

## 1.1 Introduction

L'évolution des moyens technologiques utilisés dans les systèmes industriels permet de multiplier les mesures, les analyses et les prises de décisions, dans le but d'améliorer les services, la qualité et le suivi de production ainsi que les différents niveaux de maintenances. Cela a provoqué une énorme augmentation des flots de données entre les différents constituants des systèmes industriels. Afin d'éviter d'avoir à installer une profusion de conducteurs électriques, les constructeurs ont développé des procédés de transport d'informations sur des supports communs aux différentes sections du système. Cela a été possible en établissant des règles de circulation de ces données sur ces canaux de transmission. C'est ainsi que sont nées les notions dites « Réseaux Locaux Industriels » ou « Bus de terrain ».

On peut distinguer trois types de réseaux en fonction des distances entre les équipements [1]:

**Tableau 1.1** Types de réseaux.

Type de réseau	Description	Distance
WAN «Wide Area Network»	Réseau public couvrant une vaste zone (Réseau Téléphonique, Internet).	Supérieure à 100 km
MAN «Metropolitan Area Network»	Ce réseau est étendu sur une dizaine de kilomètres.	Supérieure à 1 km
LAN «Local Area Network»	Ce réseau est limité à une zone géographique réduite, par exemple un bâtiment.	Inférieure à 1 km

## 1.2 Architectures d'automatismes industriels

Depuis que les automatismes sont réalisés sur la base des automates programmables industriels (APIs), les architectures ont fortement évolué et sont passées par différents stades pour arriver aux architectures actuelles, basées sur l'adoption des grands standards de communication [2].

On peut distinguer deux types d'architecture d'automatismes :

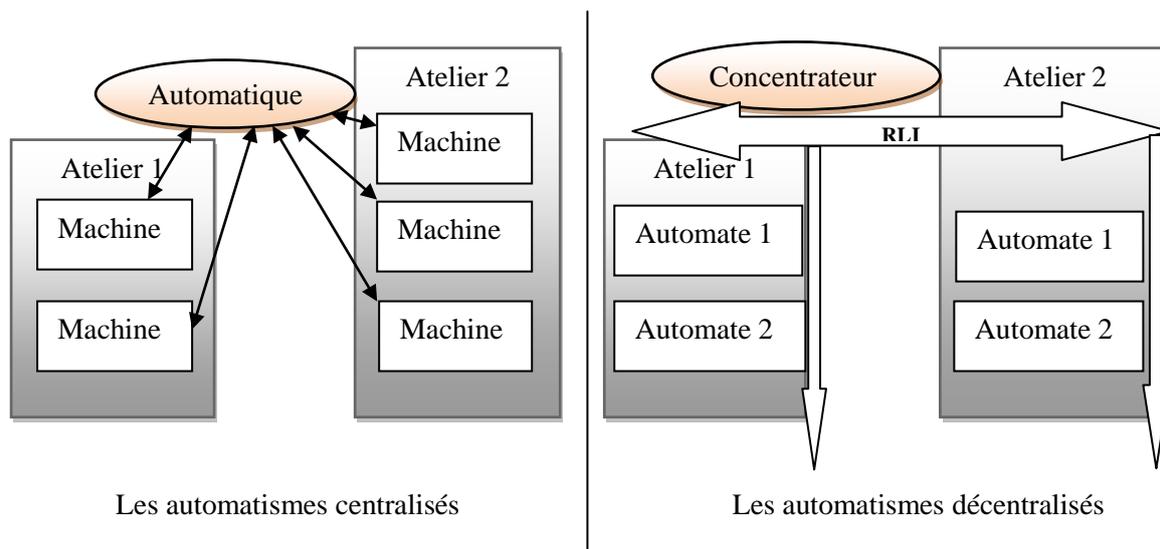
### 1.2.1 Les automatismes centralisés

Jusque dans les années 80, les automatismes s'appuyant sur des automates programmables industriels contrôlent l'ensemble de l'automatisme.

### 1.2.2 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.

Les constructeurs d'API ont donc créé des offres de réseaux locaux industriels afin d'assurer une communication efficace entre les différents APIs [3].



**Figure 1.1** Architectures d'automatismes industriels.

## 1.3 Réseaux locaux industriels

### 1.3.1 Définitions

Un réseau est un ensemble d'équipements (ordinateur, machine, circuit électroniques...) reliés par des canaux électroniques de communication, qui leur permettent d'échanger des informations entre eux, il existe plusieurs types de réseaux comme les réseaux industriels, informatiques, locaux... [4].

Un réseau local est une infrastructure de communications reliant des équipements informatiques et permettant de partager des ressources communes dans une aire géographique limitée à quelques centaines de mètres [5].

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 et la gestion, autrement dit l'exploitation de l'installation de production [6].

### 1.3.2 Le choix d'un réseau local industriel

Le choix d'un réseau local industriel se fait sur les besoins et les contraintes d'application industrielle [7].

- Niveau d'application (réseau de terrain, cellule...).
- L'homogénéité ou l'hétérogénéité du parc des machines.
- Etendue géographique.
- Flexibilité (facilité de modification).
- Milieu industriel (immunités aux bruits, aux parasites).
- Nombre de constituants et de stations.
- Délais de réponses aux requêtes.
- Ouverture par des connexions aux autres réseaux.
- Sécurité d'information.
- Problèmes généraux (coût, installation et exploitation).

### 1.3.3 Avantages des réseaux locaux industriels

- 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.
- Réduction des coûts de maintenance.
- Ces réseaux de terrain aident à réaliser une intelligence déportée.

### 1.3.4 Critères de comparaison entre les réseaux locaux industriels

**Tableau 1.2** Critères de comparaison entre les réseaux locaux industriels.

Les critères techniques	Les critères stratégiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Longueur maximale du réseau en fonction du nombre de répéteurs et du type de médium utilisé.</li> <li>– Topologie : architecture physique et implantation des nœuds connectés au réseau, structure de câblage de toutes les stations.</li> <li>– Vitesse de transmission physique maximale possible pour le réseau.</li> <li>– Temps de réaction maximal possible qui peut arriver lors de l'envoi d'informations.</li> <li>– Nombre maximale d'équipements qui peuvent être connectés au réseau.</li> <li>– Détection d'erreurs : mécanisme de détection d'erreurs (parité, CRC, LRC...).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Couches OSI : définition des couches du modèle de référence OSI utilisé.</li> <li>– Certification : entité responsable de la réalisation de tests et de la certification.</li> <li>– Disponibilité de composants, de logiciels et de prestation de services.</li> <li>– Diffusion, nombre d'installations en fonctionnement.</li> <li>– Perspectives pour l'avenir : présomption empirique du rôle joué par le réseau dans l'avenir.</li> </ul>

## 1.4 Classification des réseaux locaux industriels

Les réseaux locaux industriels sont classifiés suivant l'échelle de classification CIM (Computer Integrated Manufacturing) selon leurs utilisations. Cette classification nous permet de différencier entre les types des réseaux et de comprendre leurs principes de fonctionnement.

Le modèle CIM se représente par une hiérarchisation en 4 niveaux :

- Niveau 0 .....capteurs – actionneurs.
- Niveau 1 ..... cellule – îlot d'automatismes.
- Niveau 2 .....atelier .
- Niveau 3.....Informatique d'entreprise.

Les niveaux 0,1 et 2 correspondent aux réseaux locaux industriels.

Le niveau 3 correspond aux réseaux locaux d'entreprise et aux réseaux informatiques.

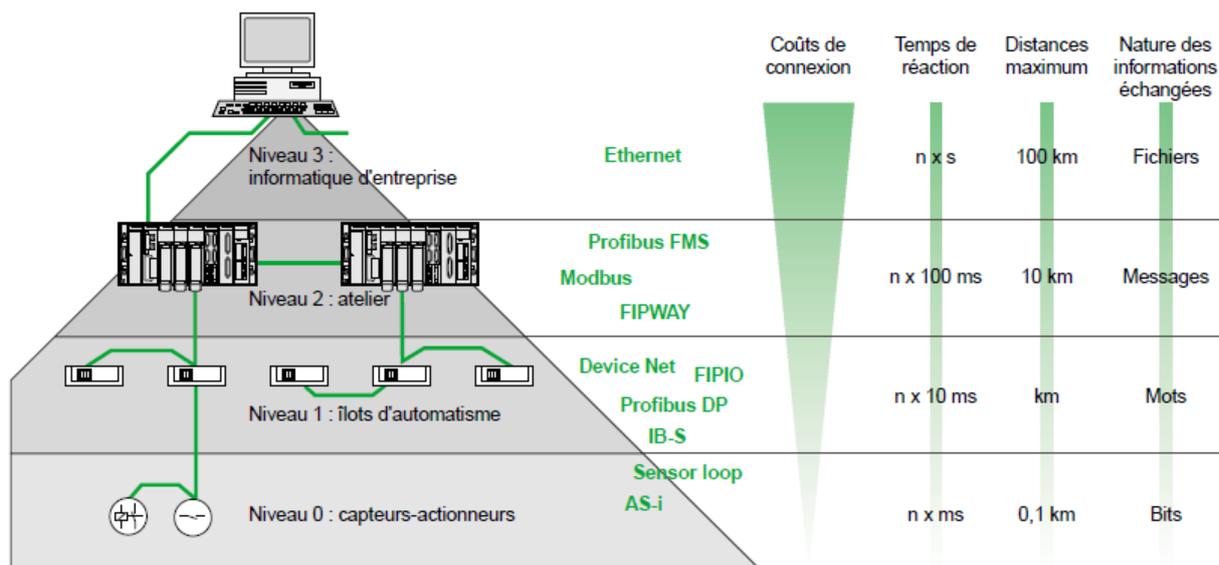


Figure 1.2 Classification des réseaux locaux industriels selon le Modèle CIM.

### 1.4.1 Niveau 0 : capteurs - actionneurs

Ces réseaux sont appelés parfois les réseaux de terrain car ils occupent le niveau le plus bas où on connecte des actionneurs, des capteurs et des dispositifs de régulations.

### 1.4.2 Niveau 1 : cellule

Ce niveau rassemble les réseaux de cellule. Il assure les échanges d'informations nécessaires entre automates qui pourront être cycliques ou événementiels selon les applications.

### 1.4.3 Niveau 2 : atelier

A ce niveau, le réseau a pour rôle de coordonner le travail des différentes cellules composant l'atelier. Il en assure la supervision générale, il est capable de télécharger des programmes dans les automates et de contrôler leur exécution [8].

## 1.5 Le modèle OSI « Open System Interconnection »

Les constructeurs informatiques ont proposé des architectures réseaux propres à leurs équipements. Ces architectures ont toutes le même défaut : du fait de leur caractère propriétaire, il n'est pas facile de les interconnecter, à moins d'un accord entre constructeurs. Aussi, pour éviter la multiplication des solutions d'interconnexion d'architectures hétérogènes, l'ISO « International Standards Organisation », a développé un modèle de référence appelé modèle OSI. Ce modèle décrit les concepts utilisés et la démarche suivie pour normaliser l'interconnexion de systèmes ouverts. Au moment de la conception de ce modèle, la prise en compte de l'hétérogénéité des équipements était fondamentale [4].

Le modèle OSI propose une manière dont deux éléments d'un réseau (station de travail, serveur...) communiquent, en décomposant les différentes opérations à effectuer en 7 étapes successives, qui sont nommées les « 7 couches » du modèle OSI. Ce modèle ne définit que le service ou la fonction, mais nullement la manière dont il ou elle doit être effectuée.

Le modèle OSI n'est pas une véritable architecture de réseau, car il ne précise pas réellement les services et les protocoles à utiliser pour chaque couche. Il décrit plutôt ce que doivent faire les couches.

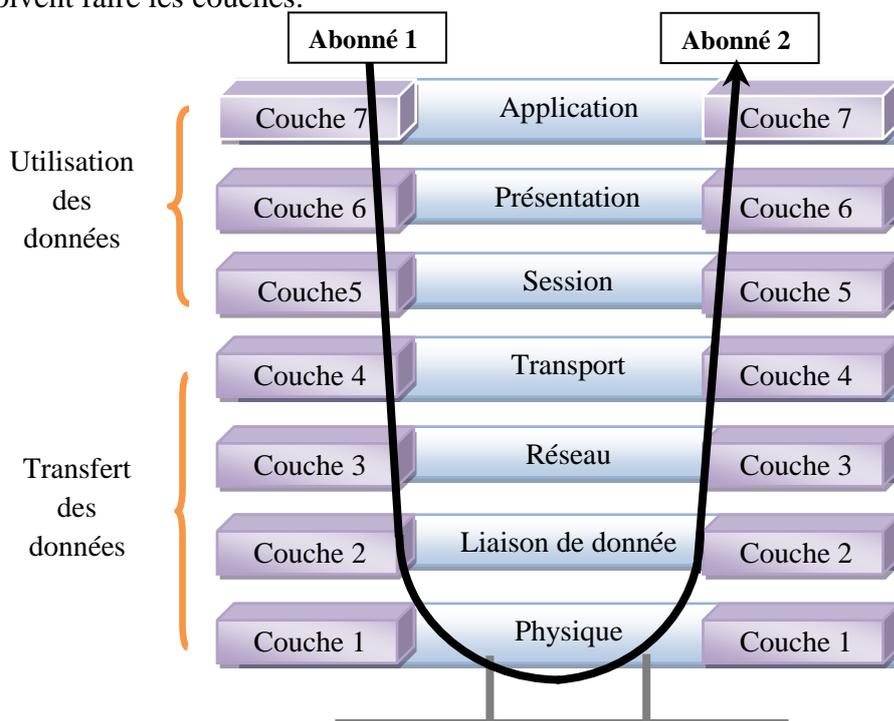


Figure 1.3 Le modèle OSI.

### 1.5.1 Description des différentes couches du modèle OSI

Les couches basses (1, 2, 3 et 4) sont nécessaires à l'acheminement des informations entre les extrémités concernées et dépendent du support physique. Les couches hautes (5, 6 et 7) sont responsables du traitement de l'information relative à la gestion des échanges entre systèmes informatiques. Par ailleurs, les couches (1 à 3) interviennent entre machines voisines, et non entre les machines d'extrémité qui peuvent être séparées par plusieurs routeurs. Les couches (4 à 7) sont au contraire des couches qui n'interviennent qu'entre hôtes distants [4].

- Couche 1 « couche physique » : définit les caractéristique électrique et mécanique du support.
- Couche 2 « couche liaison de donnée » : établit la connexion entre deux nœuds du réseau. Elle se divise en deux sous-couches MAC et LLC.
- Couche 3 « couche réseau » : assure le cheminement d'une transmission à travers les nœuds du réseau.
- Couche 4 « couche transport » : cette couche assure le contrôle de bout en bout d'une communication.
- Couche 5 « couche session » : cette couche contrôle le déroulement de la communication dans le temps.
- Couche 6 « couche présentation » : fournit la structure des données communiquées (codes, formats...).
- Couche 7 « couche application » : elle fournit des interfaces utilisables par les applications de l'utilisateur.

### 1.5.2 L'encapsulation

C'est un mécanisme de transmission des données. Lorsqu'une application envoie des données vers le réseau, chaque couche traversée exécute un processus d'encapsulation de l'unité de données fournie par la couche supérieure en ajoutant un entête, voire une remorque, qui lui est propre. Réciproquement à la réception, chaque couche exécutera une dés-encapsulation pour en final ne restituer que les données utilisateurs à l'application [3].

**Tableau 1.3** Mécanisme de transmission des données à travers le modèle OSI.

Couche 7 application		Désignation du type d'information à transférer (fichiers, messagerie).
Couche 6 présentation		Codage des données en un langage connue par la couche supérieure (exemple : ASCII).
Couche 5 session		Synchronisation des données et organisation du dialogue.
Couche 4 transport		Résolution des problèmes de l'acheminement des données. Réalisation du découpage du message trop long en parties et recollages de ceux-ci.
Couche 3 réseau		Réalisation du chemin agréant d'atteindre l'adresse destinataire. Création de l'interconnexion entre des réseaux hétérogènes.
Couche 2 liaison de données		Encapsulation et décapsulation des données afin de les présenter sous forme de trames. Assure l'accès au support, et détecter les erreurs.
Couche 1 physique		Décodage et codage des données (code Manchester...). Attachement au support physique.
Support physique		Signal modulé

## 1.6 Réseaux locaux industriels et modèle OSI

Les réseaux locaux industriels n'utilisent pas la totalité des sept couches, on effect les couches : réseau, transport, session et présentation sont disparut donnant le modèle réduit du modèle OSI en trois couches : physique, liaison de données et application.

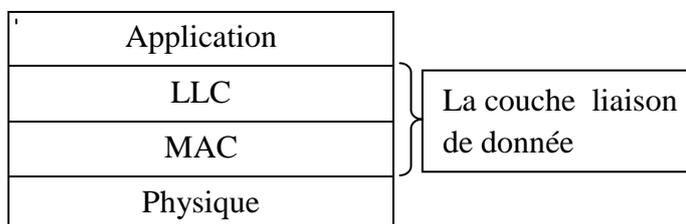


Figure 1.4 Le modèle OSI réduit.

### 1.6.1 Couche physique

#### 1.6.1.1 Supports de transmission

Voici succinctement quelques uns des supports de transmission les plus utilisés.

##### a. La paire torsadée

La paire torsadée est le support de transmission le plus ancien et encore le plus largement utilisé. La paire torsadée est composée de deux conducteurs en cuivre, isolés l'un de l'autre, et enroulés de façon hélicoïdale autour de l'axe longitudinal [9].

Le débit binaire accessible dépend de la qualité du câble et de sa longueur, il peut aller jusqu'à plusieurs centaines de Mbit/s pour quelques centaines de mètres. La sensibilité aux parasites d'origine électromagnétique est relativement importante mais peut être réduite si le câble est blindé. Le taux d'erreur est de l'ordre de  $10^{-3}$ .

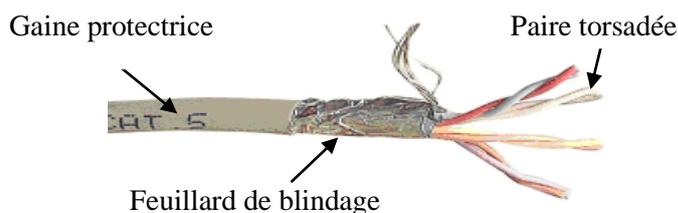


Figure 1.5 La paire torsadée.

##### b. Le câble coaxial

Plus cher que la paire torsadée, le câble coaxial est encore largement utilisé pour des voies à moyen débit des réseaux de transport, il est constitué d'un cœur qui est un fil de cuivre. Ce cœur est dans une gaine isolante elle-même entourée par une tresse de cuivre, le tout est recouvert d'une gaine isolante [9].

La bande passante peut atteindre 400 MHz sur plusieurs dizaines de km. Le débit binaire typiquement employé est de 10 Mbit/s sur des distances inférieures à 1km et peut monter jusqu'à plusieurs centaines de Mbit/s sur des distances très courtes.

La sensibilité aux parasites ainsi que l'affaiblissement sont réduits par rapport à la paire torsadée. Le taux d'erreur est de l'ordre de  $10^{-7}$ .

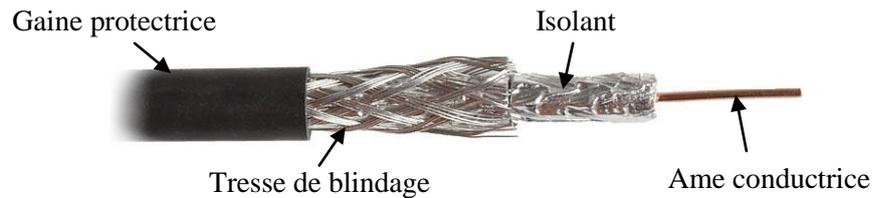


Figure 1.6 Le câble coaxial.

### c. La fibre optique

Les signaux binaires sont transmis sous la forme d'impulsions lumineuses, à travers un guide d'onde en fibre de verre. Afin de maintenir les rayons lumineux à l'intérieur de la fibre optique, le phénomène de réflexion totale est employé [9]:

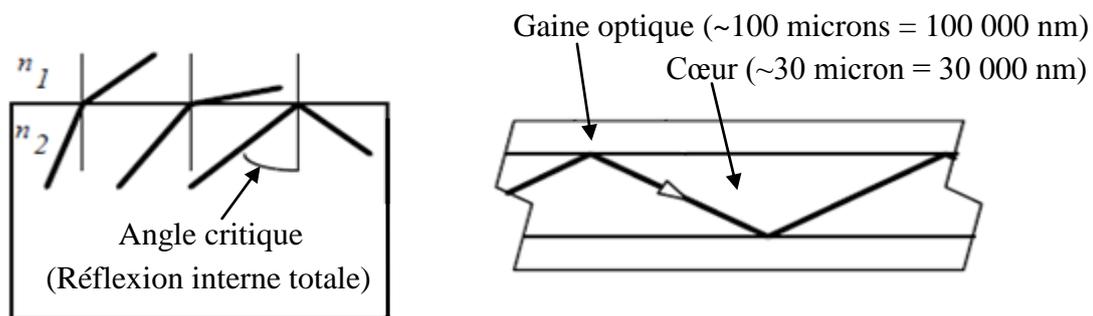


Figure 1.7 La transmission dans une fibre optique.

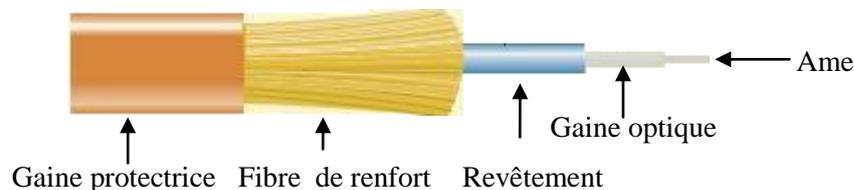


Figure 1.8 La fibre optique.

L'indice de réfraction de la gaine ( $n_1$ ) doit être inférieur à celui du cœur ( $n_2$ ). L'angle critique est donné par la formule :  $\theta_c = \arcsin \frac{n_1}{n_2}$

Afin de subir uniquement des réflexions totales dans la fibre, un rayon lumineux en provenance d'une source (diode électroluminescente, diode laser) doit atteindre le bout de la fibre sous un angle d'incidence inférieur à :  $\theta_A = \arcsin \frac{\sqrt{n_2^2 - n_1^2}}{n_0}$ .

$n_0$ : étant l'indice de réfraction de l'air.

Tous les rayons qui dépassent l'angle critique subissent une réflexion totale ; ce sont donc en général plusieurs rayons, correspondant au même signal, qui se propagent à l'intérieur de la fibre optique fibre multi-mode. Quand le diamètre du cœur de la fibre est tellement réduit qu'un seul rayon peut se propager, la fibre est appelée monomode.

Les débits binaires varient entre plusieurs centaines de Mbit/s (fibre multi-mode, sur plusieurs km) et environ 10 G bit/s (fibre monomode, jusqu'à 100 km). L'affaiblissement est très réduit, donc les transmissions sans répéteurs sur des distances de 100 à 200 km sont courantes.

La fibre optique est insensible aux parasites d'origine électromagnétique et assure un taux d'erreur très bas, de l'ordre de  $10^{-12}$ . Aussi, la fibre optique ne produit pas de rayonnement électromagnétique, ce qui contribue à la confidentialité des transmissions.

### 1.6.1.2 Caractéristiques des supports de transmission

Les supports de transmission, quels qu'ils soient, ne sont malheureusement pas parfaits. Ils ont une bande passante limitée, supportent divers bruits et ont de ce fait une capacité à transmettre les signaux limitée [10].

#### a. Bande passante

La bande passante  $B$  d'une voie est la plage de fréquences sur laquelle la voie est capable de transmettre des signaux. Elle s'exprime en Hertz [9].

Le rapport d'affaiblissement est le rapport entre l'amplitude du signal reçu et la puissance du signal émis.

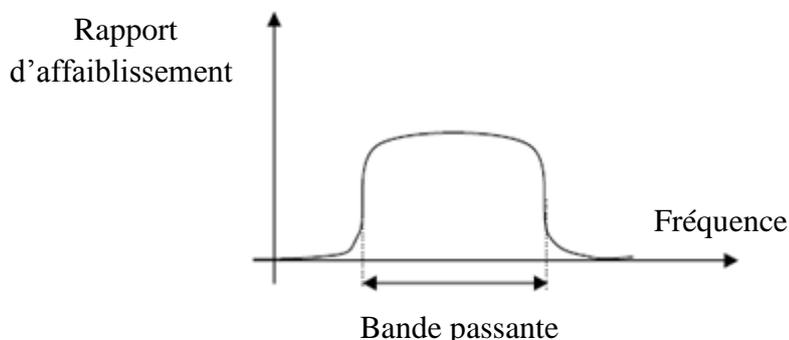


Figure 1.9 La bande passante d'une voie.

#### b. Capacité

La capacité (ou débit maximal) d'une voie est la quantité maximale d'information qu'elle peut transporter par seconde. L'unité d'information étant le bit, donc la capacité s'exprime en bit/s.

#### c. Temps de propagation

Le temps de propagation  $T_p$  est le temps nécessaire à un signal pour parcourir un support d'un point à un autre, ce temps dépend donc de la nature du support, de la distance et également de la fréquence du signal.

#### d. Temps de transmission

Le temps de transmission  $T_t$  est le délai qui s'écoule entre le début et la fin de la transmission d'un message sur une ligne, ce temps est donc égal au rapport entre la longueur du message et le débit de la ligne.

#### e. Temps de traversée

Le temps de traversée sur une voie est égal au temps total mis par un message pour parvenir d'un point à un autre, donc c'est la somme des temps  $T_p$  et  $T_t$ .

### f. Longueur élémentaire

La longueur élémentaire d'une voie est la longueur maximale de support au delà de laquelle le signal doit être amplifié ou répété pour être correctement reçu [9]. En effet, le signal s'affaiblit au fur et à mesure de sa propagation dans le support. C'est pour cela qu'il est en général amplifié avant d'être émis.

### g. Les bruits

Le bruit est un signal perturbateur provenant du canal lui même ou de son environnement externe. Il est de comportement aléatoire et vient s'ajouter au signal véhiculant les informations et provoquer ainsi les erreurs de transmission [11].

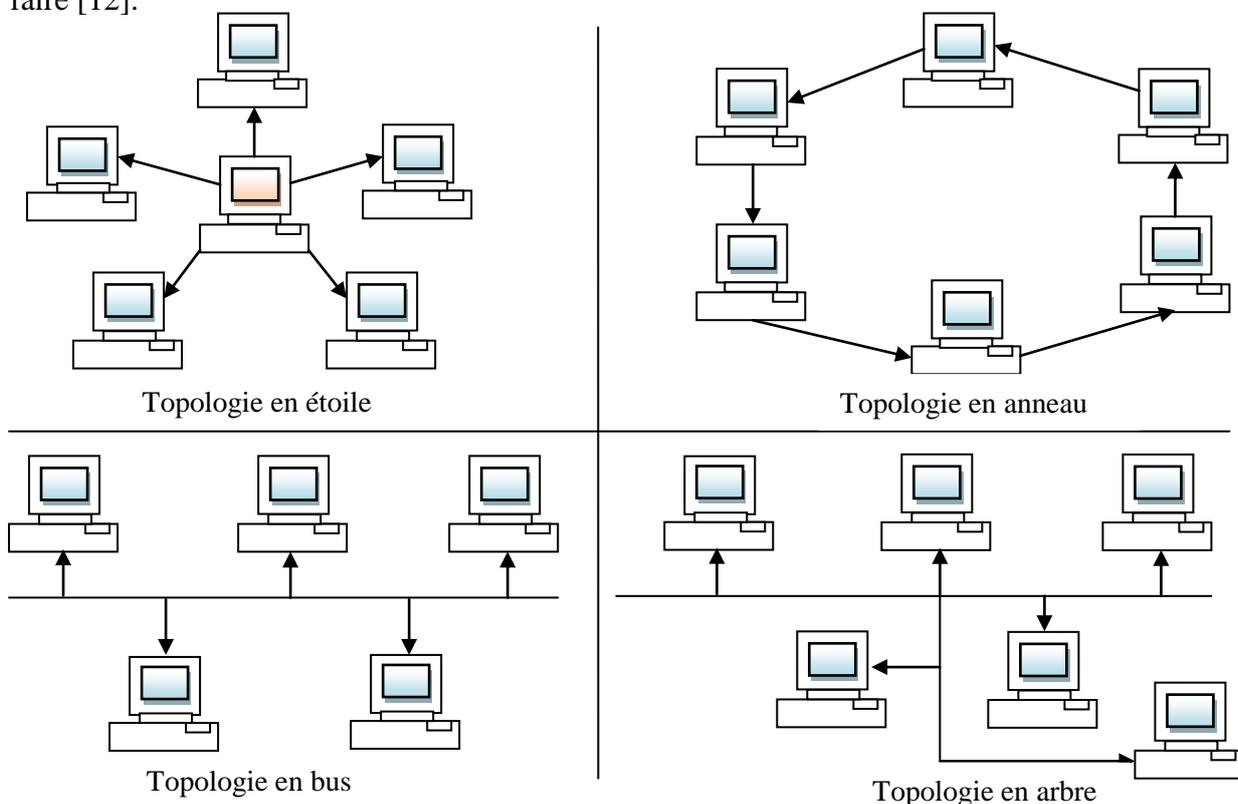
Le bruit blanc dû à l'agitation thermique dans les composants du système, il a en général une puissance assez faible.

Le bruit impulsif dû principalement aux organes électromécaniques de commutation, il est beaucoup plus gênant car il peut atteindre une amplitude égale ou supérieure à celle du signal pendant une durée de l'ordre de 1 ms à 10 ms, ce qui provoque des rafales d'erreurs sur les données transmises [9].

Le bruit diaphonique introduit par les lignes voisines est en général négligeable pour les transmissions de données.

### 1.6.1.3 La topologie des réseaux

La manière dont les stations du réseau sont reliées entre elle s'appelle la topologie du réseau, et elle a une grande importance pratique pour les diverses applications que l'on veut en faire [12].



**Figure 1.10** Les différentes topologies des réseaux.

On trouve les topologies suivantes:

### ***a. Topologie en étoile***

La topologie en étoile correspond à une organisation des esclaves reliées par liaisons point à point à un maître. Le nœud central n'est pas un abonné du réseau mais une unité de distribution dont le fonctionnement est indispensable à la communication [4].

Les avantages :

- Gestion du réseau plus simple.
- Modification du nombre d'éléments assez simple.
- Topologie la plus utilisée actuellement.

Les inconvénients :

- La panne d'un nœud central provoque le non fonctionnement des éléments raccordés à ce nœud.
- Topologie plus onéreuse car elle nécessite un concentrateur.
- Longueur des câbles importante.

### ***b. Topologie en anneau***

Un réseau a une topologie d'anneau quand toutes ses stations sont connectées en chaîne les unes aux autres par une liaison bipoint de la dernière à la première. Chaque station joue donc un rôle intermédiaire. Toutes les stations reçoivent toutes les trames d'information et les font passer à leur voisine. La circulation de l'information se fait en sens unique [12].

### ***c. Topologie en Bus***

Une topologie en bus est l'organisation la plus simple d'un réseau. En effet, dans une topologie en bus tous les stations sont reliées à une même ligne de transmission par l'intermédiaire de câble généralement coaxial. Le mot « bus » désigne la ligne physique qui relie les machines du réseau.

Cette topologie a pour avantage d'être facile à mettre en œuvre et de posséder un fonctionnement simple. En revanche, elle est extrêmement vulnérable étant donné que si l'une des connexions est défectueuse, l'ensemble du réseau en est affecté.

### ***d. Topologie en arbre***

Chaque nœud peut être un abonné ou un Hub. C'est une variante de la topologie en étoile avec les mêmes faiblesses. Cette architecture revient en force avec les techniques du type Ethernet en fibre optique [4].

## **1.6.1.4 Synchronisation**

La fonction de synchronisation sur une voie de communication a pour but d'assurer que l'information est prélevée par le récepteur aux instants où le signal est significatif. Cette synchronisation doit s'effectuer à deux niveaux :

- niveau bit : à quel instant le bit est-il disponible sur la ligne ?
- niveau bloc : instant de début et fin de bloc.

Un bloc est l'unité logique à transmettre, par exemple une trame.

En émission, les données et l'horloge sont générées par l'émetteur. En réception l'horloge de synchronisation peut provenir de l'émetteur si celui-ci la transmet sur la ligne ou être interne au récepteur.

Dans le premier cas, on parle de transmission synchrone car l'émetteur et le récepteur sont synchronisés sur la même horloge de référence. Dans le deuxième cas, la transmission est dite asynchrone, le récepteur doit synchroniser sa propre horloge sur la séquence des bits successifs émis [9].

Le mode asynchrone est orienté pour une transmission par caractères, ceux-ci peuvent être émis à tout moment, la synchronisation à la réception se faisant pour chacun d'eux.

## 1.6.2 Couche liaison de données

La couche liaison de données se divise en deux sous couches : la sous couche MAC et la sous couche LLC.

### 1.6.2.1 Sous couche MAC

Le rôle de la sous couche MAC « Medium Access Control » est d'assurer l'accès au support de communication. En effet, les différents protocoles MAC gèrent le droit de parole dans le réseau ou le droit d'émission sur le support comme on gère les prises de parole entre personnes dans une assemblée [12].

Il existe différentes méthodes pour contrôler l'accès au réseau et s'assurer que deux stations ne transmettent jamais des trames simultanément sur le réseau.

Les méthodes de contrôle peuvent être fondamentalement classées en deux catégories : les méthodes déterministes et les méthodes statistiques [8].

#### *a. La méthode déterministe maître – esclave*

Dans un mécanisme d'accès au médium de type maître-esclave, un seul équipement (le maître) est à l'initiative de tous les échanges, les autres équipements (les esclaves) se contentant de répondre lorsque le maître le leur demande. Ce principe se retrouve sur bon nombre de réseaux basés sur une liaison série de type RS 485 avec des protocoles comme Modbus. Dans ce cas, les échanges sont programmés par l'utilisateur, et si des événements applicatifs aléatoires sont susceptibles de déclencher de tels échanges, le réseau n'est pas déterministe. Par contre, on peut s'appuyer sur ce mécanisme pour définir une scrutation cyclique par le maître d'informations sur un nombre défini d'équipements.

Le temps nécessaire pour interroger l'ensemble des équipements constitue un temps de cycle, qui est le délai maximum pour chaque équipement pour transmettre ses informations. C'est ce principe qui est utilisé par exemple avec le bus AS-i [13].

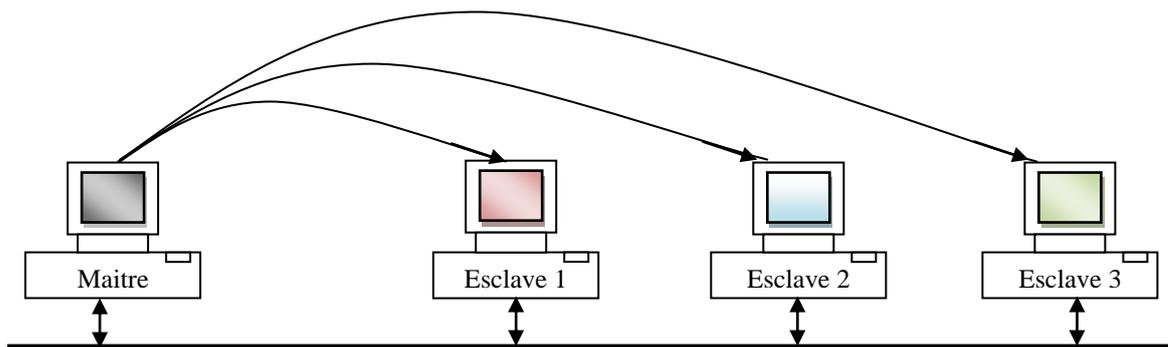


Figure 1.11 Méthode d'accès maître - esclave.

### b. La méthode statique gestion par compétition

Dans les méthodes d'accès par compétition, chaque station peut émettre dès qu'elle le désire quand le support est inoccupé, à condition de pouvoir détecter ses conflits d'accès avec les autres stations [12]. Les principales méthodes d'accès par compétition sont : la méthode CSMA (Carrier Sense Multiple Access) et ses variantes.

Le CSMA permet à chaque station de déterminer si le câble est déjà utilisé par une autre station, cela empêche une quelconque machine d'interrompre une transmission.

Cependant, la CSMA ne peut pas empêcher tous les conflits possibles. Il se pourrait très bien que lors de la vérification de l'état du câble, celui-ci apparaisse libre pour deux stations qui enverraient alors simultanément leurs trames, ce qui générerait une collision. Il faut alors détecter et résoudre ce conflit.

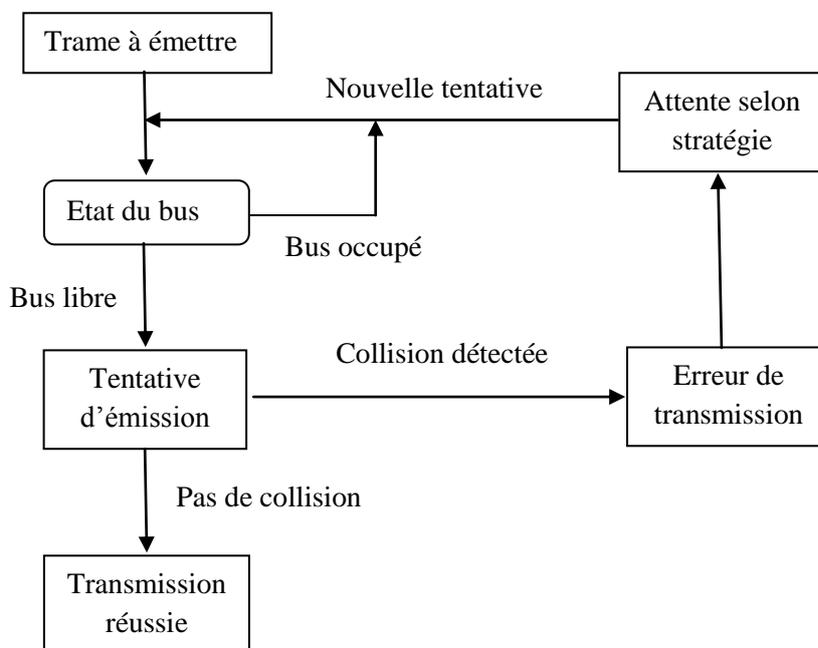


Figure 1.12 Le schéma de fonctionnement de CSMA.

### 1.6.2.2 Sous couche LLC « Logical Link Control »

La sous couche de contrôle de la liaison logique utilise la sous couche de contrôle d'accès au médium MAC pour offrir à l'utilisateur des services tels que :

- L'émission, et la réception des trames.
- L'établissement et la fermeture des connexions logiques.
- La détection d'erreurs des trames.
- Le contrôle de flux.

Elle se décline en trois versions LLC 1, LLC 2 et LLC 3 présentant des différences de fiabilité.

### 1.6.3 Messagerie et couche application

On appelle « Messagerie industrielle » un ensemble de services et protocole qui permettent l'échange de messages entre processus d'application dans les domaines du contrôle et de commande.

On trouve les messageries dans plusieurs contextes, par exemple MMS et FMS dans le monde réseaux industriels.

Ces messageries doivent régler deux types de problèmes, fournir les services d'échanges comme les lectures ou écritures de valeurs à distance, mais aussi assurer l'interopérabilité entre les équipements ou entre les processus d'application [12].

## 1.7 Mode d'exploitation

Une ligne de donnée peut être exploitée de différentes manières.

- Transmission simplex réalisée entre deux équipements. La transmission ne se réalise que dans un sens et à l'initiative de l'émetteur.
- Transmission semi duplex réalisée entre deux équipements dans les deux sens, la transmission se faisant à l'alternat (non simultanément). Le premier élément qui émet est souvent le responsable de la communication ainsi que celui qui l'établit.
- Transmission full duplex réalisée dans les deux sens et en simultané [14].

## 1.8 Mode de transmission

Les données informatiques se présentent sous forme de bits groupés en mots généralement de 8 bits (un octet). Pour transmettre un mot entre un émetteur et un récepteur, on peut procéder :

- bit par bit et reconstituer les mots du côté réception (Transmission série).
- mot par mot (Transmission parallèle).

### 1.8.1 Transmission série

Les bits d'un mot sont transmis un à un sur une ligne unique, les 0 et les 1 sont représentés par des signaux d'amplitude et d'intervalle de temps connus. Pour émettre un caractère de  $n$  bits il faut  $n \times Dt$  ( $Dt$  étant le temps de transmission d'un bit) [9].

## 1.8.2 Transmission parallèle

La transmission se fait sous forme de lot de bits émis simultanément sur le canal. Pour émettre un caractère de  $n$  bits il faut un  $Dt$  [9].

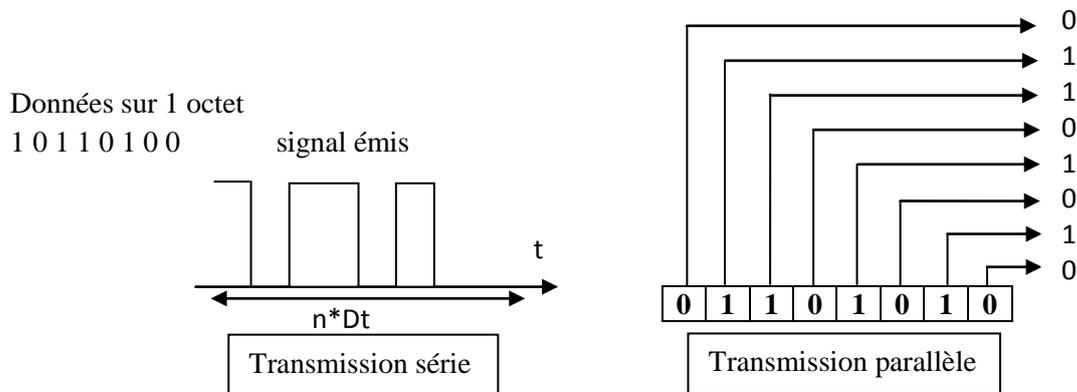


Figure 1.13 Exemple d'une transmission série et une transmission parallèle.

## 1.8.3 Comparaison entre la transmission série et la transmission parallèle

La transmission parallèle est de loin la plus rapide, il suffit d'un seul intervalle de temps  $Dt$  pour transmettre un mot de 8 bits, alors que pour une transmission série  $8 Dt$  sont nécessaires. A part de cet avantage, elle ne peut se réaliser que sur de faibles distances pour éviter les problèmes de déphasage qui peuvent survenir sur les signaux du lot d'information envoyé en parallèle. La transmission série est utilisée surtout pour la communication entre des équipements distants, alors que la transmission parallèle est utilisée typiquement pour la communication entre un ordinateur et ces périphériques.

## 1.9 Les produits d'interconnexion

### 1.9.1 Passerelle (Gateway)

Unité fonctionnelle qui permet l'interconnexion de deux réseaux d'architecture différente.

### 1.9.2 Switch

Il transmet les données reçues sur un port, seulement vers le port sur lequel la station destinataire est connectée. Il assure la prolongation du support au-delà des limites en distance du segment en réalisant une remise en forme des signaux. Il supprime les collisions et les paquets non valides [3].

### 1.9.3 Concentrateur (Hub)

Permet l'extension d'un réseau en étoile, il amplifie et rétablit le même type de signal sur tous les ports.

## 1.10 Détection des erreurs de transmission

Quelle que soit la qualité d'une ligne de transmission, la probabilité d'apparition d'erreurs est non nulle. Pour certains types de transmissions, des erreurs groupées peuvent apparaître, par exemple à cause de parasites électromagnétiques pour les transmissions sur paires torsadées non blindées. Ces erreurs groupées sont inacceptables quel que soit le type de données donc la détection et la correction des erreurs est obligatoire.

La détection et la correction des erreurs est fondée sur l'utilisation d'une information redondante transmise avec l'information utile. L'ajout de cette information redondante est obtenu par un recodage [9].

Un mot de code est une suite de bits constituée des bits d'information et des bits de contrôle qui leur sont associés : c'est cette suite complète "information + contrôle" qui est émise.

Par la suite je décrirais les trois méthodes les plus couramment utilisées pour la détection des erreurs de transmission.

### 1.10.1 Parité verticale «VRC: Vertical Redundancy Check»

Il s'agit d'un simple contrôle de parité généralement pratiqué au niveau du caractère selon le nombre pair ou impair de 1 présent dans un caractère, on ajoute à ce dernier un bit valant 0 ou 1. A la réception, on recalcule la parité du caractère reçu et on vérifie si elle correspond au bit de parité reçu en même temps que le caractère [8].

### 1.10.2 Parité horizontale «LRC: Longitudinal Redundancy Check»

Méthode permettant de détecter les erreurs de transmission sur un canal par un principe de parité s'appliquant à la totalité des mots formant le message. Par opposition à la parité verticale qui s'applique à chaque mot du message. Ces deux types de parité sont souvent associés [15].

### 1.10.3 Code cyclique «CRC : Contrôle de redondance cyclique»

Les messages qui mettent en œuvre ce mécanisme d'identification d'erreurs ont un champ CRC qui est calculé par l'émetteur en fonction de la teneur du message. Les nœuds récepteurs recalculent le champ CRC. Toute différence entre les deux codes dénote une différence entre les messages transmis et reçus.

## 1.11 Correction des erreurs de transmission

Les méthodes décrites au paragraphe précédent permettent de détecter un taux d'erreur plus ou moins élevé. Elles ne donnent cependant aucune indication sur la nature des erreurs.

Il existe des codes qui permettent d'effectuer à la fois la détection et la correction d'erreurs. La mise en œuvre est cependant tellement lourde qu'ils ne sont guère utilisables en pratique courante.

La méthode de correction qui est alors utilisée quasi universellement consiste tout simplement à demander la répétition du message dans lequel une erreur a été remarquée [8].

## 1.12 Conclusion

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

- Choisir un réseau ouvert, par opposition à un réseau propriétaire, permet de rester libre du choix de ses fournisseurs de produits d'automatisme.
- Choisir un réseau standardisé au niveau international permet de garantir sa pérennité et son évolution.
- Choisir la bonne adéquation entre le besoin de la machine ou de l'installation et les performances du réseau permet d'optimiser son investissement.

Ce dernier point est celui qui, vraisemblablement, nécessite une connaissance précise de l'offre des réseaux de communication qui longtemps ont été perçus comme complexe, tant pour les sélectionner, que pour les mettre en œuvre ou les maintenir. Les fournisseurs ont tous travaillé à pallier cette difficulté. Schneider Electric a pour sa part décidé de ne proposer que des réseaux de communication réellement ouverts, basés sur des standards internationaux et adaptés aux besoins des différents niveaux d'une architecture d'automatisme en définissant des classes d'implémentation qui permettent un choix simple et optimal.