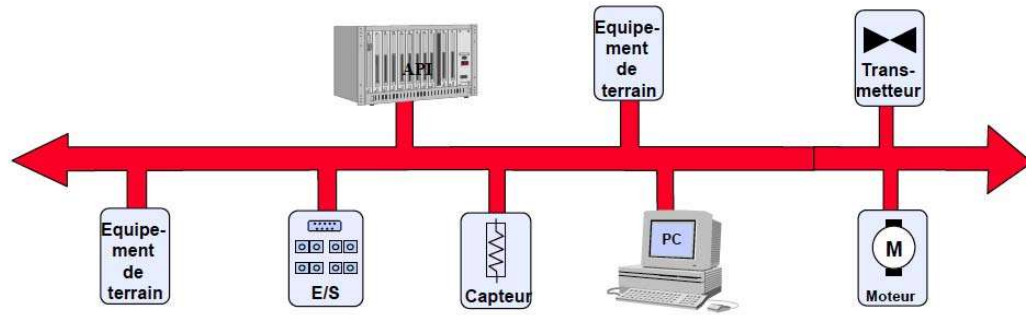


- **Etoile** : La **topologie en étoile** est une extension d'un réseau point à point entre 2 machines. L'équipement central est un commutateur (switch) qui constitue un noeud d'aiguillage en fonction de l'adresse du message. concentrateur ou un commutateur (hub).

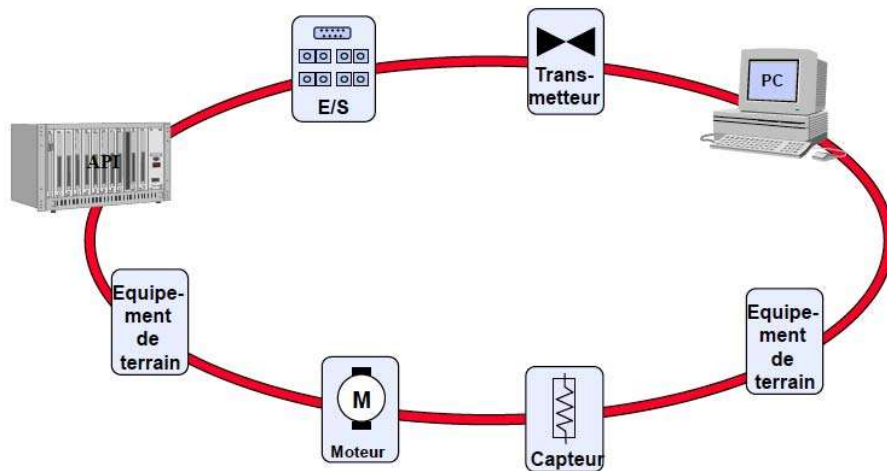


- **Les canaux de diffusion/multipoints**: topologie en bus ou en anneau, Liaisons dans les quelles le support physique de communication est partagé par plusieurs éléments. Dans le cadre d'une liaisons multipoint tous les messages mis sur le réseau sont perçus par tous les équipements connectés.
-C'est l'adresse spécifique ou le contenu de message qui permettra à chaque nœud de déterminer si le message lui est adressé ou non.

- **Bus** : Dans une **topologie en bus** tous les ordinateurs sont reliés à une même ligne de transmission par l'intermédiaire de câble, généralement coaxial pour une liaison série. Le mot « bus » désigne la ligne physique qui relie les machines du réseau. Une **topologie en bus** est l'organisation la plus simple d'un réseau.



- **Anneau** : Dans un réseau possédant une **topologie en anneau**, les ordinateurs communiquent chacun à leur tour de proche en proche.



4. Technologie d'interconnexion de réseaux :

Les équipements mis en œuvres dans l'industrie ne communiquent pas forcément de la même manière. Pour pouvoir intégrer les différents équipements dans un système de communication, il faut qu'ils puissent communiquer entre eux. C'est pour cela que des équipements spécifiques sont mis en place tel que :

Répéteur : Il permet de régénérer / amplifier le signal reçu d'un côté et le retransmet tel quel de l'autre côté.

Le répéteur raccorde deux segments de réseau identiques. Il fonctionne au niveau 1 (couche physique) du modèle OSI. **Par exemple**, la longueur maximale d'un bus Ethernet est d'une centaine de mètres. Pour avoir un réseau plus long, on connectera plusieurs brins Ethernet au moyen de répéteurs.

Concentrateur (hub) : il permet de concentrer le trafic provenant de plusieurs hôtes et les diffuser sur l'ensemble des éléments qui lui sont connectés.

Les ponts (bridges) : ils permettent de relier les réseaux de même type.

Commutateur(Switch) : un commutateur est un pont multi port qui permet d'aiguillier les données vers leurs destinations.

Passerelle (Gateway): elles permettent de relier des réseaux d'architecture différents. Il opère au niveau 2 (couche liaison) du modèle OSI.

Routeur : le routeur est un ensemble de processus algorithmique. Ces processus sont destinés à prendre des décisions dispersées dans le temps et dans l'espace en fonction de la destination finale et de la table de routage (Table qui donne le choix de la route à prendre en fonction de la destination).

La figure suivante montre l'utilisation d'une passerelle pour interconnecter le réseau ProfiBUS-DP et le réseau EIB (European Instalation Bus Association).

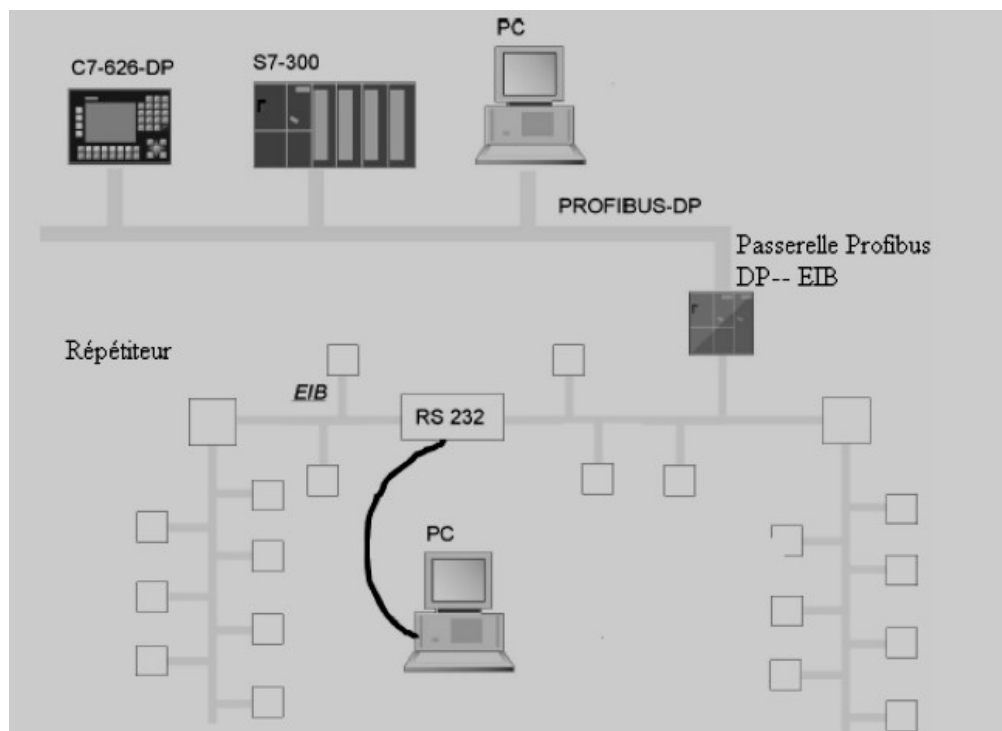


Fig.1.5 Utilisation d'une passerelle pour interconnecté la profibus DP et EIB

5. Le Support de transmission (partie passive)

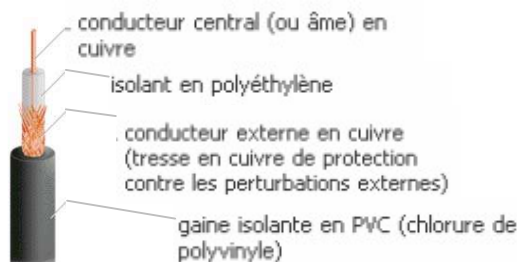
On peut utiliser plusieurs supports physiques de transmission pour relier les différents équipements du réseau. Il existe plusieurs types de câble comme support de transmission, les plus communs sont :

- Le câble coaxial.
- La paire torsadée.
- La fibre optique.
- Paire non torsadée non blindée.

Le câble coaxial : Un câble coaxial est constitué d'une partie centrale appelée âme. Elle accomplit la tâche de transmission de données et est généralement composée d'un brin de cuivre ou de plusieurs brins torsadés. La partie centrale est entourée d'un isolant qui permet d'éviter tout court avec le blindage. Le blindage entoure le câble et protège les données des différents parasites.

La gaine protège le câble de l'extérieur et fabriqué en caoutchouc ou en Chlorure de Polyvinyle (PVC).

On peut distinguer différents types de câble coaxial :



Les différents composants d'un câble 10base2



Un câble 10base5

Certains types de paires torsadées peuvent également être envisagés. Il existe quatre types de câbles. UTP (Unshielded Twisted Pair) est une première catégorie non blindée. En milieu perturbé, son utilisation est bien évidemment à bannir. Deux blindages sont possibles.

Le premier, STP (Shielded Twisted Pair) consiste à insérer une tresse métallique. Le second, FTP (Foiled Twisted Pair), est constitué d'une mince feuille d'aluminium ou feuillard. La combinaison des deux, SFTP, donne un plus dans un environnement perturbé. Les principales catégories de câbles RJ45 sont :

Paires torsadées			
UTP	Unshielded Twisted Pair	Câble non blindé	
FTP	Foiled Twisted Pair	Câble blindé avec une mince feuille d'aluminium ou feuillard	
SFTP	Shielded Foiled Twisted Pair	Câble reprenant les propriétés STP et FTP	
SSTP	Shielded Shielded Twisted Pair	Câble double blindé	

Tableau 1.1 Différents types de paires torsadées

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.

Exemples :



Câble RJ45 résistant à la température + 150°



Câble RJ45 résistant à la température + 180°



Câble RJ45 résistant aux perturbations



Câble industriel en fibre

Fig 1.6 Exemples des câbles industriels

Les connectiques associées doivent également être adaptées à l'environnement. Les prises RJ45 standards ont été améliorées pour assurer l'étanchéité et la robustesse mécanique nécessaires résistant aux perturbation et aux conditions difficiles de fonctionnement tel que les températures trop basses aux élevées et les chocs et aux différents produits chimiques qui peuvent exister dans une usine.

Les exigences techniques des interfaces sont beaucoup plus élevées dans un environnement industriel que dans un bureau. Les branchements doivent être protégés contre l'humidité, la poussière et la saleté afin d'assurer un échange de données impeccable et d'éviter une interruption de l'exploitation. Qu'il s'agisse d'activités de réglage ou de commande, de transmission d'images ou de l'entretien à distance d'une

machine, les tâches et les volumes de données à transmettre sont très divers. Des infrastructures différentes, de l'Ethernet par câbles en cuivre aux réseaux hyper performants par fibre optique, sont utilisées selon la quantité de données à transmettre et la vitesse de transmission désirées.

Exemples :

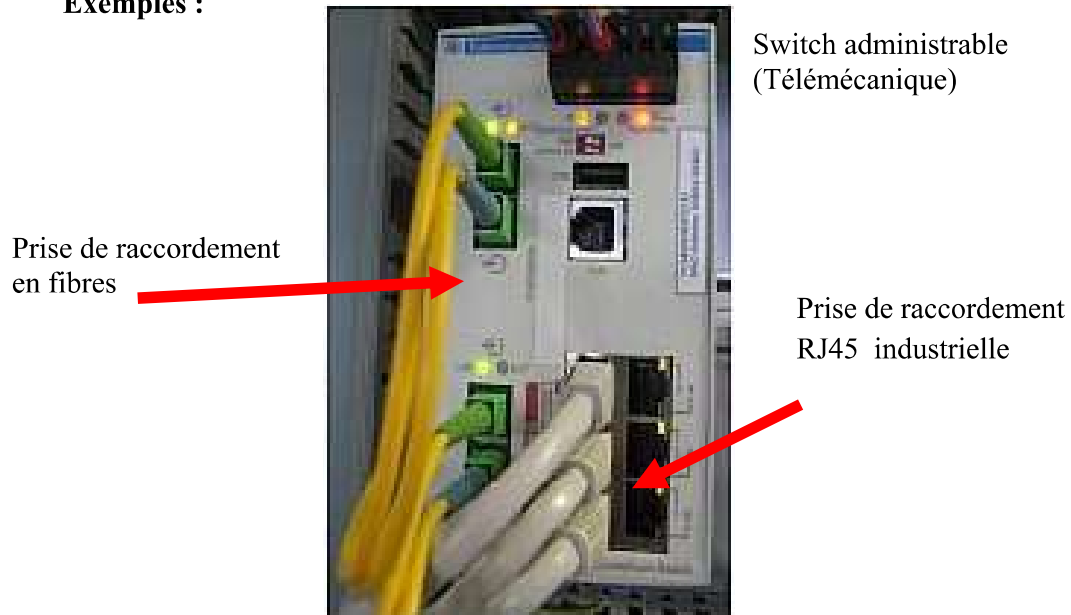


Fig 1.7 Prises de raccordement industrielles

6. Techniques de transmission de données

- **Sens de transmission :**

Pour communiquer des informations entre deux points il existe différentes possibilités pour le sens de transmission :

- Liaisons unidirectionnelles,
- Liaisons bidirectionnelles,
- Liaisons bidirectionnelles simultanées.

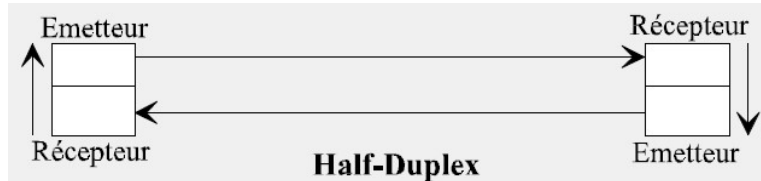
Simplex : les données circulent dans un seul sens : émetteur vers récepteur

Exemples : ordinateur imprimante, souris ordinateur, radio.



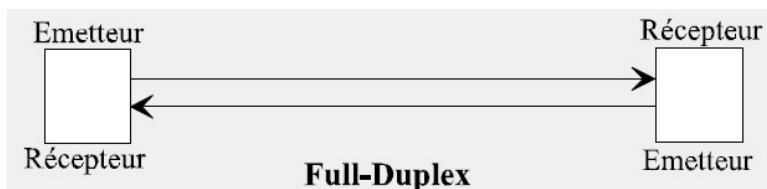
Half-duplex : les données circulent dans les 2 sens mais pas simultanément : la bande passante est utilisée en intégralité (aussi appelé alternat ou semi-duplex).

Exemple : talkie/walkies, êtres humains (on ne coupe pas la parole).



Full-duplex : les données circulent de manière bidirectionnelle et simultanément : la bande passante est divisée par 2 pour chaque sens (duplex intégral).

Exemple : téléphone.



- **Transmission modulée**

On distingue :

- Modulation d'amplitude AM: chaque amplitude représente un 1/0
- Modulation en fréquence FM: chaque fréquence représente un 1/0
- Modulation en phase PM: chaque phase d'un signal représente un 1/0
- Modulation mixte : c'est un mélange de différentes modulations

La transmission modulée consiste à transformer un signal en bande de base en un signal sinusoïdal grâce à un MODEM (Modulateur-Démodulateur).

- **La Transmission bande de base**

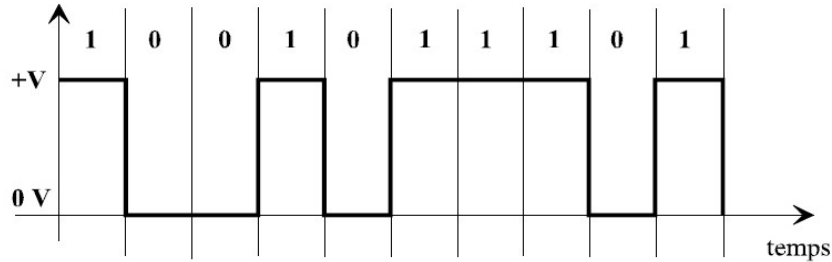
Le principe de la transmission en bande de base (BASEBAND) consiste à transmettre un **signal numérique** dans une bande de fréquence (codage en signal carré).

Remarque : la transmission en large de bande (BROADBAND) est analogique.

Exemple : transformation **numérique/numérique** avec la suite de bits suivante :

1001011101

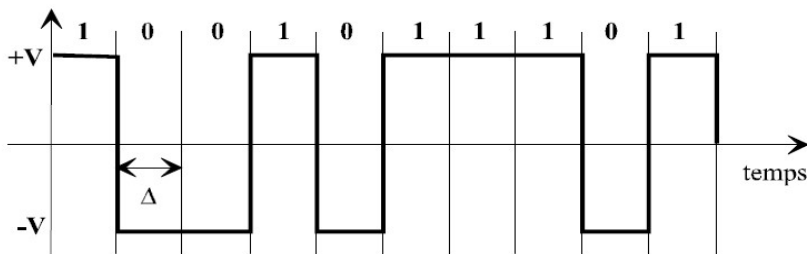
Dont la représentation sous la forme d'un signal électrique est donnée par la figure suivante :



Cette représentation est faite sous la forme de créneaux unipolaires avec une tension positive +V pour les niveaux logique '1', et une tension nulle 0V pour les niveaux logique '0'.

Le code NRZ :

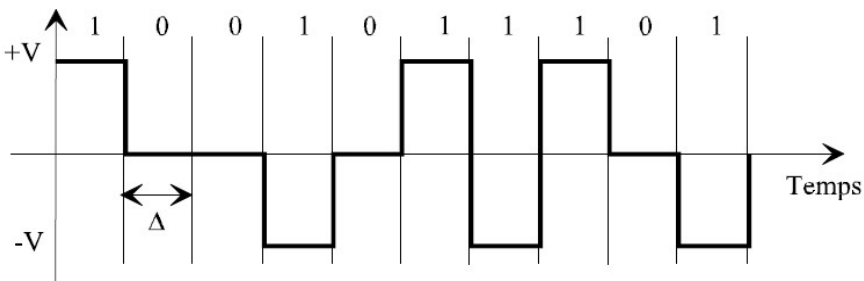
Les niveaux '0' sont codés par une tension -V, Les niveaux '1' sont codés par une tension +V



Le code Bipolaire :

Les niveaux '0' sont codés par une tension Nulle (0V),

Les niveaux '1' sont codés alternativement par un niveau +V et -V



Codage Manchester

Son objectif est de garantir la synchronisation de l'émetteur et le récepteur en minimisant les silences (les longues séries de 1 ou de 0). C'est un code assez utilisé dans les réseaux industriels, son principe consiste à traduire chaque '0' en un front montant et chaque '1' en un front descendant. Pour ce faire, on utilise une fonction non ou exclusif entre l'horloge et la donnée.

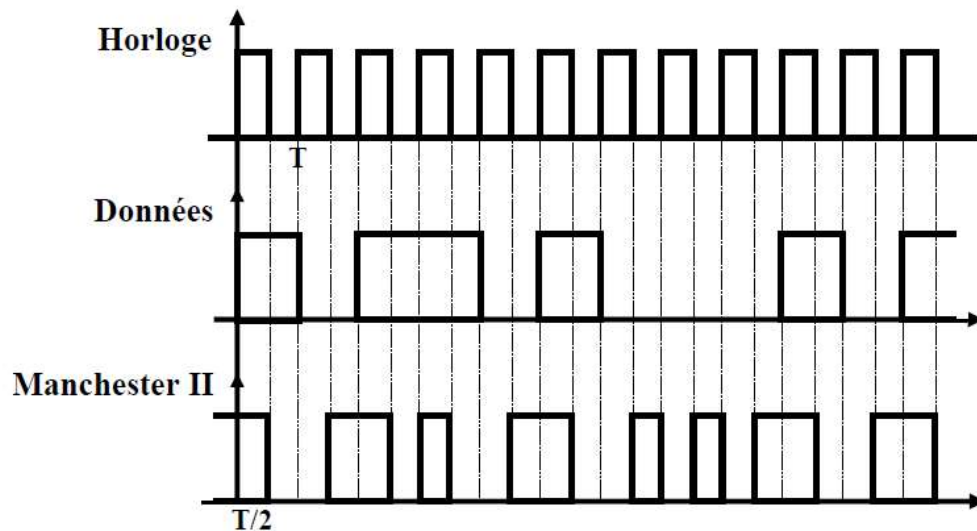


Fig 1.8 Codage Manchester

Codage adapté

Pour minimiser les erreurs dans les réseaux industriels, on commence premièrement par limiter la bande passante utilisée ca qui permet de minimiser les interférences. En plus les techniques de codage en bande de base permet de sécuriser les donner en garantissant la synchronisation.

Bit stuffing

Afin de sécuriser la transmission des messages on utilise la méthode dite de Bit-Stuffing (bit de transparence). Cette méthode consiste, dès que l'on a émis 5 bits de même polarité sur le bus, à insérer un bit de polarité contraire pour casser des chaînes trop importantes de bits identiques. On obtient ainsi dans le message un plus grand nombre de transitions ce qui permet de faciliter la synchronisation en réception par les noeuds. Cette technique est uniquement active sur les champs de SOF, d'arbitrage, de

contrôle, de CRC (délimiteur exclu). Pour un fonctionnement correct de tout le réseau, cette technique doit être implémentée aussi bien à la réception qu'à l'émission.

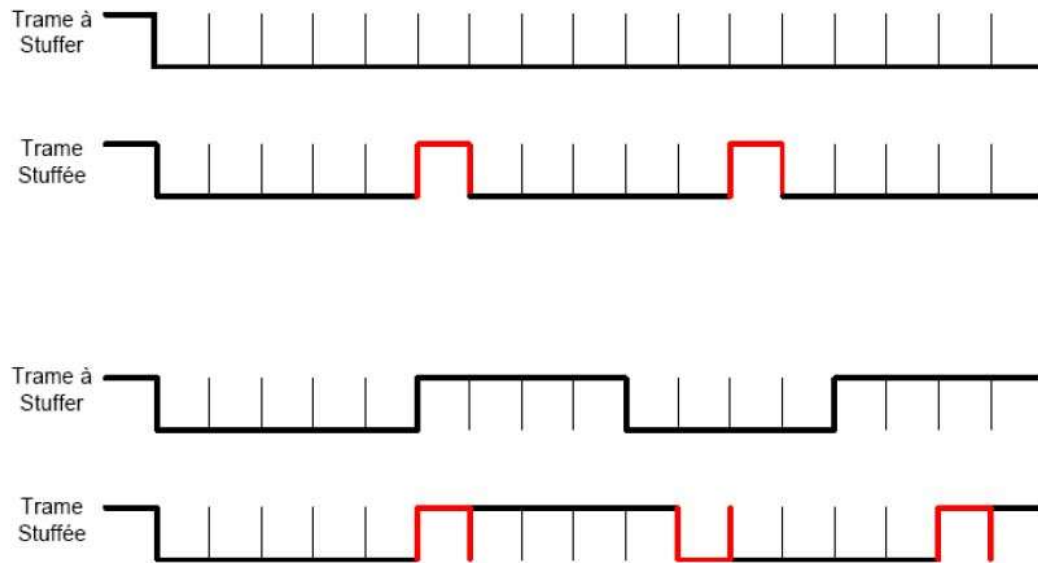


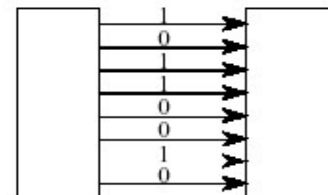
Fig 1.9 Technique Bit Stuffing

En général, un bon support physique, une installation correcte et une vitesse de transmission adaptée évitent une bonne partie des erreurs de trames.

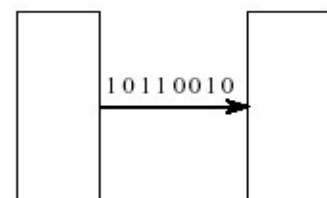
- **Transmission Série / Parallèle**

Parallèle : elle consiste à envoyer des données simultanément sur plusieurs canaux. La transmission est plus rapide qu'une transmission bit par bit. Or il existe un certain nombre de difficultés, limitant le débit et la distance de ces connexions :

- Les fils proches entraînent des perturbations importantes à haut débit.
- Le nombre de fils pose un problème de place et de coût.



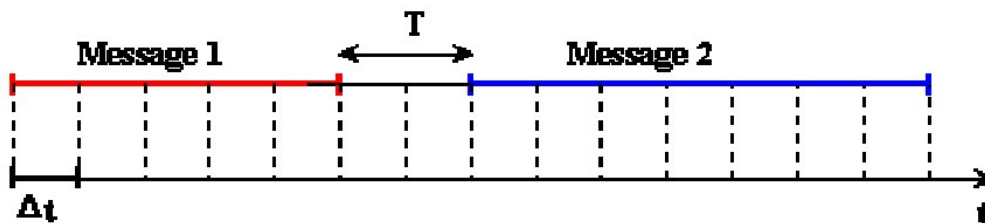
Série : elle consiste à envoyer des données via un canal Unique de transmission. Cet échange plus lent que la communication parallèle et sur plus grandes distances.



- **Transmission Synchrone / Asynchrone**

Deux modes de transmission permettent gérer la communication entre émetteur et récepteur:

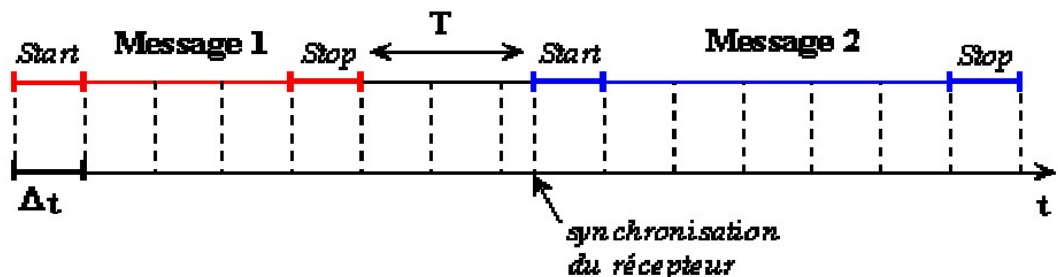
Mode synchrone : l'émetteur et le récepteur sont cadencés à la même fréquence d'horloge. L'horloge de réception et d'émission doit émettre le même signal (pour la synchronisation). Le matériel le plus lent impose donc le rythme des communications. Le temps qui sépare l'envoi de 2 messages doit être un multiple de Δt d'un bit.



Δt : temps nécessaire pour l'envoi d'un bit

T : temps entre l'envoi du message 1 et du message 2, multiple entier de Δt

Mode asynchrone : ce type de transmission ne nécessite pas un signal d'horloge mais elle utilise des caractères de contrôle **START** bit et un ou deux **STOP** bits. L'avantage des transmissions asynchrones réside dans la simplicité de la méthode. Le temps entre deux messages n'étant pas défini, le message est envoyé sans attendre la synchronisation.



Δt : temps nécessaire pour l'envoi d'un bit

T : temps quelconque entre l'envoi du message 1 et du message 2

7. Protocoles de communication

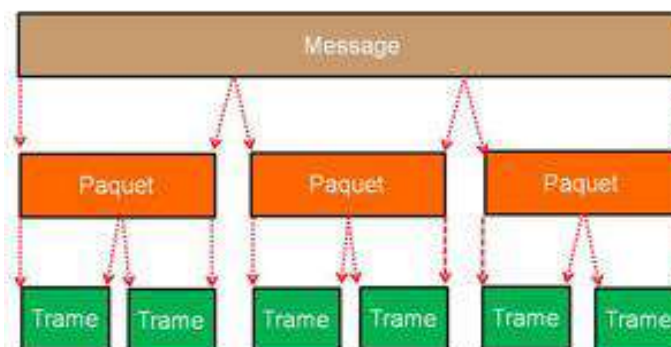
- **Protocole** : ensemble de règles pour effectuer un échange d'information (les règles de dialogue entre mêmes couches).

- **Trame** : Suite de bits ou caractères émis par un équipement sur le réseau et dont l'ensemble constitue une information cohérente interprétable par le ou les destinataires (messages, questions ou réponses, diffusion d'une valeur...).

La longueur des trames est toujours limitée.

- **Message** : Information échangée sur un réseau au travers de services définis dans un protocole de messagerie : lecture, écriture, téléchargement de zones mémoires, fichiers, etc....

- **Découpage d'un message**



Les mécanismes de transmission de données vont-ils procéder à un découpage de l'information à transporter.

Au départ, on a le **message** par exemple un fichier, une image, une vidéo... est subdivisé en **paquets** dont le processus d'envoi est supervisé de bout en bout. Contrairement au message qui peut être très gros, le paquet est de taille raisonnable et fixe.

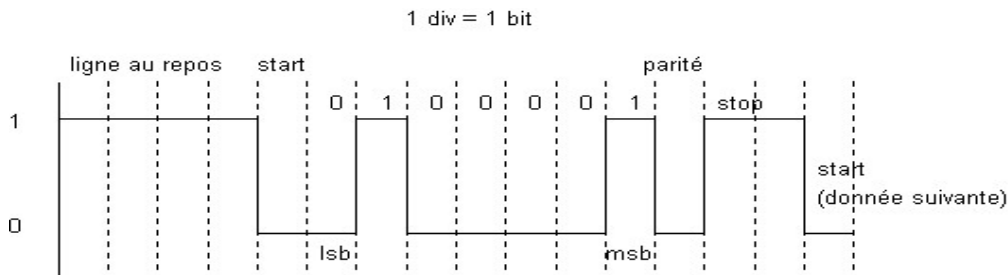
Le paquet est lui-même subdivisé en **trames** de longueur fixe dont la supervision se fait entre deux machines en vis à vis (c'est-à-dire liées directement sans transit).

- **Mise en oeuvre d'un protocole de communication**

Afin que les éléments communicants puissent se comprendre, il est nécessaire d'établir un protocole de transmission. Ce protocole devra être le même pour les deux éléments communicants afin que la transmission fonctionne correctement.

- **Trame de communication** : Une trame est composée de 4 parties :

- **1 bit de start** : la ligne au repos est à l'état logique 1, pour indiquer qu'un mot va être transmis la ligne passe à l'état bas avant de commencer le transfert. Ce bit permet de synchroniser l'horloge du récepteur.
- **5 à 8 bits de données** : Les données effectives à transmettre, en commençant la transmission par les bits de poids faible vers les bits de poids fort.
- **0 ou 1 bit de parité** : le mot transmis peut être suivi ou non d'un bit de parité qui sert à détecter les erreurs éventuelles de transmission.
- **Bit(s) de stop** : après la transmission, la ligne est positionnée au repos.



Trame de transmission en parité paire, avec 2 bits de stop, du caractère B dont le codage ASCII est 10000102

- **Paramètres entrant en jeu :**

- **La vitesse de transmission** : Elles sont normalisées et les valeurs principales en bauds en sont les suivantes: 50, 75, 110, 150, 300, 600, 900, 1200, 2400, 3600.
- **Longueur des mots** : de 5 à 8 bits de données.
- **Nombre de bit de stop** : 1, 2 ou 1,5 bits de stop.
- **Control de flux** : Sans, Matériel, Logiciel (XON/XOFF)
- **Parité** : Ce bit peut être forcé à 1 (mark parity) ou à 0 (space parity). Sinon

la parité peut être :

- **paire** : le bit ajouté à la donnée est positionné de telle façon que le nombre des états 1 soit pair sur l'ensemble donné + bit de parité.

ex : soit la donnée 11001011 contenant 5 état 1, le bit de parité paire est positionné à 1, ramenant ainsi le nombre de 1 à 6.

- **impair** : le bit ajouté à la donnée est positionné de telle façon que le nombre des états 1 soit impair sur l'ensemble donné + bit de parité

ex : soit la donnée 11001001 contenant 5 état 1, le bit de parité paire est positionné à 0, laissant ainsi un nombre de 1 impair.

8. LE MODÈLE OSI

Le **modèle OSI** (de l'anglais Open Systems Interconnection) est une norme de communication, en réseau, de tous les systèmes informatiques.

Les couches

Ce modèle a été proposé par l'ISO (Interconnexion des systèmes ouverts) pour interconnecter des ordinateurs et traite entre autres les trois niveaux trame, paquet, message vus ci-dessus.

Il est fondé sur une structure de sept couches ou niveaux :

Niveau 7	Application	Accès aux services du réseau (sémantique)
Niveau 6	Présentation	Mise en forme des données et de leur structure (syntaxe) Chiffrement
Niveau 5	Session	Gestion de sessions de dialogue entre les terminaisons
Niveau 4	Transport	Contrôle du transfert des messages de bout en bout Découpage en paquets
Niveau 3	Réseau	Acheminement des paquets Découpage en trame Routage/adressage/contrôle de flux
Niveau 2	Liaison	Transport des trames Établissement des connexions Détection d'erreurs
Niveau 1	Physique	Transfert des information binaires sur le support (média)

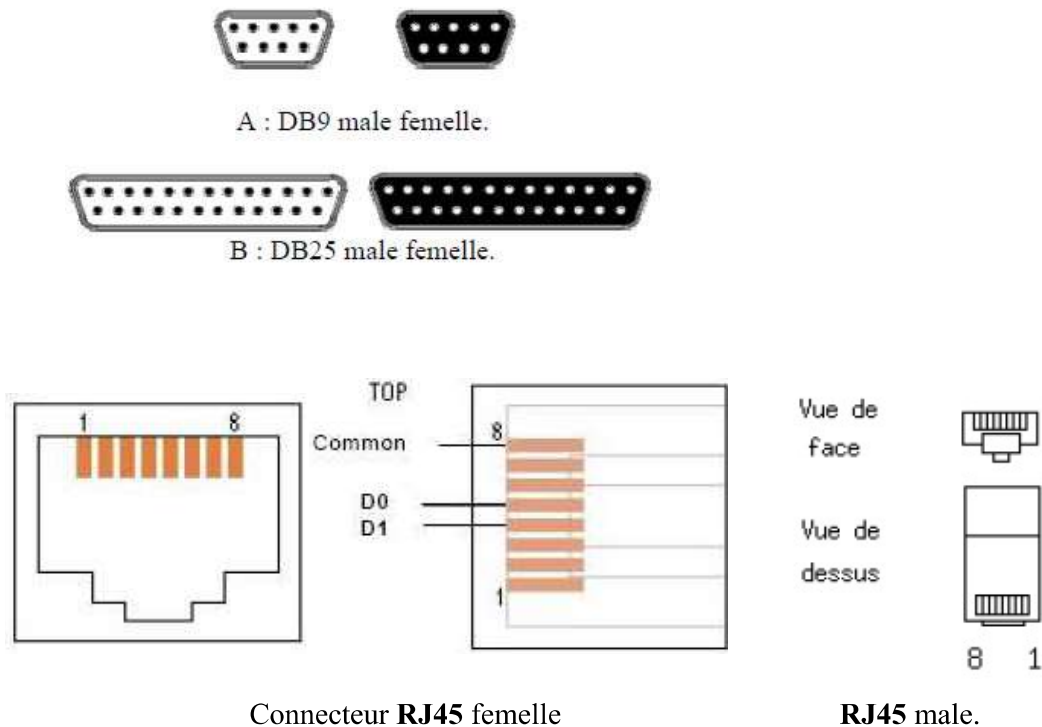
Nous retrouvons dans ce modèle les notions précédentes :

- le niveau 4 manipule les messages,
- le niveau 3 manipule les paquets,
- le niveau 2 manipule les trames,

- le niveau 1, niveau physique, transporte des bits sur un support filaire ou radio.

Dans cette couche les raccordements peuvent être définis par :

- Le type des connecteurs, par exemple : DB9, DB25, RJ45.
- Les niveaux électriques appliqués (unipolaire, différentiel).
- Le type de transmission.
- Le codage et le débit des signaux de données.



Les échanges : Les échanges entre deux machines sont gérés par un **protocole**.

Une couche ne peut dialoguer qu'avec une couche de même niveau. Une couche reçoit des services de la couche juste inférieure et fournit des services à la couche juste supérieure.

L'émission d'information se fait en descendant les couches une par une. Chaque niveau ajoute un niveau de découpage et d'encapsulation de l'information. L'opération inverse (concaténation, désencapsulation) est faite en réception en remontant les couches.

Chapitre 2.

Bus de terrain et réseaux locaux industriels (RLI)

1. Réseaux locaux industriels

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

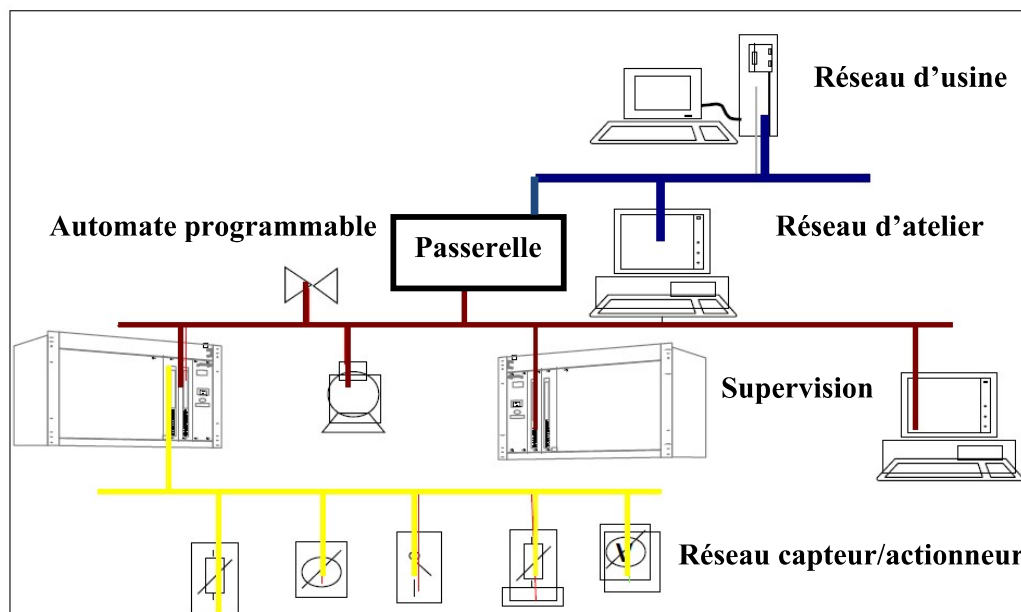


Fig.2.1 Architecture globale d'un RLI

Néanmoins, à chaque niveau d'abstraction, dans un environnement industriel, correspond un réseau permettant de relier ses différents éléments. Entre deux niveaux différents il doit y avoir une passerelle si les deux réseaux sont hétérogènes.

On distingue donc trois types de réseaux :

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

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

Les réseaux d'usine un réseau qui irrigue l'ensemble de l'usine, interconnectant des ateliers, des cellules avec des services de gestion, les bureaux d'études ou des méthodes.

2. Avantages des réseaux de terrain

Le but initial des bus de terrain était de remplacer les anciens systèmes centralisés en distribuant le contrôle, le traitement des alarmes, le diagnostic aux différents équipements qui sont devenus de plus en plus intelligents.

Fig.2.2 Système de contrôle direct (automatisme classique)

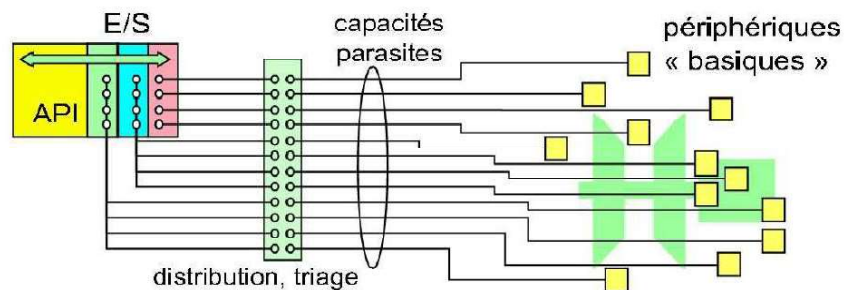


Fig.2.3 Bus de terrain

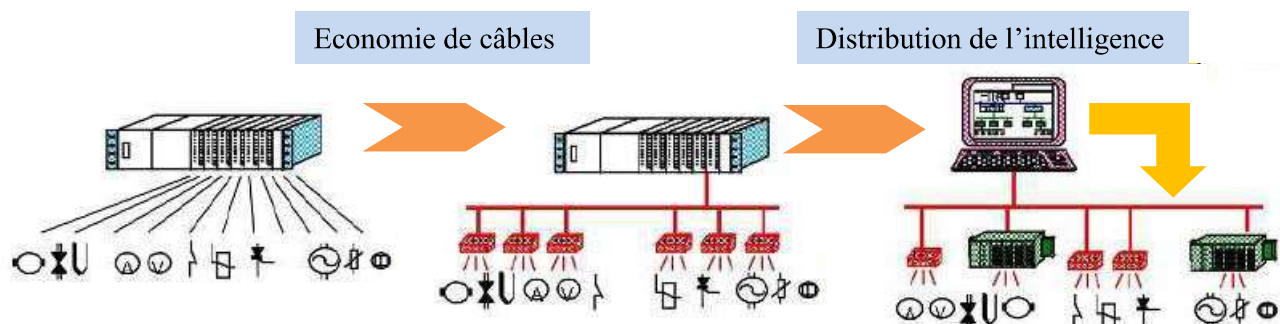
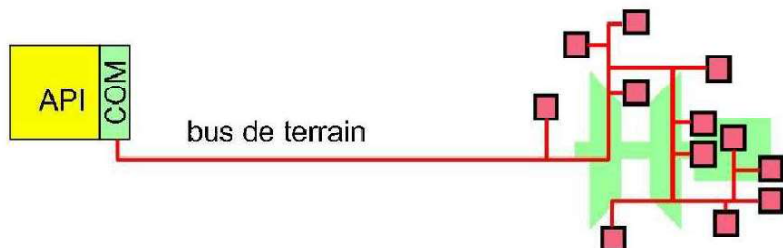


Fig.2.4 Système de contrôle décentralisé

Les anciens systèmes de communication industriels utilisaient la boucle de courant 4-20 mA, qui est un moyen de transmission analogique permettant de transmettre un signal analogique sur une grande distance sans perte ou modification, pour relier les équipements aux machines de contrôle :

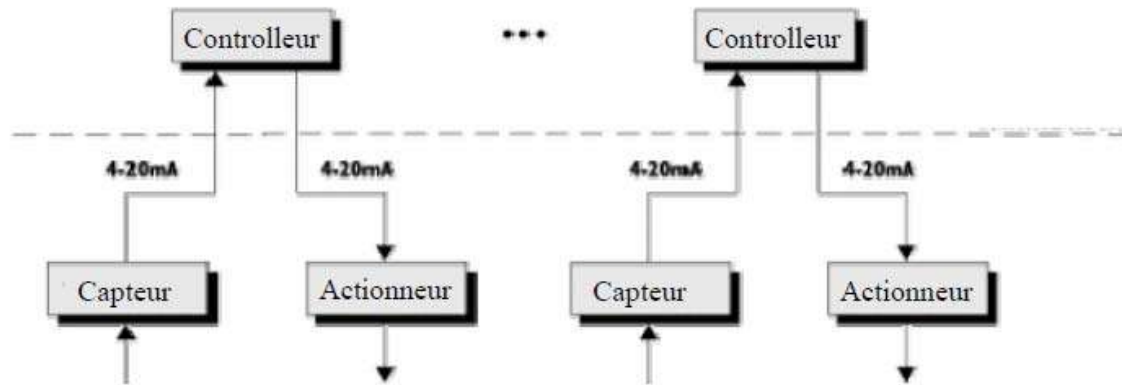


Fig.2.5 Boucle de courant 4-20 mA

Après l'apparition de la communication numérique, cette technique a été rapidement remplacée par les bus de terrain. Cela permet plusieurs avantages:

a. Réduction des coûts initiaux :

- Réduction massive du câblage : un seul câble en général pour tous les équipements au lieu d'un par équipement
- Possibilité de réutiliser le câblage analogique existant dans certains cas
- Réduction du temps d'installation
- Réduction du matériel nécessaire à l'installation

b. Réduire le coût d'exploitation en :

- Augmentant les performances de l'automatisme
- Réduisant les coûts des extensions futures.

c. Réduction du coût de maintenance :

- Complexité moindre donc moins de maintenance (fiabilité accrue)
- Maintenance plus aisée : temps de dépannage réduit, localisation des pannes possibles grâce à des diagnostics en ligne («on line») donc à distance
- Outils de test dédiés (programmes analyseurs...)

- Flexibilité pour l'extension du bus de terrain et pour les nouveaux raccordements. La distribution du contrôle et sa numérisation permettent d'atteindre des performances intéressantes dans les réseaux de terrain :
- Précision : communications numériques : la donnée numérique transférée est sans erreur de distorsion, de réflexion... contrairement à un signal analogique
- Les données et mesures sont généralement disponibles à tous les équipements de terrain
- Communications possibles entre deux équipements sans passer par le système de supervision
- La structure distribuée permet de faire résider des algorithmes de contrôle au niveau de chaque équipement de terrain (chaque nœud)
- Accès à des variables multiples pour un nœud

3. Classification

Généralement, on regroupe sous le terme «bus de terrain» tous les bus de communication industriels. On distingue néanmoins par complexité décroissante :

- Le bus d'usine : réseau local industriel basé sur Ethernet de type MAP ou TOP (se rapproche du réseau local IP)
- Le bus de terrain («Feld Bus»)
- Le bus de bas niveau («Sensor Aktor Bus») : bus capteur/actionneur
- Permet l'envoi de trames de quelques dizaines d'octets à 256 octets...
- Temps de réaction de quelques ms à quelques dizaines de ms
- Relie de unités intelligentes qui coopèrent dans l'exécution de travaux (coopération de tous les nœuds)
- Communications Maître/Esclave ou Multimaître
- Possibilité d'accès au niveau inférieur (capteur/actionneur)

Bus capteur/actionneur :

- Relie entre eux des nœuds à intelligence limitée ou nulle
- Temps de réaction primordial
- Limitation du nombre de données à faire circuler sur le bus (trame unique, fixe, cyclique (Interbus) ou trame avec protocole (CAN)).

Dans nos jours, il existe plus d'une cinquantaine de spécifications différentes de réseaux de terrain (CAN, LON, Profibus-FMS/PA, WorldFip, Interbus, Profibus-DP,

ASInterface, Bitbus, Arcnet, Sercos, Modbus Plus, P-net, FAIS, EIBus, VAN, PLAN, Sibus, Batibus, Hart, Modbus/Jbus, Bus DIN, etc.)

La figure suivante donne une classification de quelques réseaux de terrain selon la complexité de leurs équipements et le flot d'informations échangées.

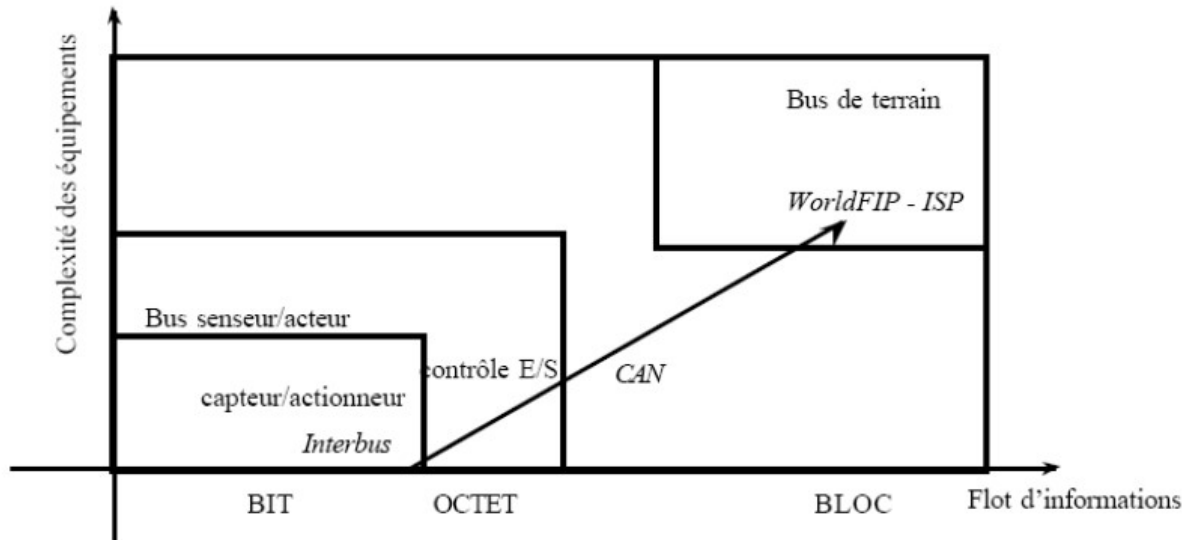


Fig.2.6 Classification des bus de terrain selon la complexité

La figure suivante donne une classification des réseaux de terrain selon le niveau de contrôle dans le quel ils sont utilisés, et selon les applications réalisées.

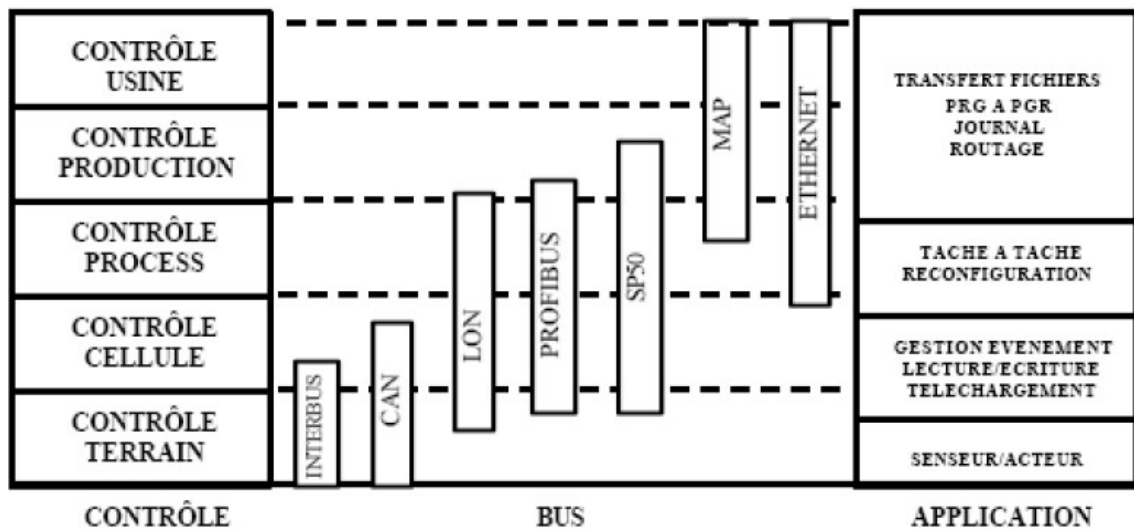


Fig.2.7 Classification des bus de terrain selon les fonction

Les réseaux de bas niveau sont très diverses aussi, la figure suivante montre les différents types de capteurs et d'actionneur et leur utilisation ainsi que les réseau capteurs/actionneurs qui les utilisent :

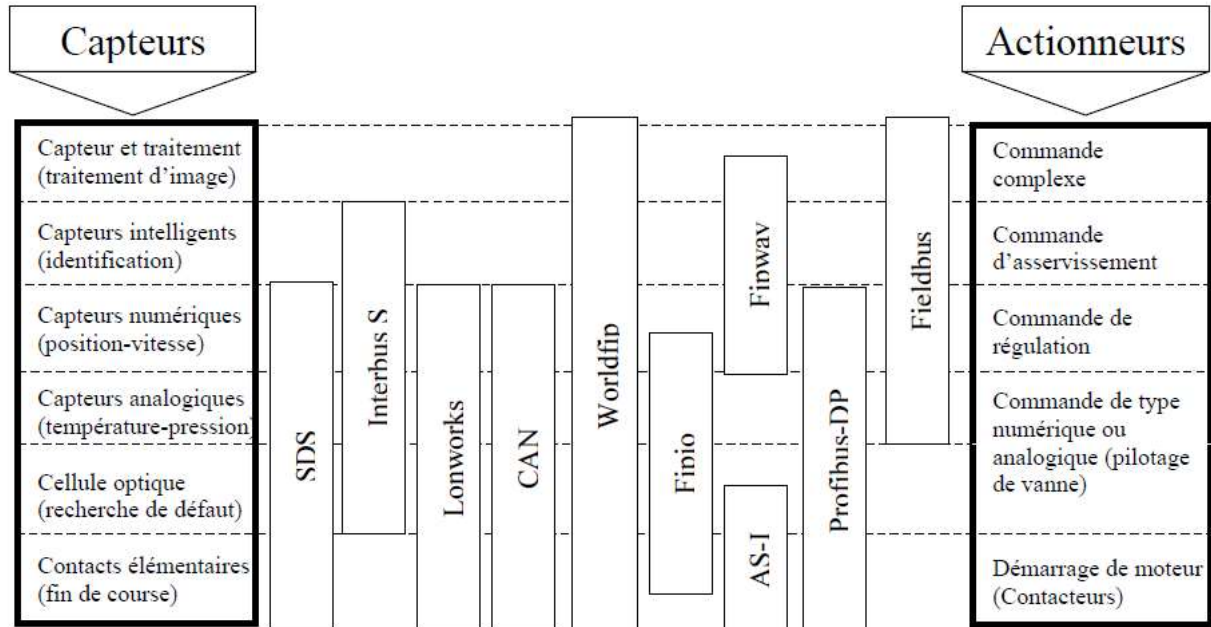


Fig.2.8 Champs d'application des réseaux capteurs/actionneurs

Aspects physiques

Les propriétés importantes de la couche physique sont:

- La topologie,
- Le support physique : cuivre, fibre optique, sans fil (radio, IR)
- Le taux de transmission,
- La longueur maximale, nombre de nœuds, alimentation,
- La résistance aux attaques, aux perturbations physiques.

4. La topologie

Les topologies connues dans les réseaux sont :

Tableau 1 Caractéristiques des différentes topologies réseaux

Topologie	Avantages	Inconvénients
Arbre Point à point (étoile)	Plusieurs communications en parallèle	- Routage - Chemins de longueurs différentes
Anneau Point à point	Câblage simple	Temps de parcours
Bus	Communication directe pas de routage.	Contrôle d'accès au medium.

Dans la topologie en étoile Les différentes machines sont connectées à un switch, qui est lui même relié à un commutateur central qui représente le cœur de réseau. Les différents LAN (réseaux locaux) sont interconnectés au travers de routeurs. Les câbles utilisés sont les paires torsadées et fibres optiques. Ce type d'architecture (dite "structurée") se rencontre en industrie avec quelques adaptations de façon à ce que sa gestion soit souple et décentralisée.

C'est par exemple le cas pour la connexion des automates à un serveur de supervision. Des stations peuvent servir de relais entre les automates et le PC central.

Cette architecture a pour inconvénient d'être plutôt lourde à mettre en œuvre (un câble pour chaque équipement, de nœud à nœud, etc.).

Les industriels préfèrent des topologies en bus ou en anneau. Pour les bus, le coaxial épais (style 10Base5) sera privilégié pour faire face aux perturbations électromagnétiques. Les réseaux en anneau peuvent être mis en œuvre avec n'importe quel support (cuivre, fibre ou coaxial).

Leur intérêt est la redondance naturelle des liens (si l'un "tombe", l'autre prendra le relais).

De façon plus générale, la redondance est aussi importante lors de la conception des appareils (alimentation, ventilateurs...) que pour la topologie du réseau. En étoile, il existe des techniques qui permettent de faire face aux ruptures de liaison en proposant des chemins alternatifs. Le temps de bifurcation est inférieur à la seconde. D'autres techniques considèrent deux liens redondants et même un maître (à défaut, un esclave) actif quand le maître ne répond pas.

5. Caractéristiques d'un RLI

L'aspect connexion de machines, même s'il est fondamental, n'est pas le seul à considérer. Ce sont surtout les processus d'application répartis sur les machines qui sont mis en relation par les réseaux. Et ce sont ces types de relations qui définissent les caractéristiques d'un réseau ou d'un autre. Les besoins en communication sont alors très diversifiés selon les matériels connectés et les applications qu'ils supportent, ce qui explique que les réseaux locaux industriels sont nombreux et variés. Il est évident que le trafic entre des capteurs, des actionneurs et des automates n'est pas le même qu'entre un système de CFAO et un contrôleur de cellule de fabrication. Les besoins diffèrent selon des critères tels que la taille des données à transmettre et les

contraintes de temps associées. Le schéma suivant représente les caractéristiques essentielles des réseaux des différents niveaux d'un système industriel.

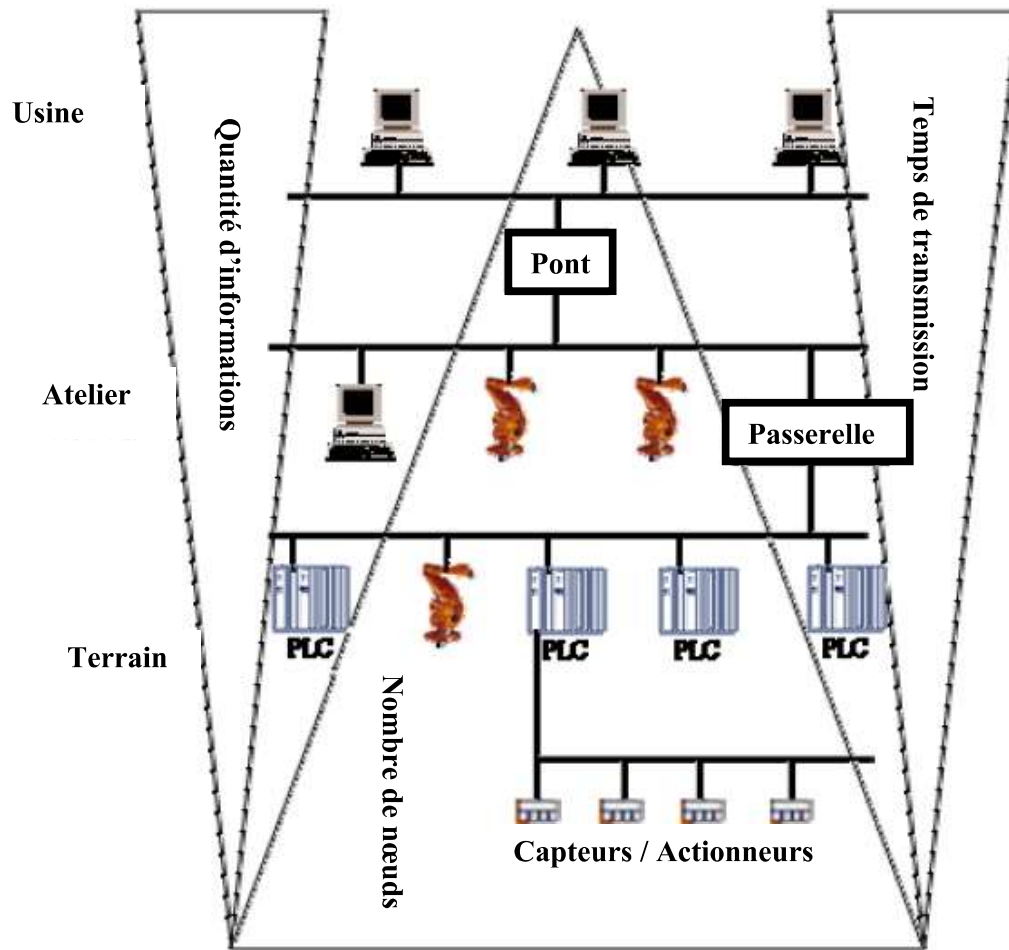


Fig.2.9 Caractéristiques des différents niveaux d'un RLI

Le triangle du milieu représente le nombre de nœuds reliés par le réseau de chaque niveau : ce nombre diminue en montant les niveaux : 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.

Le triangle gauche représente la quantité d'information échangée dans chaque niveau. Cette quantité est très importante au niveau usine où on a besoin de transmettre des fichiers de données 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.

Le triangle droit représente la vitesse de transmission requise à chaque niveau.

Effectivement 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.

6. La pyramide du CIM (Computer Integrated Manufacturing)

La réalisation de chaque fonction de l'entreprise est liée à l'échange d'information entre le niveau inférieur et le niveau supérieur. Chaque niveau est défini par la taille de donnée échangée et par le temps d'échange des données.

Les niveaux de la CIM peut être défini comme suit :

- **Capteurs Actionneurs** : il permet l'acquisition des données et la réaction sur terrain.
- **Commande de processus** : il permet le pilotage du processus industriel
- **Cellule** : elle permet d'assurer la coordination, la gestion et le suivi des processus locaux)
- **Atelier** : il permet d'assurer la gestion de production des données
- **Usine** : elle permet d'assurer la gestion de l'entreprise.

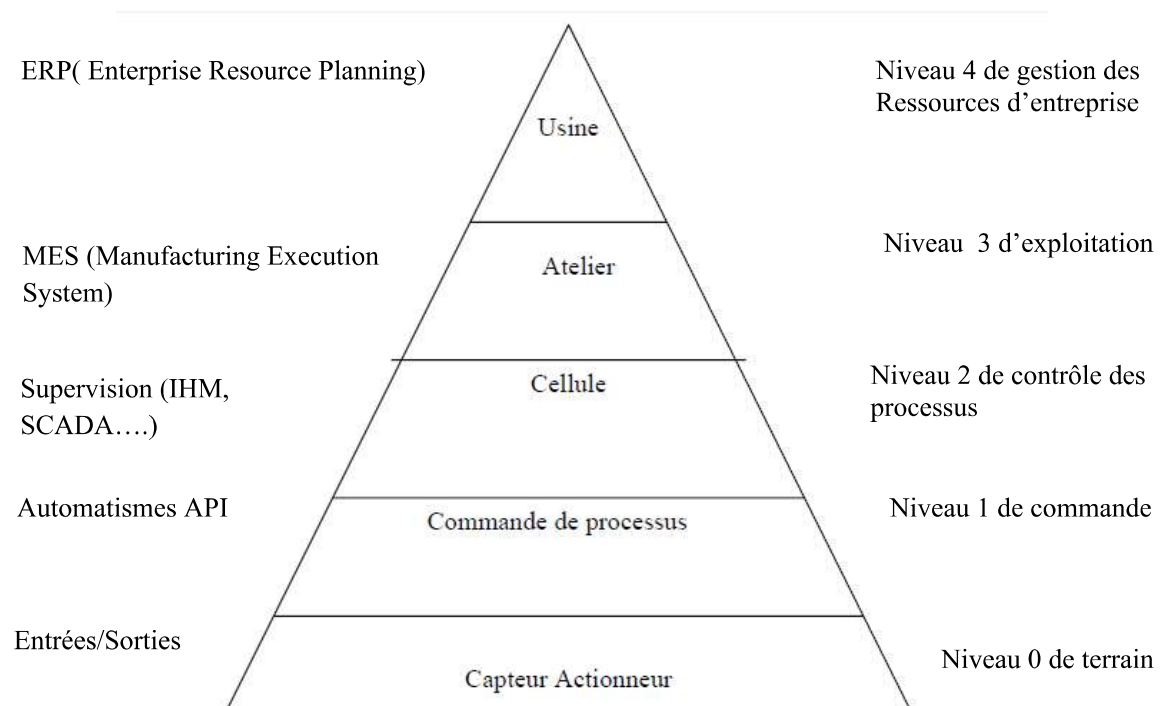


Fig.2.10 La pyramide du CIM

Est une méthode largement généralisée qui représente 4 niveaux auxquels correspondent des niveaux de décision. Plus on s'élève dans la pyramide du CIM, plus le niveau de décision est important et plus la visibilité est globale. Un niveau supérieur décide ce qu'un niveau inférieur exécute. On distingue généralement les niveaux suivants :

- au niveau 3 : la gestion des produits et des stocks, la gestion de approvisionnements, la gestion des clients, des commandes et de la facturation (gère par les ERP (Enterprise Ressources Planning))
- au niveau 2 : la localisation des produits en stocks, les mouvements physiques et la gestion des lots (gère par le système de gestion d'entrepôt)
- au niveau 1 : les automatismes
- au niveau 0 : les capteurs et actionneurs

7. Exigences globales

De tels besoins nécessitent d'être pris en charge que ce soit au niveau physique ou au niveau protocoles: liaison et application.

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 terme de débit aux besoins de ce niveau.

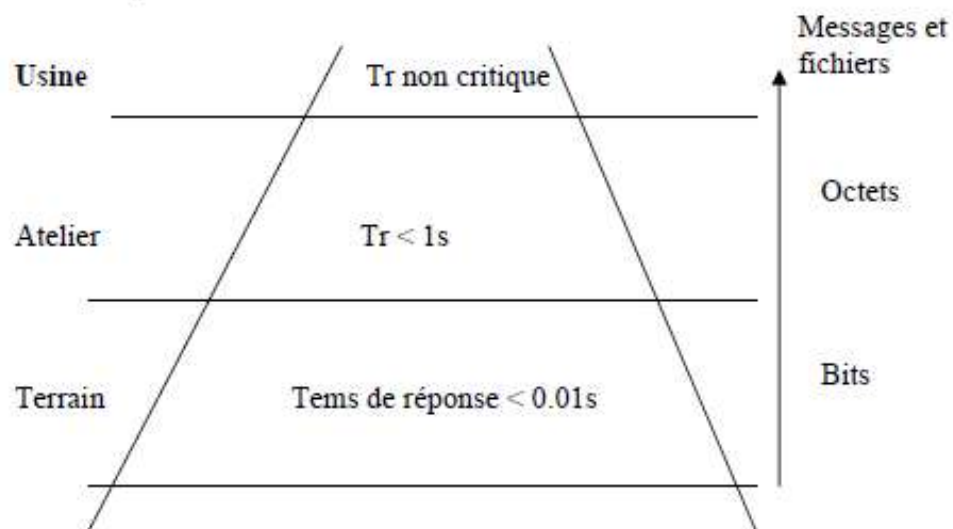
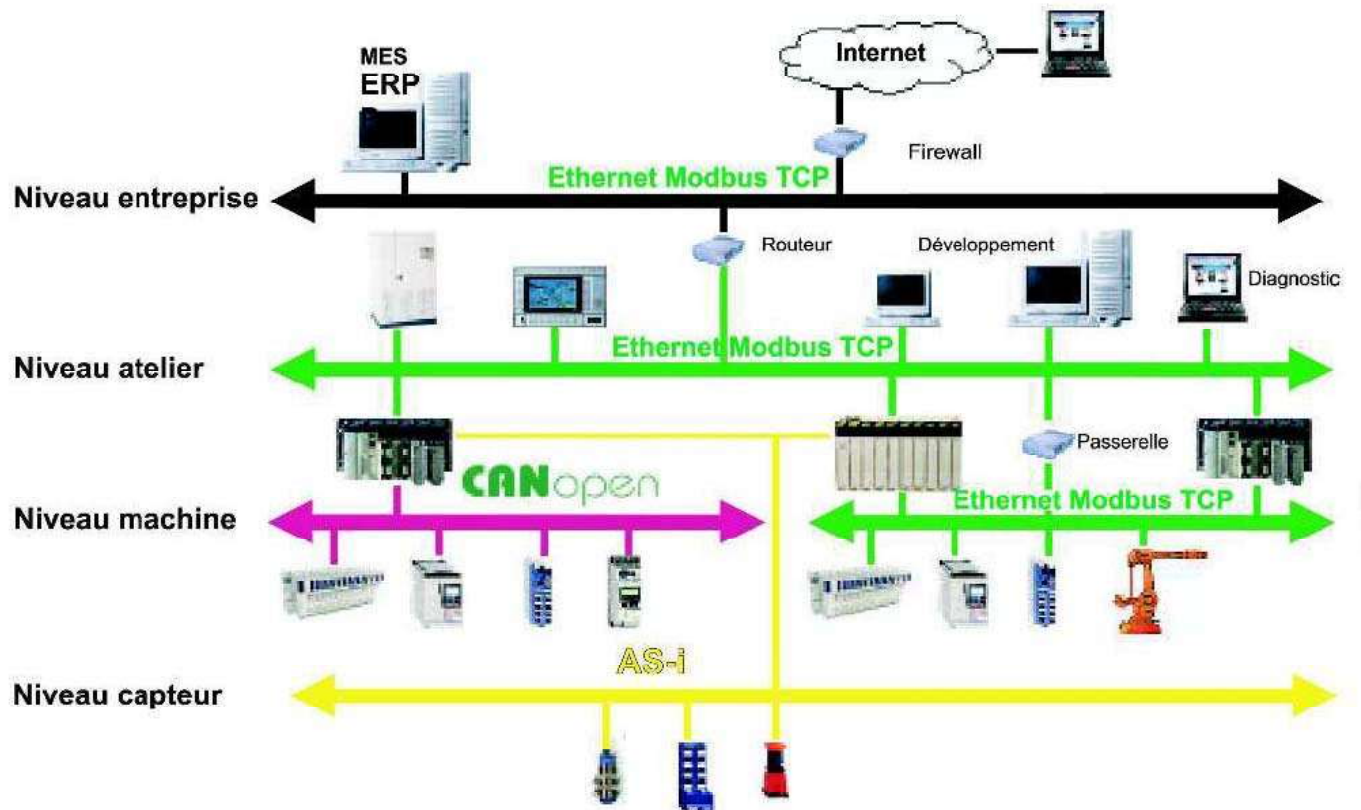


Fig.2.11 Exigences des différents niveaux d'abstraction dans un RLI

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.

Exemple d'une communication industrielle: **Schneider Electric**



Les niveaux de communication retenus par Schneider Electric.